

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2010 年 9 月 30 日(30.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/110029 A1



- (51) 国際特許分類:  
H01L 43/08 (2006.01) H01L 21/8246 (2006.01)  
H01F 10/12 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)  
H01F 10/28 (2006.01) H01L 43/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/053611
- (22) 国際出願日: 2010 年 3 月 5 日(05.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-079633 2009 年 3 月 27 日(27.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP). 国立大学法人東北大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION 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): 西山 勝哉 (NISHIYAMA Katsuya) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝知的財産部内 Tokyo (JP). ファン ウ (FENG Wu) [CN/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁

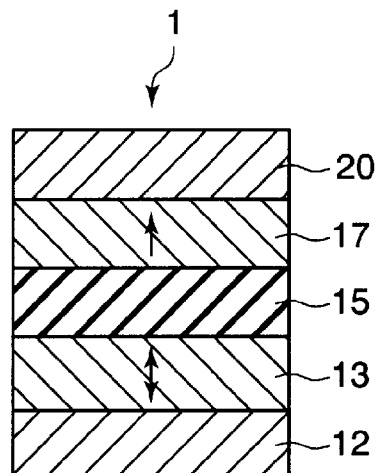
目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 水上 成美 (MIZUKAMI Shigemi) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 宮崎 照宣 (MIYAZAKI Terunobu) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 與田 博明 (YODA Hiroaki) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 甲斐 正 (KAI Tadashi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 岸 達也 (KISHI Tatsuya) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 渡邊 大輔 (WATANABE Daisuke) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 大兼 幹彦 (OOGANE Mikihiro) [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). 安藤 康夫 (ANDO Yasuo) [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). 吉川 将寿 (YOSHIKAWA Masatoshi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 永瀬 俊彦 (NAGASE Toshihiko) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁

[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗素子および磁気メモリ

[図1]



(57) Abstract: Provided is a magnetoresistive element of a spin injection write type that is thermally stable and at the same time is capable of inverting a magnetization at a low current, and also provided is a magnetic memory using the magnetoresistive element. The magnetoresistive element comprises: a base layer (12); a first magnetic layer (13) provided on the base layer, having an easy axis of magnetization in a vertical direction to the film surface, and being variable in magnetization direction; a first non-magnetic layer (15) provided on the first magnetic layer; and a second magnetic layer (17) provided on the first non-magnetic layer, having an easy axis of magnetization in a vertical direction to the film surface, and fixed in magnetization direction. The first magnetic layer has a  $\text{DO}_{22}$  structure or an  $\text{L1}_0$  structure and includes a ferrimagnetic layer, the c-axis of which is oriented toward a vertical direction to the film surface. The magnetization direction of the first magnetic layer is variable according to the current flowing through the first magnetic layer, the first non-magnetic layer, and the second magnetic layer.

(57) 要約:

[続葉有]



目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内  
Tokyo (JP). 北川 英二(KITAGAWA Eiji) [JP/JP];  
〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株  
式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 大坊  
忠臣(DAIBOU Tadaomi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都  
港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝  
知的財産部内 Tokyo (JP). 長嶺 真(NAGAMINE  
Makoto) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁  
目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内  
Tokyo (JP).

(74) 代理人: 勝沼 宏仁, 外(KATSUNUMA Hirohito  
et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 2  
番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事  
務所 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,  
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, 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))
- 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

〔課題〕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用の磁気抵抗素子およびそれを用いた磁気メモリを提供する。〔解決手段〕下地層 12 と、下地層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第 1 の磁性層 13 と、第 1 の磁性層上に設けられた第 1 の非磁性層 15 と、第 1 の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が固定された第 2 の磁性層 17 と、を備え、第 1 の磁性層は、 $\text{D O}_{22}$  構造または  $\text{L 1}$  構造を有し  $c$  軸が膜面に垂直方向を向くフェリ磁性体層を含み、第 1 の磁性層と第 1 の非磁性層と第 2 の磁性層とを貫く電流によって、第 1 の磁性層の磁化方向が可変となる。

## 明 細 書

**発明の名称：磁気抵抗素子および磁気メモリ**

### 技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗素子およびこの磁気抵抗素子を記憶セルに用いた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とも記す）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、前記記憶層と対向し、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構成となる。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。この抵抗変化はトンネル磁気抵抗効果（Tunneling Magneto-Resistance effect：以下、TMR効果とも記す）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方向の平行、反平行状態（すなわち抵抗の極小、極大）を二進情報の“0”または“1”に対応づけることにより、情報を記憶する。

[0004] 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、この書き込み配線に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。しかしながら、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。一方、書き込み配線が

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。

[0005] 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（例えば、特許文献1参照）。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よいため、素子の微細化と低電流化を両立できる書き込み方式と期待されている。

[0006] しかしながら、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すなわ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。

[0007] 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。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方策が必要となるが、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。

[0008] 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。そのためこの方法もまた好ましくない。また、面内磁化型では形状により発現する磁気異方性を利用しているため、反転電流は形状に敏感となる。その結果、微細化に伴い反転電流のばらつきが増加することも懸念される。

[0009] 一方、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、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。

[0010] 垂直磁化膜に用いる材料系としては、L10規則合金系（FePt、CoPtなど）や、人工格子（Co/Pt、Pd）系、hcp系（CoPtなど）、RE-TM系（Tb-CoFeなど）が挙げられる。

[0011] 一方、一般的に例えば、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 $\alpha$ 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 $\alpha$ を小さくすることが重要である。また、デバイスとしては加工プロセス温度に耐える必要もある。しかしながら、上記垂直磁化膜に記憶層として具備すべき上記特性をすべて満たすものは存在しない。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0012] 特許文献1：米国特許第6,256,223号明細書

### 非特許文献

[0013] 非特許文献1：G. Slonczewski, "Current-driven excitation of magnetic multilayers", 「JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS」, 1996, VOLU

ME 159, p. L1-L7

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0014] 本発明は、上記事情を考慮してなされたものであって、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用の磁気抵抗素子およびそれを用いた磁気メモリを提供するものである。

### 課題を解決するための手段

- [0015] 本発明の第1の態様による磁気抵抗素子は、下地層と、前記下地層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に設けられた第1の非磁性層と、前記第1の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が固定された第2の磁性層と、を備え、前記第1の磁性層は、 $\text{D O}_{22}$ 構造または $\text{L 1}_0$ 構造を有しc軸が膜面に垂直方向を向くフェリ磁性体層を含み、前記第1の磁性層と前記第1の非磁性層と前記第2の磁性層とを貫く電流によって、前記第1の磁性層の磁化方向が可変となることを特徴とする。
- [0016] また、本発明の第2の態様による磁気メモリは、上記第1の態様による磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟むように設けられ、かつ前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第1及び第2の電極とを含むメモリセルを備えていることを特徴とする。

## 発明の効果

- [0017] 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用の磁気抵抗素子およびそれを用いた磁気ランダムアクセスメモリを提供することができる。

## 図面の簡単な説明

- [0018] [図1]第1実施形態によるMR素子の断面図。  
[図2]第1実施形態の第1変形例によるMR素子の断面図。  
[図3]第1実施形態の第2変形例によるMR素子の断面図。

[図4] 第1実施形態の第3変形例によるMR素子の断面図。

[図5]  $\text{DO}_{22}$ 構造を説明する図。

[図6]  $\text{DO}_{22}$ 構造を有するMnGa膜の飽和磁化および実効的な垂直磁気異方性エネルギーの、加熱成膜温度依存性を示す図。

[図7]  $\text{DO}_{22}$ 構造を有するMnGa膜の飽和磁化および実効的な垂直磁気異方性エネルギーの、Mn濃度依存性を示す図。

[図8]  $\text{L}_{10}$ 構造を説明する図。

[図9] 下地層及び記憶層を含む積層構造を示す断面図。

[図10] 第2実施形態によるMRAMの構成を示す回路図。

[図11] 1個のメモリセルMCを中心に示したMRAMの構成を示す断面図。

[図12] MRAMの適用例1によるデジタル加入者線(DSL)用モデムのDSLデータパス部を示すブロック図。

[図13] MRAMの適用例2による携帯電話端末300を示すブロック図。

[図14] MRAMの適用例3によるMRAMカード400を示す上面図。

[図15] MRAMカードにデータを転写するデータ転写装置500を示す平面図。

[図16] MRAMカードにデータを転写するデータ転写装置500を示す断面図。

[図17] MRAMカードにデータを転写する、はめ込み型のデータ転写装置500を示す断面図。

[図18] MRAMカードにデータを転写するための、スライド型のデータ転写装置500を示す断面図。

### 発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態による磁気抵抗素子の基本概念を説明する。

[0020] なお、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。ただし、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。したがって、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。

[0021] 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。

[0022] (第 1 実施形態)

まず、本発明の第 1 実施形態による磁気抵抗素子の構造について説明する。

[0023] 磁気抵抗素子の構造

図 1 に、本実施形態による磁気抵抗素子 1 を示す。図 1 において、矢印は磁化方向を示している。本明細書においては、磁気抵抗素子とは、半導体ある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 1 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。

[0024] 本実施形態の磁気抵抗素子 1 は、下地層 12、磁性層 13、非磁性層 15、磁性層 17、キャップ層 20 がこの順序で積層された積層構造を有している。磁性層 13 は、膜面に垂直な方向 (すなわち上面に垂直な方向) に磁化容易軸を有し、磁化が磁化容易軸のまわりを回転する (歳差運動する)。以下、磁性層 13 を記憶層と称する。記憶層 13 の詳細な性質については後述する。以下、膜面に垂直方向の磁化を垂直磁化と称する。

[0025] 磁性層 17 は、膜面に垂直な方向に磁化容易軸を有し、記憶層 13 に対し磁化方向が固定されている。「磁化の方向が固定される」とは、書き込み電流を流した前後で、磁化方向が変わらないことを意味する。または、記憶層 13 の保磁力よりも大きい保磁力を有する磁性材料から構成される。以下、

磁性層 17 を固定層と称する。固定層 17 の詳細な性質については後述する。なお、図 1 では、固定層 17 の磁化方向は、典型例として、下地層 12 に対して記憶層 13 と反対側に設けられる基板に対し、反対方向（上）を向いているが、基板方向（下）を向いていても構わない。

