

(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
2021年9月23日(23.09.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/186693 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/82 (2006.01) *H01L 43/10* (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/012410

(22) 国際出願日: 2020年3月19日(19.03.2020)

(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: T D K株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中 田 勝 之 (NAKADA Katsuyuki);
〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

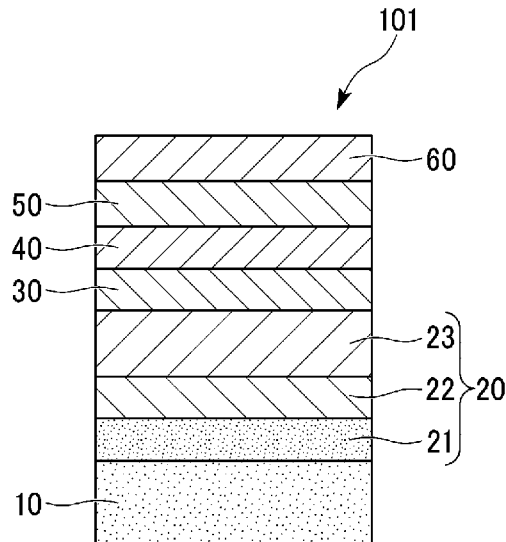
(74) 代理人: 棚 井 澄 雄, 外 (TANAI Sumio et al.);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子



(57) Abstract: A magnetoresistance effect element (101) according to the present embodiment comprises a first ferromagnetic layer (30), a second ferromagnetic layer (50), and a nonmagnetic metal layer (40) positioned between the first ferromagnetic layer and the second ferromagnetic layer, wherein at least one of the first ferromagnetic layer and the second ferromagnetic layer includes an equiatomic quaternary Heusler alloy.

(57) 要約: 本実施形態に係る磁気抵抗効果素子(101)は、第1強磁性層(30)と、第2強磁性層(50)と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性金属層(40)と、を備え、前記第1強磁性層および前記第2強磁性層の少なくともいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金を含む。



SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 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

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子に関する。

背景技術

[0002] 磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果により積層方向の抵抗値が変化する素子である。磁気抵抗効果素子は、2つの強磁性層とこれらに挟まれた非磁性金属層とを備える。非磁性金属層に導体を用いられた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗（GMR）素子と言われる。GMRを記述する式としては、アップスピンとダウンスピンの電気輸送特性を並列回路でモデル化した2流体モデル（通称Valet Fert model）が広く知られている。この式によれば、GMRを増大させるには、強磁性層のバルクスピン非対称性係数（ β ）を上げる必要があり、このような材料としてフルホイスラー合金が知られている（非特許文献1）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：PHYSICAL REVIEW B, VOLUME 48, NUMBER 10, 7099 (Valet and Fert)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] フルホイスラー合金を強磁性層に適用したGMR素子は多数報告されているが、MR比（磁気抵抗変化率）は室温で高々80%程度に留まっている。この値は、例えば次世代HDD読み取り素子の要求スペックである2Tbpsを満たす上ではややもの足りず、さらなるMR比の向上と共にRA（面積抵抗）の向上が求められている。しかしながら、フルホイスラー合金を強磁性層に適用して、MR比とRAの両者を向上させるのは困難になってきている。

[0005] 本発明は、このような従来の事情に鑑みて提案されたものであり、MR比とRAを向上できる磁気抵抗効果素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

[0007] (1) 第1の態様にかかる磁気抵抗効果素子は、第1強磁性層と、第2強磁性層と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性金属層と、を備え、前記第1強磁性層および前記第2強磁性層の少なくともいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金を含む。

[0008] (2) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記等原子4元ホイスラー合金は、下記の一般式(1)で表される合金を含む構成とされていてもよい。

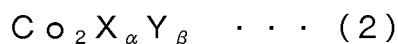


(式(1)中、X、X'、Y及びZは、それぞれ異なる金属元素を表し、Xは、Cr、Mn、Fe、Coのうちのいずれか一つを表し、X'はV、Mn、Cr、Feのうちのいずれか一つを表し、YはTi、V、Cr、Mnのうちのいずれか一つを表し、ZはSi、Al、As、Ge、Gaのうちのいずれか一つを表す。)

[0009] (3) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記Xは、Cr、Fe、Coのうちのいずれか一つを表し、前記X'はV、Cr、Feのうちのいずれか一つを表し、前記YはTi、V、Crのうちのいずれか一つを表す構成とされていてもよい。

[0010] (4) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が少ない方の金属元素の含有量を1モルとしたときに、前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が多い方の金属元素の含有量が1.05モル以下であり、前記Yで表される金属元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下であって、前記Zで表される元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下である構成とされていてもよい。