[0026] 非磁性層（トンネルバリア層とも云う）15 は、酸化物絶縁物等から構成される。非磁性層 15 のより詳細な性質については、後述する。

[0027] この磁気抵抗素子 1 は、スピン注入磁化反転方式によって書き込みを行う。すなわち、各層に対し膜面に垂直方向に流すスピン偏極電流の方向に応じて、記憶層 13 と固定層 17 の磁化方向の相対角を平行、反平行状態（すなわち抵抗の極小、極大）とを変化させ、二進情報の“0”または“1”に対応づけることにより、情報を記憶する。より詳細に説明すれば、書き込みの際は、固定層 17 から記憶層 13 へ、または記憶層 13 から固定層 17 へ、膜面に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た電子が固定層 17 から記憶層 13 へ注入される。この注入された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 13 の電子に移動されることによって、記憶層 13 の磁化が反転することになる。

[0028] 本実施形態の磁気抵抗素子 1 は、下地層 12 上に記憶層 13 およびこれより上の層が形成され、非磁性層 15 上に固定層 17 が形成される、いわゆるトップピン型の構造を有している。

[0029] 下地層 12 は、記憶層 13 より上の層の結晶配向性およ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。キャップ層 20 は、磁性層 17 の酸化防止等、主として保護層として機能する。

[0030] 図 1 に示す本実施形態に磁気抵抗素子 1 では、後述する界面層が挿入されていない。記憶層 13 および固定層 17 を構成する磁性材料としては、高 TMR を発現させる、また、高いスピン注入効率をもたらすに足るスピン分極率を有する材料を用いることができる。

本実施形態の磁気抵抗素子 1 は、以下に示す各種の変形例の磁気抵抗素子で

あってもよい。

[0031] (第1変形例)

図2に、第1実施形態の第1変形例による磁気抵抗素子1を示す。この変形例の磁気抵抗素子1は、図1に示す第1実施形態の磁気抵抗素子1において、非磁性層15と固定層17との間に界面層16を設けた構成となっている。界面層16は強磁性体からなり、非磁性層15と固定層17と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。

[0032] (第2変形例)

図3に、第1実施形態の第2変形例による磁気抵抗素子1を示す。この変形例の磁気抵抗素子1は、図1に示す第1実施形態の磁気抵抗素子1において、記憶層13と非磁性層15との間に界面層14を挿入するとともに、非磁性層15と固定層17との間に界面層16を挿入した構成となっている。界面層14も界面層16と同様に強磁性体からなり、記憶層13と非磁性層15と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14及び界面層16の詳細な性質については後述する。

[0033] (第3変形例)

図4に、第1実施形態の第3変形例による磁気抵抗素子1を示す。この変形例の磁気抵抗素子1は、図1に示す第1実施形態の磁気抵抗素子1において、固定層17とキャップ層20との間に、非磁性層18と、バイアス層（以下、シフト調整層とも云う）19とがこの順序で設けられた構成となっている。バイアス層19は強磁性体からなり、膜面に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17の磁化方向と反対方向に磁化が固定されている。バイアス層19は、素子加工時に問題となる、固定層17からの漏れ磁場による記憶層13における磁化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。また、この第3変形例において、第1および第2変形例と同様に、記憶層13と非磁性層15との間、または非磁性層15

と固定層 17 との間に、界面層 14 または界面層 16 が挿入されていてもよい。非磁性層 18 及びバイアス層 19 の詳細な性質については後述する。

[0034] 以下に、第 1 実施形態およびその変形例の磁気抵抗素子を構成する各層について詳述する。まず、記憶層について説明する。

[0035] 記憶層 13

磁気抵抗素子 1 の記憶層 13 として垂直磁化膜を用いる場合、前述した通り、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べて小さくでき、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可能となる。以下に、記憶層 13 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示す。

[0036] 記憶層 13 が具備すべき性質

記憶層 13 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  $\Delta$  は、実効的な異方性エネルギー  $K_u^{\text{eff}} \cdot V$  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。

$$\begin{aligned}\Delta &= K_u^{\text{eff}} \cdot V / (k_B T) \\ &= (K_u - 2\pi N M_s^2) \cdot V_a / (k_B T) \quad \dots\end{aligned}$$

(式 1) ここで、 $K_u$  は結晶磁気異方性定数、 $M_s$  は飽和磁化、 $N$  は反磁場係数、 $V_a$  は磁化反転単位体積、 $k_B$  はボルツマン定数、 $T$  は絶対温度 (K) を表す。

[0037] 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、熱擾乱指数  $\Delta$  は 60 以上が必要条件となる。しかし、大容量化を念頭に素子サイズが小さくなる、もしくは膜厚が薄くなると、磁化反転単位体積  $V_a$  が小さくなり、記憶が維持できなくなる (= 熱擾乱) ことが懸念される。そのため、記憶層 13 としては、結晶磁気異方性定数  $K_u$  が大きい、かつ／あるいは、飽和磁化  $M_s$  が小さい材料を選択することが望ましい。一方、スピン注入書き込み方式による磁化反転に必要な臨界電流  $I_c$  は、一般的に、

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

であることが知られている。ここで、 $\alpha$  は磁気緩和定数、 $\eta$  はスピン注入効

率係数を表す。磁化反転単位体積 $V_a$ は飽和磁化 $M_s$ が小さいほど大きい。このため、最低限の熱擾乱指数 $\Delta$ を保ちつつ反転電流を下げるには、飽和磁化 $M_s$ の小さな材料を選択することが望ましい。

[0038] 記憶層 1 3 の材料

上記のように、記憶層 1 3 は垂直磁化膜であり、かつ高い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、飽和磁化 $M_s$ が小さく、熱擾乱指数 $\Delta$ を維持するに足る高い磁気異方性 $K_u$ を持ち、また、高分極率を示す材料であることが好ましい。このような要請を満たす材料として、フェリ磁性を示す組成の $MnGa$ 合金が考えられる。以下により具体的に説明する。

[0039] (記憶層材料の第 1 具体例 ( $DO_{22}$ 型- $Mn_{3-\delta}Ga$ ))

記憶層 1 3 の第 1 具体例は、 $DO_{22}$ 相を有するマンガン ( $Mn$ ) 及びガリウム ( $Ga$ ) の合金から構成される。 $Mn_{3-\delta}Ga$ 合金は、 $Mn$ 組成が $0.15 < \delta < 1.05$  (66 乃至 74 at %) の範囲内で面心正方 (FCT : face-centered tetragonal) 構造に基づく、図 5 に示すような $DO_{22}$ 型構造を有し、この組成範囲内でフェリ磁性を発現する。垂直磁化膜とするためには、 $c$ 軸を膜面に垂直方向、すなわち (002) 配向成長させればよい。具体的には図 1 乃至 4 に示す下地層 1 2 を適切に選択することにより、記憶層 1 3 の結晶配向成長を制御することが可能である。下地層 1 2 の詳細および具体的な作製方法については後述する。

[0040] 一例として、図 6 に、下地層 1 2 上に作製した $DO_{22}$ 構造を有する $Mn_{2.5}Ga$ の飽和磁化 $M_s$ 及び実効的な垂直磁気異方性定数 $K_u^{eff}$ の、基板加熱成膜温度依存性を示す。配向制御された下地層 1 2 上に加熱成膜を行うことにより、より高配向に (002) 結晶配向した $Mn_{2.5}Ga$ を作製することが可能となる。詳細に実験を行った結果、基板温度 $T_s = 400^\circ C$ 付近で最も大きな垂直磁気異方性が発現することを確認した (図 6 参照)。

[0041] また、図 7 に、このようにして作製した垂直磁化 $Mn_{3-\delta}Ga$ の飽和磁化 $M_s$ 及び実効的な磁気異方性定数 $K_u^{eff}$ の、 $Mn$ 組成依存性を示す。 $Mn$ 組成を調整することにより、低飽和磁化 ( $< 300$  (emu/cc)) でかつ  $1 \times 1$

$0.7$  (erg/cc) 以上の高い実効的垂直磁気異方性の両立が可能となることが判った。また、文献、例えば J. Winterlink et al, Phys. Rev. B, 77 (2008) 054406 および J. Kubler et al, J. Phys: Condens. Matter B, 18 (2006) 9795 によると、この組成範囲の  $\text{Mn}_{3-\delta}\text{Ga}$  の分極率は、バンド計算上およそ 66%~98% と高いことが予想される。また、高分極材料として研究が盛んなハーフメタル系およびホイスラー系の材料に比べ、キュリー温度がおよそ 700 K 以上と高く、安定に  $\text{DO}_{22}$  構造が存在できることから、記憶層の特性要請を満たす材料として好ましい。

[0042] (記憶層材料の第 2 の具体例 ( $\text{L}_{10}$  型- $\text{MnGa}$ ))

記憶層 13 の第 2 の具体例は、 $\text{L}_{10}$  相を有するマンガン (Mn) 及びガリウム (Ga) の合金から構成される。 $\text{MnGa}$  合金は、Mn の組成比が 50 at% で強磁性体となる。さらに低飽和磁化  $M_s$  を実現するためには、Mn を添加すればよい。具体的には、Mn の組成比がこれよりも多くなると、Mn の Ga サイトへの置換が起こり、Ga サイトの Mn は、Mn サイトの Mn と反平行なスピン配列をとる。この結果、Mn 組成が 64 at% 乃至 66 at% の範囲内で相図上、 $\tau$  相あるいは  $\varepsilon'$  相と呼ばれる、面心正方 (FCT: face-centered tetragonal) 構造を基本格子とする、図 8 に示すような  $\text{L}_{10}$  型 ( $\text{CuAu}$  型) 規則構造相が安定相のフェリ磁性体となり、実効的な飽和磁化  $M_s$  の大きさを 50 (emu/cc) 以下に調整することができる。垂直磁化膜とするためには、c 軸を膜面に垂直方向、すなわち (001) 配向成長させればよい。具体的には図 1 乃至図 4 で説明した下地層 12 を適切に選択することにより、記憶層 13 の結晶配向成長を制御することが可能である。下地層 12 の詳細および具体的な作製方法については後述する。 $\text{MnGa}$  合金は、この組成範囲内においては  $5 \times 10^6$  (erg/cc) と高い実効的な垂直磁気異方性と、およそ 690 K と高いキュリー温度を有し、記憶層としての要請された特性を満たす。

[0043] 下地層 12

記憶層 13 についての上述の詳細な説明に示す  $\text{DO}_{22}$  構造および  $\text{L}_{10}$  構造

では、一般に、 $[001]$ 方向の格子定数 $c$ と、 $[100]$ 並びに $[010]$ 方向の格子定数 $a$ とは等しくない。従って、 $\text{DO}_{22}$ 構造あるいは $\text{L}1_0$ 構造を有する強磁性合金は、 $c$ 軸が磁化容易軸となる。すなわち、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、 $\text{DO}_{22}$ 構造および $\text{L}1_0$ 構造の結晶配向性をそれぞれ $(002)$ 面、 $(001)$ 面が配向するように制御する必要がある。そのため、下地層12の材料及びその積層構造の選択が重要となる。以下に下地層12について、その材料及び積層構成の詳細を説明するが、 $\text{DO}_{22}$ 構造及び $\text{L}1_0$ 構造の $[100]$ 方向の格子定数 $a$ は、それぞれおよそ $3.90 \text{ \AA}$ 程度と近いので、以下に示す材料および積層構成の具体例は、記憶層13が $\text{DO}_{22}$ 構造の $\text{MnGa}$ 、 $\text{L}1_0$ 構造の $\text{MnGa}$ の場合のどちらに対しても適用される。

[0044] (下地層12の積層構造)

図9は、下地層12および記憶層13を含む積層構造を示す断面図である。図9に示した積層構造は、熱酸化膜付き $\text{Si}$ 基板10上に、下地層12との密着層11としての膜厚 $5 \text{ nm}$ 程度の $\text{Ta}$ 層と、下地層12と、この下地層12上の $\text{DO}_{22}$ 構造あるいは $\text{L}1_0$ 構造の記憶層13としての膜厚 $2 \text{ nm}$ 程度の $\text{MnGa}$ 層と、を順次形成した構成を有している。 $\text{MnGa}$ 層より上の構成は、図1乃至図4に示す、第1実施形態またはその変形例と同じとなっている。

[0045] 下地層12としては、下地層12aとして膜厚 $3 \text{ nm}$ 程度のアモルファス層、下地層12bとして膜厚 $0.5 \text{ nm}$ 程度の酸化物層、下地層12cとして膜厚 $20 \text{ nm}$ 程度の $\text{NaCl}$ 構造を有する窒化物層もしくはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物層、下地層12dとして膜厚 $3 \text{ nm}$ 程度の金属層を順次積層した構成が好ましい。これらの下地層12a~12dの中で、特に、 $\text{NaCl}$ 構造を有する窒化物もしくはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物からなる下地層12cを有することが必要である。これは、下地層12に $\text{NaCl}$ 構造を有する窒化物層もしくはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物層12cを含むことによって、 $\text{DO}_{22}$ 構造ならば $(002)$ 面

の、 $L1_0$ 構造ならば(001)面の結晶配向性および平滑性が良好なフェリ磁性MnGa合金の記憶層13を形成することができるからである。

[0046] さらに、窒化物層12cの結晶配向性、平滑性を制御するためには、下地層12aとして $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ のようなアモルファス層或いは微結晶層、および下地層12bとしてNaCl構造を有する酸化物層、および下地層12dとして正方晶構造あるいは立方晶構造を有する金属層が、下地層12内に形成されていることが好ましい。下地層12内に含まれる下地層12a乃至12dの具体的な材料については後述する。

[0047] (下地層12の材料)

下地層12のうち、下地層12cとしては、NaCl構造を有する窒化物もしくはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物が用いられる。すなわち、NaCl構造を有する窒化物として、(001)面に配向したNaCl構造を有し、かつTi、Zr、Nb、V、Hf、Ta、Mo、W、B、Al、Ceのうちから選択された少なくとも1つの元素の窒化物が用いられる。例えば、NaCl構造を有する窒化物としては、TiN、ZrN、NbN、VN等が挙げられる。また、例えば、TiNのように金属が1元素ではなく、Ti-Zr-N、Ti-Al-Nのように金属が2元素、もしくは、Ti、Zr、Nb、Vの窒化物の他に、Hf、Ta、Mo、W、B、Al、Ce等の窒化物を用いてもよい。しかしながら窒化物としての安定性を考慮すると、標準生成自由エネルギーが低い方が好ましい。そこで、NaCl構造を有する代表的な窒化物の500℃における標準生成自由エネルギーを低い順に並べると、ZrN、TiN、CeN、VN、CrNとなる(例えば、金属データブックp. 90、日本金属学会編参照)。窒化物が安定に存在できないと、窒化物の形成時及び形成後の熱工程により、窒化物を構成する元素の一部が拡散する可能性がある。このため、本実施形態で用いる窒化物は、その標準生成エネルギーが低い方が好ましく、このような観点からZrN、TiN、CeNがより好ましい。一方、これらの窒化物、ZrN、TiN、CeNの格子定数はそれぞれ、4.54 Å、4.22 Å、5.02 Åであり、前

述の通り  $\text{DO}_{22}$  構造及び  $\text{L}_{10}$  構造を有する  $\text{MnGa}$  の  $[100]$  方向の格子定数  $a$  は、およそ  $3.90 \text{ \AA}$  程度であるため、格子定数の観点からは、 $\text{TiN}$ 、 $\text{ZrN}$ 、 $\text{CeN}$  の順で好ましい。また、膜厚が厚すぎると平滑性が悪くなり、薄すぎると窒化物として機能しないため、膜厚範囲としては、 $3 \text{ nm}$  乃至  $30 \text{ nm}$  の範囲にあることが好ましい。

[0048] 下地層 12c の材料として、 $\text{NaCl}$  構造を有する窒化物の他に、同様の効果がある材料として、 $(002)$  面に配向したペロブスカイト構造を有する導電性酸化物が挙げられる。具体的には、ペロブスカイト型酸化物を  $\text{ABO}_3$  で表すと、サイト A は、ストロンチウム ( $\text{Sr}$ )、セリウム ( $\text{Ce}$ )、ジスプロシウム ( $\text{Dy}$ )、ランタン ( $\text{La}$ )、 $\text{K}$  (カリウム)、 $\text{Ca}$  (カルシウム)、ナトリウム ( $\text{Na}$ )、鉛 ( $\text{Pb}$ )、もしくはバリウム ( $\text{Ba}$ ) 等から選択された少なくとも 1 つの元素から構成され、サイト B は、チタン ( $\text{Ti}$ )、バナジウム ( $\text{V}$ )、クロム ( $\text{Cr}$ )、マンガン ( $\text{Mn}$ )、鉄 ( $\text{Fe}$ )、コバルト ( $\text{Co}$ )、ニッケル ( $\text{Ni}$ )、ガリウム ( $\text{Ga}$ )、ニオブ ( $\text{Nb}$ )、モリブデン ( $\text{Mo}$ )、ルテニウム ( $\text{Ru}$ )、イリジウム ( $\text{Ir}$ )、 $\text{Ta}$  (タンタル)、セリウム ( $\text{Ce}$ ) 若しくは鉛 ( $\text{Pb}$ ) 等から選択された少なくとも 1 つの元素から構成される。すなわち、 $\text{SrRuO}_3$ 、 $\text{Sr}(\text{Ti}, \text{Ru})\text{O}_3$ 、 $\text{SrNbO}_3$ 、 $\text{Sr}(\text{Ti}, \text{V})\text{O}_3$ 、 $\text{SrCrO}_3$ 、 $\text{SrFeO}_3$ 、 $\text{SrCoO}_3$ 、 $\text{SrNbO}_3$ 、 $\text{SrMoO}_3$ 、 $\text{SrIrO}_3$ 、 $\text{CeGaO}_3$ 、 $\text{DyMnO}_3$ 、 $\text{LaTiO}_3$ 、 $\text{LaVO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 、 $\text{LaNiO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{BaMoO}_3$ 、 $\text{CaCeO}_3$ 、 $\text{CaCrO}_3$ 、 $\text{CaRuO}_3$  等が挙げられる。これらの酸化物は  $(001)$  面の格子定数  $a$  が  $3.7 \text{ \AA} \sim 4.0 \text{ \AA}$  程度で結晶配向性に優れ、下地層として好ましい。上述材料の中から高耐熱性、低格子ミスマッチ、低抵抗の観点から適宜選択すればよい。また、ペロブスカイト型酸化物は、酸素を欠損させることで電気伝導性を調整することが可能である。

[0049] 下地層 12 のうち、下地層 12a は、平滑性と、下地層 12b となる  $\text{NaCl}$  構造を有する酸化物、下地層 12c となる  $\text{NaCl}$  構造を有する窒化物

あるいはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物のそれぞれの結晶配向性を向上させる目的で、アモルファス層或いは微結晶層が用いられる。アモルファス構造（或いは微結晶構造）からなる下地層12aとしては、鉄（Fe）、コバルト（Co）、及びニッケル（Ni）のうち1つ以上の元素と、ホウ素（B）、ニオブ（Nb）、シリコン（Si）、タンタル（Ta）、及びジルコニウム（Zr）のうち1つ以上の元素とを含む金属が挙げられる。具体的には、 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 、 $\text{Co}_{80}\text{B}_{20}$ 、 $\text{Fe}_{80}\text{Si}_{10}\text{B}_{10}$ 等のアモルファス層（或いは、微結晶層）が挙げられる。さらに、 $\text{CoZrB}$ 、 $\text{NiSiB}$ 、 $\text{FeNiSiB}$ 、 $\text{FeCoZrB}$ 等も好ましい材料と言える。これらのアモルファス層（或いは、微結晶層）は、形成時には明瞭な結晶構造を示さないが、成膜後の熱工程によって部分的に結晶化が開始して、ある領域が明瞭な結晶構造を示しても構わない。つまり、最終的にデバイスとして機能している際には、結晶構造を示していても構わない。下地層12aとしてアモルファス層を用いると、下地層12bとなるNaCl構造を有する酸化物および下地層12cとなるNaCl構造を有する窒化物あるいはペロブスカイト構造を有する導電性酸化物酸化物が、（100）面に高配向に成長し易くなる。また、下地層12aであるアモルファス層の膜厚は、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、1nm乃至10nmの範囲にあることが好ましい。

- [0050] 下地層12のうち、下地層12bとしては、下地層12cおよび下地層12dの平滑性、結晶配向性を向上させる目的で、NaCl構造を有する酸化物が用いられる。NaCl構造を有する酸化物としては、マグネシウム（Mg）、カルシウム（Ca）、バナジウム（V）、ニオブ（Nb）、マンガン（Mn）、鉄（Fe）、コバルト（Co）、及びニッケル（Ni）のうち少なくとも1つ以上の元素を主成分とする材料が挙げられる。また、下地層12bである酸化物の膜厚は、厚すぎると抵抗が高くなり、直列抵抗が付加されて非磁性層（トンネルバリア層）15で生じる磁気抵抗比を低下させるこ