- [0011] (5) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記等原子4元ホイスラー合金の空間群は、 $Fm\bar{3}m$ である構成とされていてもよい。
- [0012] (6) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記等原子4元ホイスラー合金は原子配列が不規則化している構成とされていてもよい。
- [0013] (7) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記第1強磁性層および前記第2強磁性層の少なくともいずれか一方は、フルホイスラー合金を含む構成とされていてもよい。
- [0014] (8) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記第1強磁性層および前記第2強磁性層の少なくともいずれか一方は、前記等原子4元ホイスラー合金を含む層と前記フルホイスラー合金を含む層との積層体である構成とされていてもよい。
- [0015] (9) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記フルホイスラー合金を含む層の膜厚は、前記等原子4元ホイスラー合金を含む層の膜厚より厚い構成とされていてもよい。
- [0016] (10) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記フルホイスラー合金は、下記の一般式(2)で表される合金を含む構成とされていてもよい。



(式(2)中、Xは、Fe, Mn, Crのうちの少なくとも一つの金属元素を表し、Yは、Si, Al, Ga, Geのうちの少なくとも一つの金属元素を表し、 α および β は、 $2 < \alpha + \beta < 2.6$ を満足する数を表す。)

- [0017] (11) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記非磁性金属層は、Cu、Ag、Crを含む構成とされていてもよい。
- [0018] (12) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記非磁性金属層と前記第1強磁性層との間および前記非磁性金属層と前記第2強磁性層との間の少なくともいずれか一方には、NiAl合金を含むNiAl層が備えられている構成とされていてもよい。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、大きなMR比を実現できる磁気抵抗効果素子を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図2]第2実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図3]適用例1にかかる磁気記録装置の断面図である。

[図4]適用例2にかかる磁気記録素子の断面図である。

[図5]適用例3にかかる磁気記録素子の断面図である。

[図6]適用例4にかかるスピン流磁化回転素子の断面図である。

[図7]適用例5にかかる磁壁移動素子の断面図である。

[図8]適用例6にかかる磁壁移動素子の断面図である。

[図9]適用例7にかかる磁壁移動素子の断面図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明について、図面を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[0022] [第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。図1は、磁気抵抗効果素子101の各層の積層方向に沿って磁気抵抗効果素子101を切断した断面図である。磁気抵抗効果素子101は、基板10の上に、下地層20と、第1強磁性層30と、非磁性金属層40と、第2強磁性層50と、キャップ層60とがこの順で積層された積層体である。非磁性金属層40は、第1強磁性層30と第2強磁性層50との間に位置している。

[0023] (基板)

基板 10 は、磁気抵抗効果素子 101 の土台となる部分である。基板 10 は、平坦性に優れた材料を用いることが好ましい。基板 10 は、例えば、金属酸化物単結晶、シリコン単結晶、熱酸化膜付シリコン単結晶、サファイア単結晶、セラミック、石英、及びガラスを含む。基板 10 に含まれる材料は、適度な機械的強度を有し、且つ熱処理や微細加工に適した材料であれば、特に限定されない。金属酸化物単結晶としては、例えば、MgO 単結晶が挙げられる。MgO 単結晶を含む基板は、例えば、スパッタリング法を用いて容易にエピタキシャル成長膜が形成できる。このエピタキシャル成長膜を用いた磁気抵抗効果素子は、大きな磁気抵抗特性を示す。基板 10 の種類は目的とする製品によって異なる。

製品が MRAM の場合、基板 10 は、例えば、回路構造を有する Si 基板である。製品が磁気ヘッドの場合、基板 10 は、例えば、加工しやすい AlTiC 基板である。

[0024] (下地層)

下地層 20 は、基板 10 と第 1 強磁性層 30 との間に位置している。下地層 20 は、基板 10 の上に、第 1 下地層 21、第 2 下地層 22、第 3 下地層 23 がこの順で積層された 3 層構造の積層体とされている。

[0025] 第 1 下地層 21 は、基板 10 の格子定数と第 2 下地層 22 の格子定数との差を緩和するバッファ層として機能する。第 1 下地層 21 の材料は、導電性の材料、絶縁性の材料のいずれでもよい。第 1 下地層 21 の材料は、基板 10 の材料と第 2 下地層 22 の材料によっても異なるが、例えば、(001) 配向した NaCl 構造を有する化合物である。NaCl 構造を有する化合物は、例えば、Ti、Zr、Nb、V、Hf、Ta、Mo、W、B、Al、Ce の群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む窒化物、又は、Mg、Al、Ce の群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む酸化物である。