とになるため、少なくとも非磁性層 15 の抵抗よりも小さくする必要があり、1 nm よりも薄いことが好ましい。

- [0051] 下地層 12 のうち、下地層 12 d としては、正方晶構造あるいは立方晶構造を有しかつ格子定数が 2.7 Å 乃至 3.0 Å、或いは 3.7 Å 乃至 4.2 Å の範囲にありかつ (001) 面に配向した金属を用いることが好ましい。下地層 12 c となる窒化物あるいは酸化物上に  $\text{DO}_{22}$  構造または  $\text{L}_{10}$  構造の  $\text{MnGa}$  を記憶層 13 として直接形成するよりも、下地層 12 c と記憶層 13 との間に、バッファ層として下地層 12 d を設けることで、 $\text{DO}_{22}$  構造または  $\text{L}_{10}$  構造の  $\text{MnGa}$  の記憶層 13 の c 軸配向性を、より向上させることができる。下地層 12 d の具体的な材料としては、ロジウム (Rh)、イリジウム (Ir)、パラジウム (Pd)、白金 (Pt)、銅 (Cu)、銀 (Ag)、及び金 (Au) のうち 1 つの元素、或いは 1 つの元素を主成分とする合金から構成されていることが好ましい。また、下地層 12 d である金属層の膜厚は、厚すぎると平滑性が悪くなり、薄すぎると  $\text{DO}_{22}$  構造または  $\text{L}_{10}$  構造を有する規則合金の配向性を整える層として十分に機能しないため、1 nm 乃至 10 nm の範囲にあることが好ましい。

[0052] 非磁性層 15

非磁性層 15 の材料としては、NaCl 構造を有する酸化物が好ましい。具体的には  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SrO}$ 、 $\text{TiO}$ 、 $\text{VO}$ 、 $\text{NbO}$  などが挙げられる。これらの NaCl 構造酸化物は、Fe、Co、Ni のいずれか、あるいは 2 種以上を主成分として含む、例えばアモルファス  $\text{CoFeNiB}$  合金上、あるいは体心立方 (BCC: body-centered cubic) 構造で (100) 優先配向面を有する  $\text{FeCoNi}$  のいずれか、あるいは 2 種以上を主成分として含む合金上、あるいは  $\text{DO}_{22}$  構造を有する合金の (002) 面上、あるいは FCC 構造を有する  $\text{L}_{10}$  型規則合金の (001) 配向面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。特に、B、C、Nなどを添加した  $\text{CoFe-X}$  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。

[0053] また、記憶層 13 の磁化と、固定層 17 の磁化の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。反対に、記憶層 13 の磁化と、固定層 17 の磁化の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。したがって、 $\Delta_1$  バンドの形成が高 MR 比を発現させるためのポイントとなる。 $\Delta_1$  バンドを形成するためには、NaCl 構造の酸化物からなる非磁性層 15 の (100) 面と記憶層 13 及び固定層 17 との界面の整合性がよくなければならない。

[0054] NaCl 構造の酸化物層からなる非磁性層 15 の (100) 面での格子整合性をさらに良くするために、記憶層 13 との間に界面層 14 を、固定層 17 との間に界面層 16 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 14 及び界面層 16 として、非磁性層 15 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。

[0055] 固定層 17

固定層 17 としては、記憶層 13 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。すなわち、実効的な磁気異方性  $K_u^{\text{eff}}$  及び飽和磁化  $M_s$  が大きく、また磁気緩和定数  $\alpha$  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。

[0056] (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、を含む合金であり、この合金の結晶構造が L1<sub>0</sub> 型の規則合金である。例えば、Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>、Fe<sub>50</sub>Pd<sub>50</sub>、Co<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>、Fe<sub>30</sub>Ni<sub>20</sub>Pt<sub>50</sub>、Co<sub>30</sub>Fe<sub>20</sub>Pt<sub>50</sub>、Co<sub>30</sub>Ni<sub>20</sub>Pt<sub>50</sub> 等が挙げられる。これらの規則合金は上記組成比に限定されない。これらの規則合金に、Cu (銅)、Cr (クロム)、Ag (銀) 等の不純物元素あるいはその合金、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 17 として用いる場合、特に非磁性層 15 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 に示す第 1 変形例のように、非磁性層 15 と固定層 17 との間に、界面層 16 が挿入されることが好ましい。

[0057] (人工格子系)

人工格子系とは、Fe、Co、Niのうち少なくとも1つの元素を含む合金と、Cr、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Re、Au、Cuのうち少なくとも1つの元素を含む合金とが交互に積層された構造を有している。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人工格子等が挙げられる。これらの人工格子は、磁性層への元素の添加、磁性層と非磁性層との膜厚比、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 17 として用いる場合は、多くの場合、非磁性層 15 との格子ミスマッチが大きく、高MR比の観点からは好ましくない。このような場合は、図 2 に示す第 1 変形例のように、非磁性層 15 と固定層 17 との間に、界面層 16 が挿入されることが好ましい。

[0058] (不規則合金系)

不規則合金系とは、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である。例えば、CoCr合金、CoPt合金、CoCrTa合金、CoCrPt合金、CoCrPtTa合金、CoCrNb合金等が挙げられる。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 17 として用いる場合は、多くの場合、非磁性層 15 との

格子ミスマッチが大きく、高MR比の観点からは好ましくない。このような場合は、図2に示す第1変形例のように、非磁性層15と固定層17との間に、界面層16が挿入されることが好ましい。

[0059] 界面層

非磁性層15と、固定層17または記憶層13との界面には、磁気抵抗比（TMR比）を上昇させる目的で、図2及び図3に示す界面層16及び界面層14が挿入される。界面層14及び界面層16は高分極率材料、具体的には合金（ $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ ） $_{100-y}\text{B}_y$ からなり、 $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることが好ましい。また、界面層16及び界面層14は立方晶構造あるいは正方晶構造からなり、（100）面に配向することが好ましい。これらの磁性材料を界面層16及び界面層14として用いることにより、固定層17と非磁性層15との間、及び記憶層13と非磁性層15との間の格子ミスマッチが緩和され、更に高分極率材料であるため、高MR比と高いスピン注入効率を実現する効果が期待される。

[0060] バイアス層

図4に示す第3変形例のように、固定層17とキャップ層20との間に、非磁性層18と、バイアス層19を配置してもよい。これにより、固定層17からの漏れ磁場による記憶層13の反転電流のシフトを緩和及び調整することが可能となる。

[0061] 非磁性層18は、固定層17とバイアス層19とが熱工程によって混ざらない耐熱性、及びバイアス層19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。

さらに、非磁性層18の膜厚が厚くなるとバイアス層19と記憶層13との距離が離れるため、バイアス層19から記憶層13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18の膜厚は、5 nm以下であることが望ましい。バイアス層19は、膜面に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17で挙げた材料を用いることができる。ただし、バイアス層19は、固定層17に比べて記

憶層 13 から離れているため、記憶層 13 に印加される漏れ磁場をバイアス層 19 によって調整するためには、バイアス層 19 の膜厚、或いは飽和磁化  $M_s$  の大きさを固定層 17 のそれらより大きくする設定する必要がある。すなわち、本発明者達の研究結果によれば、固定層 17 の膜厚、飽和磁化をそれぞれ  $t_2$ 、 $M_{s2}$ 、バイアス層 19 の膜厚、飽和磁化をそれぞれ  $t_{22}$ 、 $M_{s22}$  とすると、以下の関係式を満たす必要がある。

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

)

[0062] 例えば素子サイズ 50 nm 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 17 に飽和磁化  $M_{s2}$  が 1000 emu/cc、膜厚  $t_2$  が 5 nm の磁性材料を用いたとすると、非磁性層 18 の膜厚は 3 nm、バイアス層 19 には飽和磁化  $M_{s22}$  が 1000 emu/cc、膜厚  $t_{22}$  が 15 nm 程度のバイアス層特性が要求される。

[0063] また、上述のシフト相殺効果を得るには、固定層 17 とバイアス層 19 との磁化方向は反平行に設定される必要がある。この関係を満たすためには、固定層 17 の保磁力  $H_{c2}$  とバイアス層 19 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、予めマイナーループ (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 17 とバイアス層 19 との磁化方向は反平行に設定することが可能となる。また非磁性層 18 を介して固定層 17 とバイアス層 19 とを反強磁性結合 (SAF (Synthetic Anti-Ferromagnetic) 結合) させることによっても、同様に固定層 17 とバイアス層 19 との磁化方向は反平行に設定することが可能となる。具体的には、非磁性層 18 の材料として例えばルテニウム (Ru) を用いると、固定層 17 とバイアス層 19 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 19 によって固定層 17 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 13 の反転電流のシフトを低減することができる。この結果、素子間での記憶層 13 の反転電流のばらつきを低減することも可能となる。

[0064] 以上の述べたように、第1実施形態による磁気抵抗効果素子1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用の磁気抵抗素子を得られる。

[0065] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態によるMRAMを説明する。この実施形態のMRAMは、第1実施形態の磁気抵抗素子1を用いたMRAMであり、その構成を図10に示す。MRAMは、マトリクス状に配列された複数のメモリセルMCを有するメモリセルアレイ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BL, /BL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WLが配設されている。

[0066] ビット線BLとワード線WL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と、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と、を備えている。磁気抵抗素子1の一端は、ビット線BL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WL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/BLに接続されている。

[0067] ワード線WLには、ロウデコーダ42が接続されている。ビット線対BL, /BL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。

[0068] 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に接続されたワード線WL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。

[0069] 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。

[0070] 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、選択されたメモリセル 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 1 の抵抗値を検出する。このようにして、磁気抵抗素子 1 に記憶されたデータを読み出すことができる。

[0071] 次に、MRAM の構造について説明する。図 11 は、1 個のメモリセル MC を中心に示した MRAM の構成を示す断面図である。

[0072] 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。

[0073] 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た  $N^+$  型不純物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 5 1 には、選択トランジスタ 4 1 が設けられている。

[0074] ソース領域 S 上には、コンタクト 5 2 を介して配線層 5 3 が設けられている。配線層 5 3 は、ビット線／B L として機能する。ドレイン領域 D 上には、コンタクト 5 4 を介して引き出し線 5 5 が設けられている。引き出し線 5 5 上には、下部電極 2 5、磁気抵抗素子 1、及び上部電極 2 7 がこの順序で積層されている。上部電極 2 7 上には、配線層 5 6 が設けられている。配線層 5 6 は、ビット線 B L として機能する。また、半導体基板 5 1 と配線層 5 6 との間は、例えば酸化シリコンからなる層間絶縁層 5 7 で満たされている。

[0075] 以上詳述したように本実施形態によれば、第 1 実施形態で示した磁気抵抗素子 1 を用いて M R A M を構成することができる。なお、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にも使用することが可能である。

[0076] 第 2 実施形態で示した M R A M は、様々な装置に適用することが可能である。以下に、M R A M のいくつかの適用例について説明する。

[0077] (適用例 1)

図 1 2 は、デジタル加入者線 (D S L) 用モデムの D S L データパス部を抽出して示している。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 (D S P : Digital Signal Processor) 1 0 0、アナログーデジタル (A / D) コンバータ 1 1 0、デジタルーアナログ (D / A) コンバータ 1 2 0、送信ドライバ 1 3 0、及び受信機増幅器 1 4 0 等を備えている。

[0078] 図 1 2 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 (D S P で実行される、コード化された加入者回線情報、伝送条件等 (回線コード : Q A M、C A P、R S K、F M、A M、P A M、D W M T 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 M R A M 1 7 0 と E E P R O M (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) 1 8 0 とを示している。

[0079] なお、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MRAM 170とEEPROM 180との2種類のメモリを用いているが、EEPROM 180をMRAMに置き換えてもよい。すなわち、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。

[0080] (適用例2)

図13は、別の適用例として、携帯電話端末300を示している。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DSP(Digital Signal Processor)205、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。

[0081] 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、CPU221、ROM222、本実施形態のMRAM223、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たマイクロコンピュータである。上記ROM222には、CPU221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。

[0082] MRAM223は、主に作業領域として用いられるものであり、CPU221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。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。

[0083] また、この携帯電話端末300には、音声データ再生処理部211、外部出力端子212、LCD(液晶ディスプレイ)コントローラ213、表示用

のLCD214、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。音声データ再生処理部211は、携帯電話端末300に入力された音声データ（オーディオ情報（或いは、後述する外部メモリ240に記憶されたオーディオ情報））を再生する。再生された音声データ情報は、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。このように、音声データ再生処理部211を設けることにより、音声データ（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CPU221からの表示情報を、バス225を介して受け取り、LCD214を制御するためのLCD制御情報に変換し、LCD214を駆動して表示を行わせる。

[0084] 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。このように、携帯電話端末300に外部メモリスロット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に記憶された情報（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。

[0085] 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から入力されたキー入力情報は、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。

[0086] なお、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ROM 222もMRAMに置き換えることも可能である。

[0087] (適用例3)

図14乃至図18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。

[0088] 図14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。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カードに記憶されたコンテンツデータを外部に取り出すためのものである。

[0089] 図15及び図16は、上記MRAMカードにデータを転写するための、カード挿入型のデータ転写装置500の上面図及び断面図を示している。

[0090] 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1のMRAMカード550が収納されている。収納部500aには、第1のMRAMカード550に電氣的に接続された外部端子530が設けられており、この外部端子530を用いて第1のMRAMカード550のデータが書き換えられる。

[0091] エンドユーザの使用する第2のMRAMカード450を、矢印で示すようにデータ転写装置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1のMRAMカード550と第2のMRAMカード450を位置合わせするための部材としても働く。第2のMRAMカード450が所定位置に配置されると、第1のMRAMカード

の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1のMRAMカード550に記憶されたデータが第2のMRAMカード450に転写される。

[0092] 図17は、はめ込み型のデータ転写装置500を示す断面図である。このデータ転写装置500は、矢印で示すように、ストッパ520を目標に、第1のMRAMカード550上に第2のMRAM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。

[0093] 図18は、スライド型のデータ転写装置を示す断面図である。このデータ転写装置500は、CD-ROMドライブやDVDドライブと同様に、データ転写装置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が破線的位置に移動したときに第2のMRAMカード450を受け皿スライド560に載置し、第2のMRAMカード450をデータ転写装置500の内部へ搬送する。ストッパ520に第2のMRAM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。

[0094] 本発明は、上述した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内で、構成要素を変形して具体化できる。また、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することができる。例えば、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。

## 符号の説明

- [0095] 1 磁気抵抗素子  
10 基板  
11 密着層  
12 下地層

- 1 3 記憶層
- 1 4 界面層
- 1 5 非磁性層（トンネルバリア層）
- 1 6 界面層
- 1 7 固定層
- 1 8 非磁性層
- 1 9 バイアス層（シフト調整層）
- 2 0 キャップ層

## 請求の範囲

- [請求項1] 下地層と、  
前記下地層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第1の磁性層と、  
前記第1の磁性層上に設けられた第1の非磁性層と、  
前記第1の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が固定された第2の磁性層と、  
を備え、  
前記第1の磁性層は、 $\text{DO}_{22}$ 構造または $\text{L1}_0$ 構造を有しc軸が膜面に垂直方向を向くフェリ磁性体層を含み、前記第1の磁性層と前記第1の非磁性層と前記第2の磁性層とを貫く電流によって、前記第1の磁性層の磁化方向が可変となることを特徴とする磁気抵抗素子。
- [請求項2] 前記第1の磁性層の前記フェリ磁性体層は、MnおよびGaを含む合金層であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項3] 前記下地層は、(001)面に配向したNaCl構造を有し、かつTi、Zr、Nb、V、Hf、Ta、Mo、W、B、Al、Ceのうちから選択された少なくとも1つの元素の窒化物の第1の層を含むことを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項4] 前記下地層は、 $\text{ABO}_3$ からなる(002)面に配向したペロブスカイト系導電性酸化物の第1の層を含み、サイトAはSr、Ce、Dy、La、K、Ca、Na、Pb、Baのうちから選択された少なくとも1つの元素から構成され、サイトBはTi、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Ga、Nb、Mo、Ru、Ir、Ta、Ce、Pbのうちから選択された少なくとも1つの元素から構成されることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項5] 前記下地層は、前記第1の層上に設けられ、正方晶構造または立方晶構造を有し(001)面に配向した金属を含む第2の層を更に備えていることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗素子。

- [請求項6] 前記第2の磁性層上に設けられた第2の非磁性層と、  
前記第2の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有し磁化方向が前記第2の磁性層の磁化方向と互いに反平行な第3の磁性層と、  
を更に備え、  
前記第2の磁性層の飽和磁化を $M_{s2}$ 、膜厚を $t_2$ とし、前記第3の磁性層の飽和磁化を $M_{s3}$ 、膜厚を $t_3$ とするとき、  
 $M_{s2} \times t_2 < M_{s3} \times t_3$ の関係を満たすことを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項7] 前記第2の磁性層と前記第1の非磁性層との間に設けられた第1の界面層を更に備え、前記第1の界面層は、合金 $(Co_{100-x}-Fe_x)_{100-y}B_y$  ( $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ )であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項8] 前記第1の磁性層と前記第1の非磁性層との間に設けられた第2の界面層を更に備え、前記第2の界面層は、合金 $(Co_{100-x}-Fe_x)_{100-y}B_y$  ( $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ )であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。
- [請求項9] 前記第2の界面層は、立方晶構造あるいは正方晶構造からなり、 $(100)$ 面に配向することを特徴とする請求項8記載の磁気抵抗素子。
- [請求項10] 請求項1記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟むように設けられ、かつ前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第1及び第2の電極とを含むメモリセルを備えていることを特徴とする磁気メモリ。

補正された請求の範囲  
[2010年6月30日(30.06.2010)国際事務局受理]

[請求項1]

(補正後) 下地層と、

前記下地層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第1の磁性層と、

前記第1の磁性層上に設けられた第1の非磁性層と、

前記第1の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が固定された第2の磁性層と、

を備え、

前記第1の磁性層は、 $\text{D O}_{22}$ 構造を有しc軸が膜面に垂直方向を向くフェリ磁性体層を含み、前記第1の磁性層と前記第1の非磁性層と前記第2の磁性層とを貫く電流によって、前記第1の磁性層の磁化方向が可変となることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項2]

前記第1の磁性層の前記フェリ磁性体層は、MnおよびGaを含む合金層であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項3]

前記下地層は、(001)面に配向したNaCl構造を有し、かつTi、Zr、Nb、V、Hf、Ta、Mo、W、B、Al、Ceのうちから選択された少なくとも1つの元素の窒化物の第1の層を含むことを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項4]

前記下地層は、 $\text{A B O}_3$ からなる(002)面に配向したペロブスカイト系導電性酸化物の第1の層を含み、サイトAはSr、Ce、Dy、La、K、Ca、Na、Pb、Baのうちから選択された少なくとも1つの元素から構成され、サイトBはTi、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Ga、Nb、Mo、Ru、Ir、Ta、Ce、Pbのうちから選択された少なくとも1つの元素から構成されることを特徴とす

る請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項5]

前記下地層は、前記第1の層上に設けられ、正方晶構造または立方晶構造を有し(001)面に配向した金属を含む第2の層を更に備えていることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗素子。

[請求項6]

前記第2の磁性層上に設けられた第2の非磁性層と、  
前記第2の非磁性層上に設けられ膜面に垂直方向に磁化容易軸を有し磁化方向が前記第2の磁性層の磁化方向と互いに反平行な第3の磁性層と、  
を更に備え、  
前記第2の磁性層の飽和磁化を $M_{s2}$ 、膜厚を $t_2$ とし、前記第3の磁性層の飽和磁化を $M_{s3}$ 、膜厚を $t_3$ とすると、  
 $M_{s2} \times t_2 < M_{s3} \times t_3$ の関係を満たすことを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項7]

前記第2の磁性層と前記第1の非磁性層との間に設けられた第1の界面層を更に備え、前記第1の界面層は、合金( $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ ) $_{100-y}\text{B}_y$ ( $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ )であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項8]

前記第1の磁性層と前記第1の非磁性層との間に設けられた第2の界面層を更に備え、前記第2の界面層は、合金( $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ ) $_{100-y}\text{B}_y$ ( $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ )であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗素子。

[請求項9]

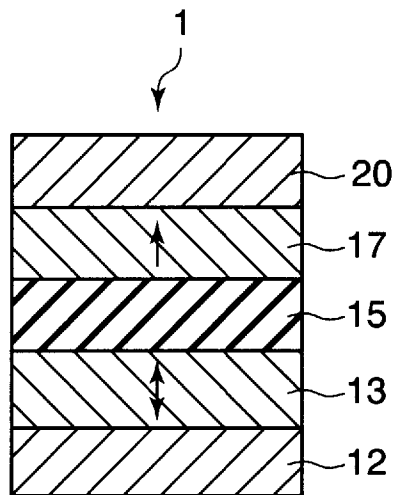
前記第2の界面層は、立方晶構造あるいは正方晶構造からなり、(100)面に配向することを特徴とする請求項8記載の磁気抵抗素子。

[請求項10]

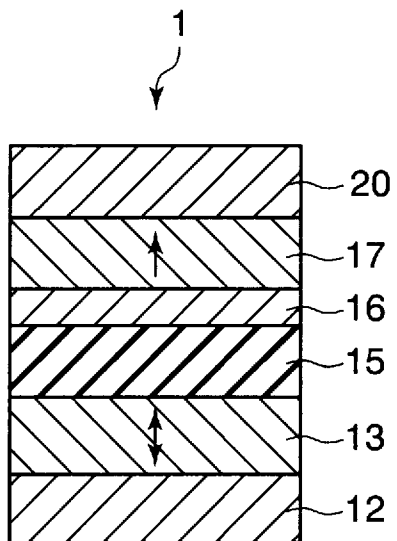
請求項1記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟む