[0026] また、第 1 下地層 21 の材料として、例えば、 ABO_3 の組成式で表される (002) 配向したペロブスカイト系導電性酸化物を用いることができる。ペロブスカイト系導電性酸化物は、例えば、サイト A として Sr、Ce、D

y、L a、K、C a、N a、P b、B aの群から選択された少なくとも1つの元素を含み、サイトBとしてT i、V、C r、M n、F e、C o、N i、G a、N b、M o、R u、I r、T a、C e、P bの群から選択された少なくとも1つの元素を含む酸化物である。

[0027] 第2下地層22は、第2下地層22の上に積層される上部の層の結晶性を高めるシード層として機能する。第2下地層22は、例えば、M g O、T i N及びN i T a合金の少なくとも一種類を含む。また、例えば、C oとF eとを含む合金を用いることができる。C oとF eとを含む合金は、例えば、C o－F e、C o－F e－Bである。

[0028] 第3下地層23は、第2下地層22の格子定数と第1強磁性層30の格子定数との差を緩和するバッファ層として機能する。第3下地層23は、検出用電流を流すための電極として利用できるようにするため、金属元素、例えば、A g、A u、C u、C r、V、A l、W、及びP tの少なくとも一つの金属元素を含む層であってもよい。また、電流が流れる際のスピホール効果によってスピン流を発生させる機能を有する金属、合金、金属間化合物、金属硼化物、金属炭化物、金属珪化物、金属燐化物のいずれかを含む層であってもよい。さらに、例えば、(001)配向した正方晶構造又は立方晶構造を有し、かつA l、C r、F e、C o、R h、P d、A g、I r、P t、A u、M o、W、P tの群から選択される少なくとも1つの元素を含む層であってもよい。第3下地層23は、これらの金属元素の合金、又はこれら金属元素の2種類以上を含む材料の積層体であってもよい。金属元素の合金には、例えば、立方晶系のA g Z n合金、A g M g合金、C o A l合金、F e A l合金及びN i A l合金が含まれる。

[0029] なお、下地層20は、基板10と第1強磁性層30の格子定数の差を緩和するバッファ層として機能することで、下地層20の上に形成される上部の層の結晶性を高めるために用いられる。必要に応じて第1下地層21、第2下地層22、第3下地層23のいずれかを省くこともできる。また必要に応じて第1下地層21、第2下地層22、第3下地層23のいずれかを同じ材

料で形成することもできる。また必要に応じて各下地層を複数回積層するなどにより増やすこともできる。

[0030] (第1強磁性層、第2強磁性層)

第1強磁性層30及び第2強磁性層50は磁性体である。第1強磁性層30及び第2強磁性層50は、それぞれ磁化をもつ。磁気抵抗効果素子101は、第1強磁性層30の磁化と第2強磁性層50の磁化の相対角の変化を抵抗値変化として出力する。

[0031] 第2強磁性層50の磁化は、例えば、第1強磁性層30の磁化より動きやすい。所定の外力を加えた場合に、第1強磁性層30の磁化の向きは変化せず(固定され)、第2強磁性層50の磁化の向きは変化する。第1強磁性層30の磁化の向きに対して第2強磁性層50の磁化の向きが変化することで、磁気抵抗効果素子101の抵抗値は変化する。この場合、第1強磁性層30は磁化固定層と言われ、第2強磁性層50は磁化自由層と呼ばれる場合がある。以下、第1強磁性層30が磁化固定層、第2強磁性層50が磁化自由層の場合を例にとって説明をするが、この関係は反対でもよい。

[0032] 所定の外力を印加した際の第1強磁性層30の磁化と第2強磁性層50の磁化との動きやすさの差は、第1強磁性層30と第2強磁性層50との保磁力の違いにより生じる。例えば、第2強磁性層50の厚みを第1強磁性層30の厚みより薄くすると、第2強磁性層50の保磁力が第1強磁性層30の保磁力より小さくなる。また例えば、第1強磁性層30の非磁性金属層40と反対側の面に、スペーサ層を介して、反強磁性層を設ける。第1強磁性層30、スペーサ層、反強磁性層は、シンセティック反強磁性構造(SAF構造)となる。シンセティック反強磁性構造は、スペーサ層を挟む2つの磁性層を含む。第1強磁性層30と反強磁性層とが反強磁性カップリングすることで、反強磁性層を有さない場合より第1強磁性層30の保磁力が大きくなる。反強磁性層は、例えば、 IrMn 、 PtMn 等である。スペーサ層は、例えば、 Ru 、 Ir 、 Rh からなる群より選ばれる少なくとも一つを含む。厚みにより保磁力差を生み出す方法は、反強磁性層等の寄生抵抗の原因とな