ように設けられ、かつ前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第1及び第2の電極とを含むメモリセルを備えていることを特徴とする磁気メモリ。

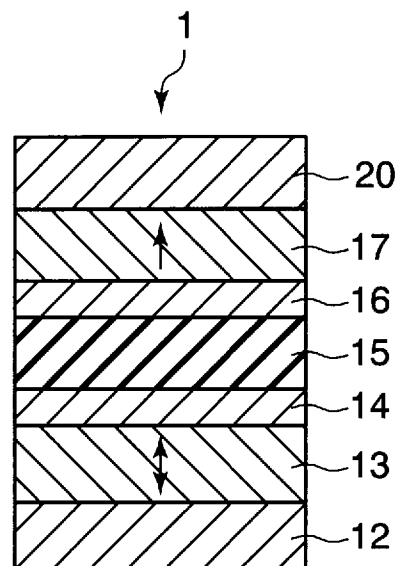
[図1]



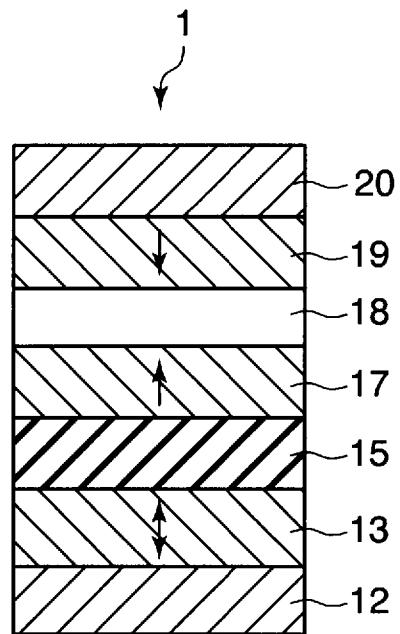
[図2]



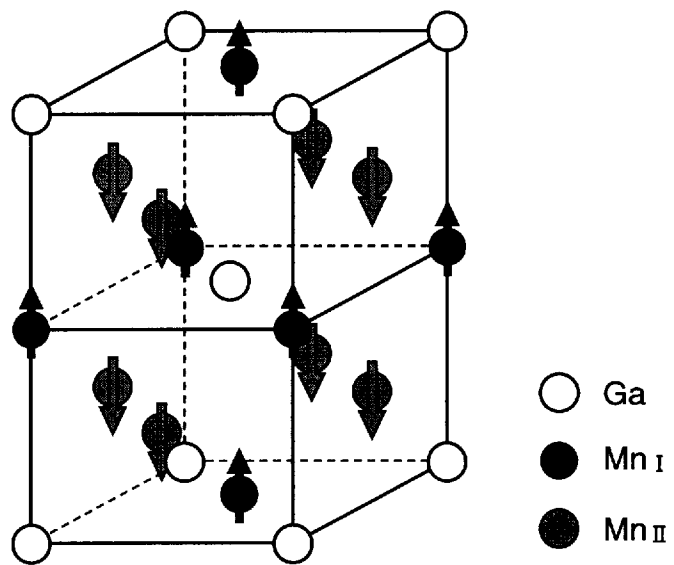
[図3]



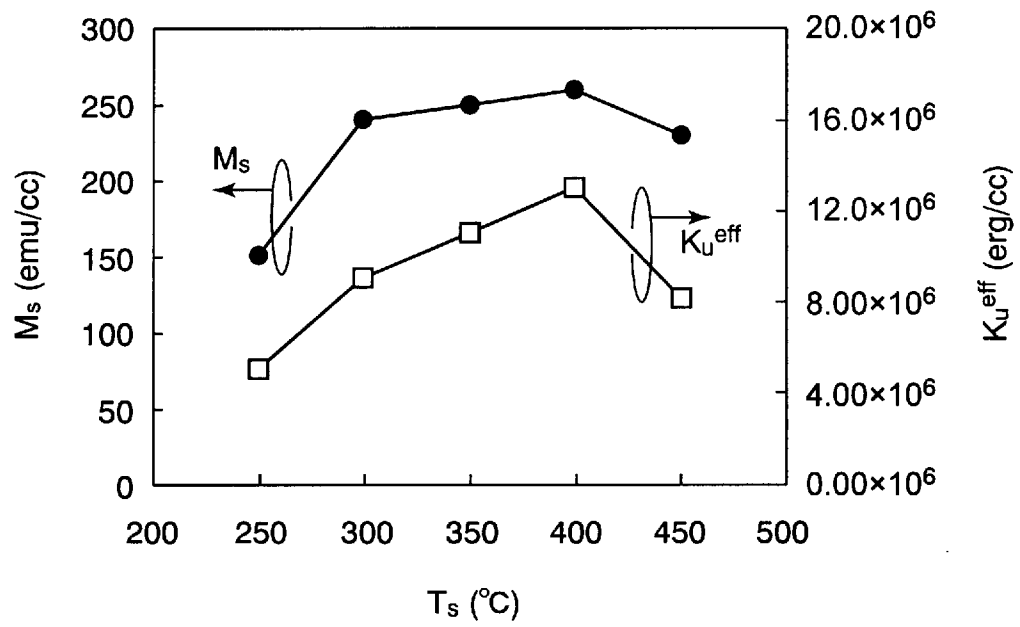
[図4]



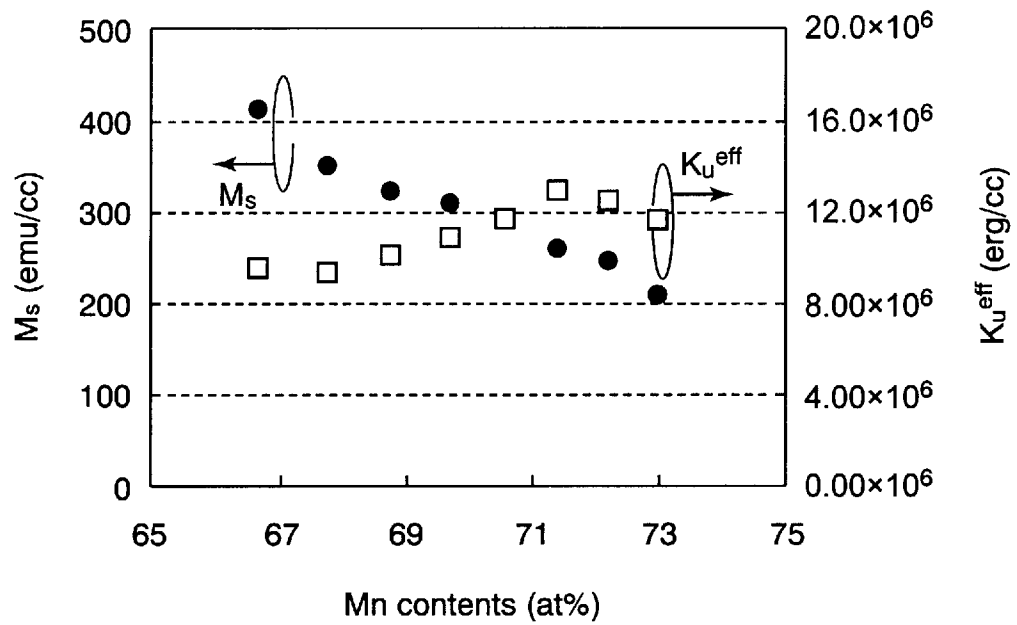
[図5]



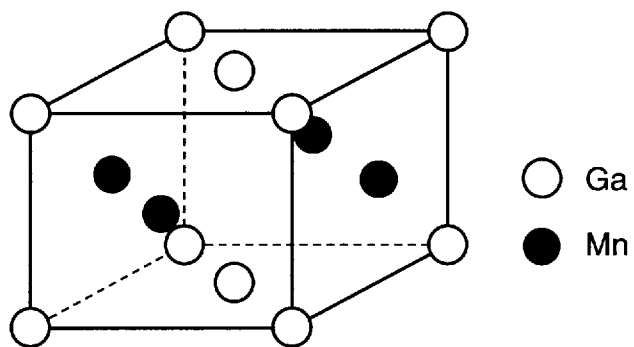
[図6]



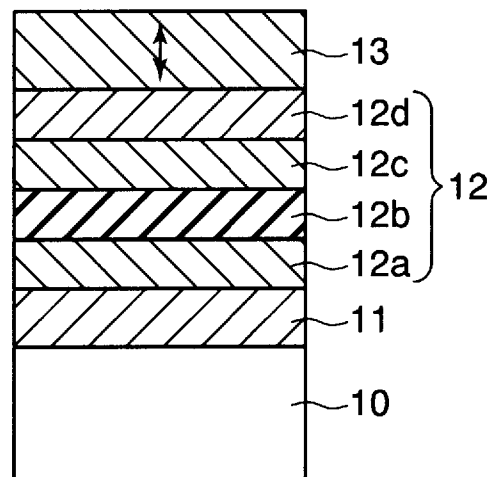
[図7]



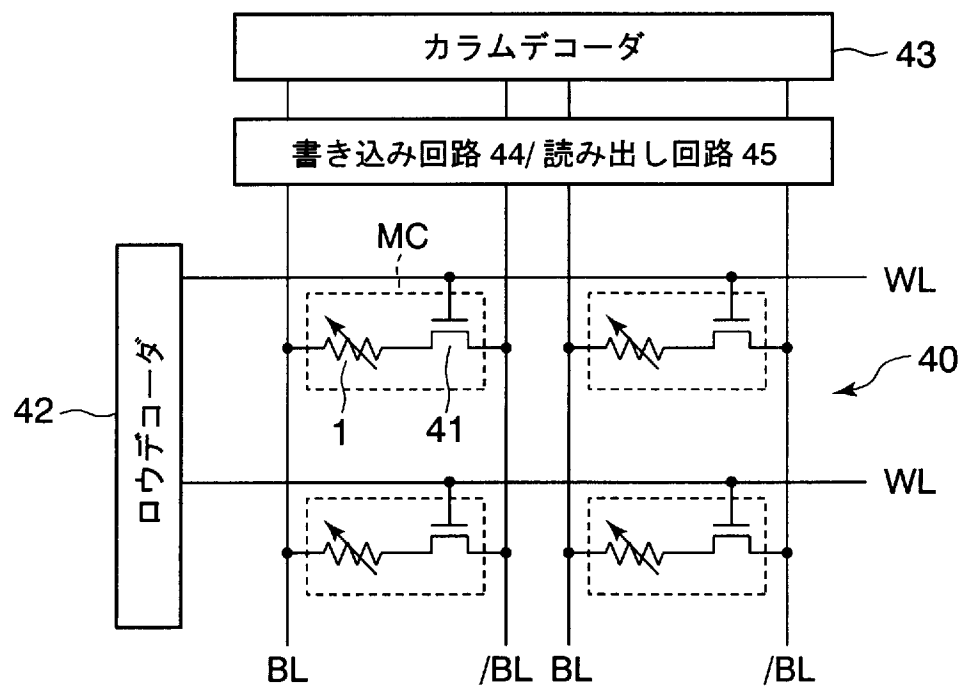
[図8]



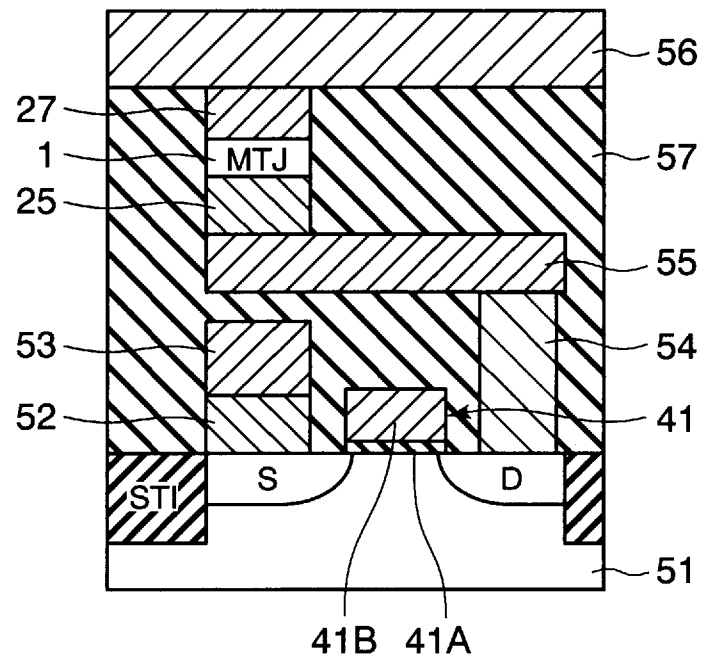
[図9]



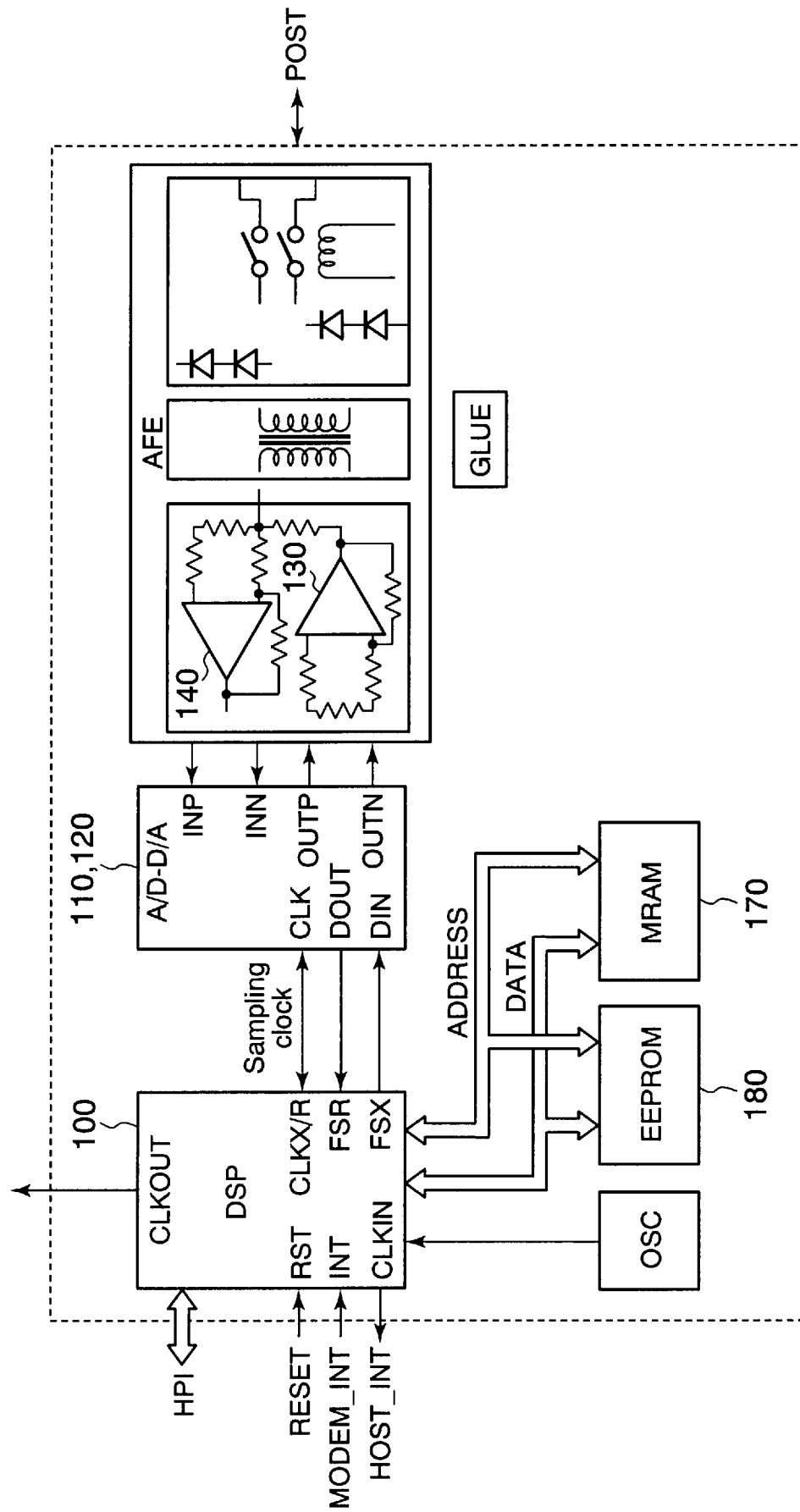
[図10]



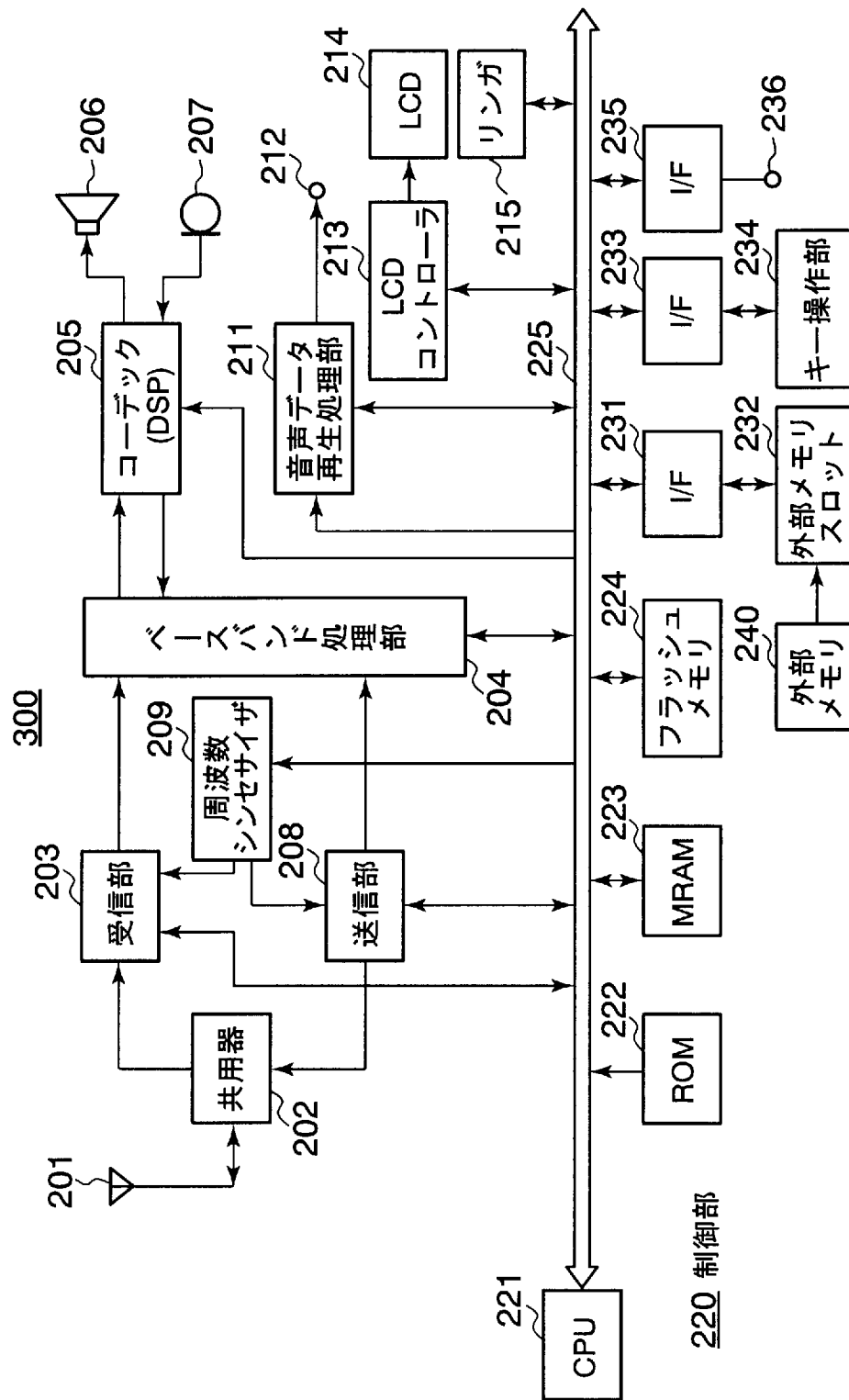
[図11]



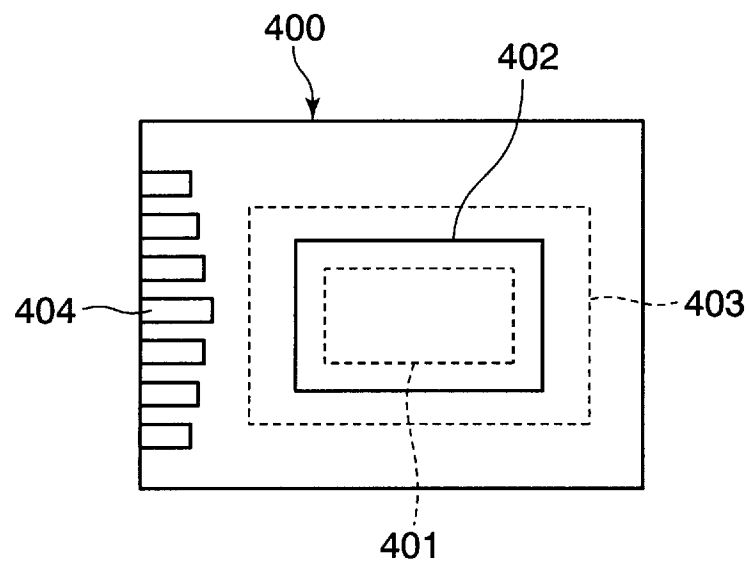
[図12]



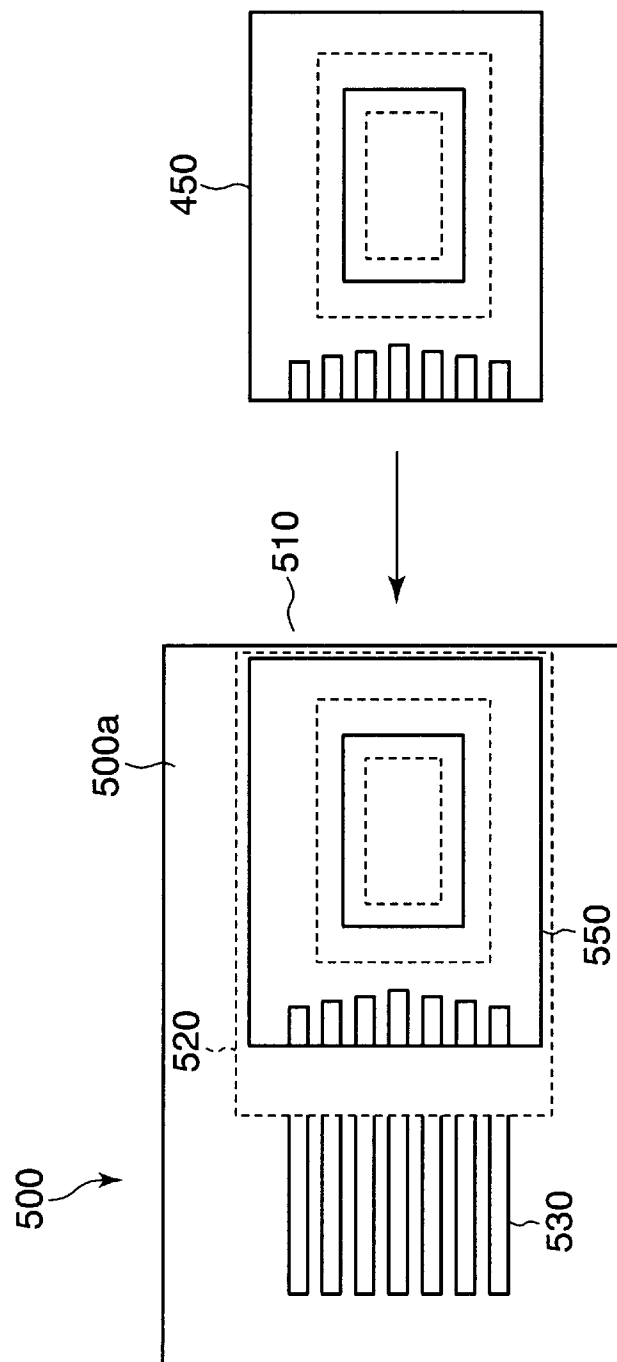
[図13]



[図14]

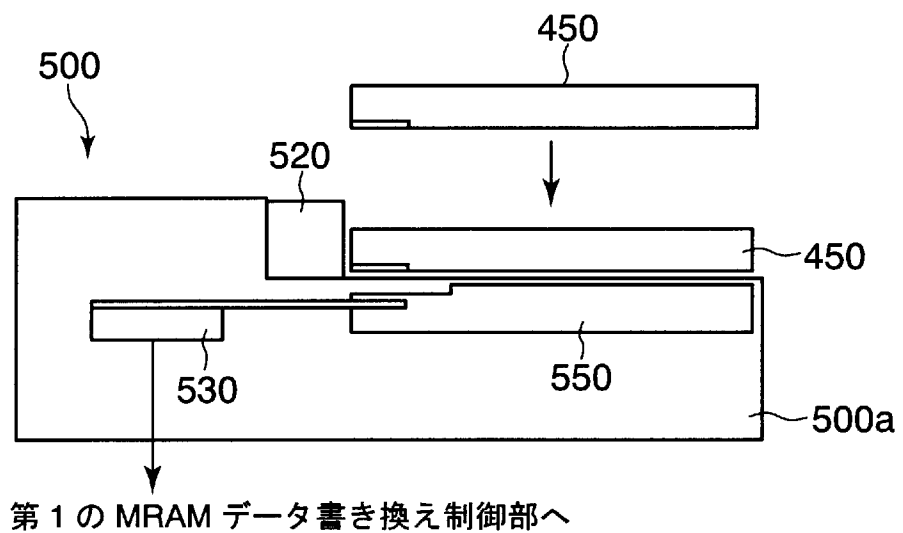


[図15]

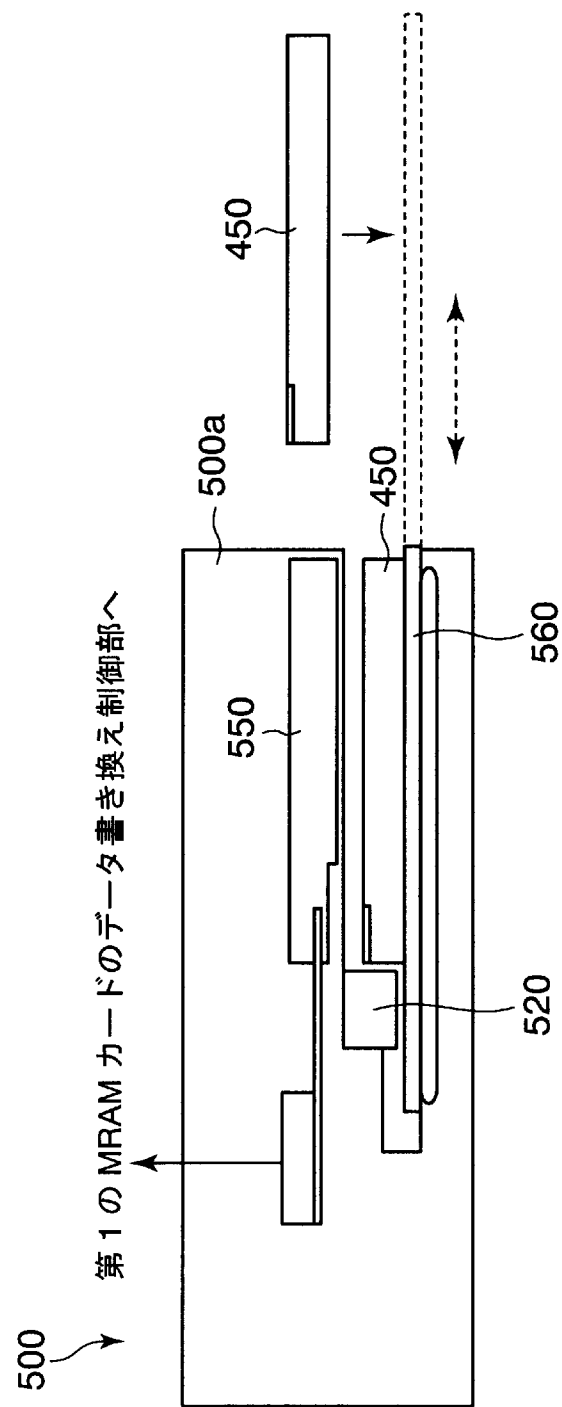




[図17]



[図18]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/053611

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/08(2006.01)i, H01F10/12(2006.01)i, H01F10/28(2006.01)i,  
H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/10(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L43/08, H01F10/12, H01F10/28, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2010 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2010 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2010 |

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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | JP 2008-252037 A (Toshiba Corp.),<br>16 October 2008 (16.10.2008),<br>paragraphs [0009] to [0145] (particularly,<br>paragraph [0100]); fig. 7, 15, 16<br>(Family: none) | 1, 2, 10              |

☐ 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  
25 May, 2010 (25.05.10)

Date of mailing of the international search report  
08 June, 2010 (08.06.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/053611

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

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

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

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

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

The matter common to the inventions in claims 1 - 10 pertains to the magnetic resistance element described in claim 1. However, the search revealed that the above-said magnetic resistance element is not novel, since the element is disclosed in JP 2008-252037 A (Toshiba Corp.), 16 October 2008 (16.10.2008), paragraphs [0009] - [0145], fig. 7, 15, 16.

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
1, 2, 10

### Remark on Protest

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

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/053611

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

As a result, since the above-said magnetic resistance element does not make contribution over the prior art, the common matter is not a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT Rule 13.2. Therefore, the inventions in claims 1 - 10 cannot be considered to be so linked as to form a single general inventive concept since there is no technical relationship involving one or more same or corresponding special technical feature among those inventions.

Consequently, it is recognized that this international application involves six inventions which are classified into [1, 2, 10], [3, 5], [4], [6], [7] and [8, 9] and are linked by respective special technical features.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L43/08(2006.01)i, H01F10/12(2006.01)i, H01F10/28(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,  
H01L27/105(2006.01)i, H01L43/10(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L43/08, H01F10/12, H01F10/28, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/10

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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| X               | JP 2008-252037 A (株式会社東芝) 2008.10.16,<br>段落【0009】 - 【0145】 (特に、段落【0100】), 図 7, 15, 16<br>(ファミリーなし) | 1, 2, 10       |

☐ 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 5 . 0 5 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 6 . 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)

三浦 尊裕

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

4 M

3 7 7 5

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

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

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

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

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

請求項1-10に係る発明の共通の事項は、請求項1に記載された構造を有する磁気抵抗素子である。しかしながら、調査の結果、この磁気抵抗素子は、文献JP 2008-252037 A（株式会社東芝）2008.10.16、段落【0009】-【0145】、図7, 15, 16に開示されたものであるから、新規でないことが明らかとなった。

結果として、上記磁気抵抗素子は、先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではない。それ故、請求項1-10に係る発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

よって、この国際出願は、[1, 2, 10], [3, 5], [4], [6], [7], [8, 9]に区分される各特別な特徴で連関する6の発明が含まれるものと認められる。

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

請求項 1, 2, 10

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

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