りうる追加の層が不要である。一方で、S A F構造により保磁力差を生み出す方法は、第1強磁性層30の磁化の配向性を高めることができる。

[0033] 第1強磁性層30及び第2強磁性層50の少なくともいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金を含む。第1強磁性層30及び第2強磁性層50の少なくともいずれか一方が等原子4元ホイスラー合金からなることが好ましい。4元ホイスラー合金は、ホイスラー合金の四つのサイトをそれぞれ占める主要な元素がそれぞれ異なる合金である。なお、第1強磁性層30及び第2強磁性層50は、不可避不純物を含んでいてもよい。不可避不純物は、製造材料又は製造工程において不可避免的に混入する不純物である。不可避不純物は、第1強磁性層30及び第2強磁性層50以外の他の層を構成する元素、例えば、Cu、Ag、Ru、Ni、Ta、B、Cを含む。

[0034] 等原子4元ホイスラー合金は、下記の一般式(1)で表される合金であることが好ましい。



[0035] 式(1)中、X、X'、Y及びZは、それぞれ異なる金属元素を表し、Xは、Cr、Mn、Fe、Coのうちのいずれか一つを表し、X'はV、Mn、Cr、Feのうちのいずれか一つを表し、YはTi、V、Cr、Mnのうちのいずれか一つを表し、ZはSi、Al、As、Ge、Gaのうちのいずれか一つを表す。上記Xは、Cr、Fe、Coのうちのいずれか一つを表すことが好ましい。上記X'はV、Cr、Feのうちのいずれか一つを表すことが好ましい。上記YはTi、V、Crのうちのいずれか一つを表すことが好ましい。等原子4元ホイスラー合金の具体例としては、CoFeCrGa、CoFeCrAl、CoFeCrSi、CoFeCrGe、CoFeMnGa、CoFeMnAl、CoFeMnSi、CoFeMnGe、FeMnCrAs、CoFeVSi、CoMnVAs、CoMnCrAs、CoFeVAs、CoFeCrAs、CoFeMnAsを挙げることができる。これらの等原子4元ホイスラー合金の中では、Mnを含まないものが好ましい。

[0036] 上記で表される金属元素と上記X'で表される金属元素のうち含有量が少ない方の金属元素の含有量を1モルとしたときに、上記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が多い方の金属元素の含有量が1.05モル以下であり、上記Yで表される金属元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下であって、上記Zで表される元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下であることが好ましい。

上記X、X'、Y及びZで表される金属元素のモル数をMX、MX'、MY及びMZで表すと、MX、MX'、MY及びMZは、例えば、下記の関係にあることが好ましい。MX=MX'の場合、 $0.95 \times MX \leq MY \leq 1.05 \times MX$ であって、 $0.95 \times MX \leq MZ \leq 1.05 \times MX$ である。MX<MX'の場合、 $MX' \leq 1.05 \times MX$ であって、 $0.95 \times MX \leq MY \leq 1.05 \times MX$ であり、 $0.95 \times MX \leq MZ \leq 1.05 \times MX$ である。MX>MX'の場合、 $MX \leq 1.05 \times MX'$ であって、 $0.95 \times MX' \leq MY \leq 1.05 \times MX'$ であり、 $0.95 \times MX' \leq MZ \leq 1.05 \times MX'$ である。

[0037] 等原子4元ホイスラー合金の組成は、蛍光X線分析(XRF)や誘導結合プラズマ(ICP)発光分光分析を用いて同定することができる。また、エネルギー分散型X線分析(EDS)を用いることもできる。

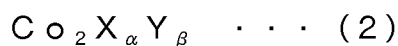
[0038] 等原子4元ホイスラー合金の空間群は、F-43mであることが好ましい。等原子4元ホイスラー合金の空間群は、例えば、X線回折法によって確認することができる。X線回折法は、面直測定(out-of-plane XRD)と面内測定(in-plane XRD)を行えばよい。また併せて、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて原子配列を直接確認してもよい。

[0039] また、等原子4元ホイスラー合金は原子配列が不規則化していることが好ましい。等原子4元ホイスラー合金は原子配列が不規則化しているとは、X、X'、Y、Zで表されるそれぞれ金属元素が、その他の金属元素に置換されていることを意味する。原子配列の不規則化の度合いは、一例として、X線回折のピーク強度を使って見積もることができる。ここで、out-of

—plane XRDの場合、(002)面のピーク強度を $I(002)$ 、(004)面のピーク強度を $I(004)$ としたときのピーク強度比を $I(002)/I(004)$ とする。また、in-plane XRDの場合、(111)面のピーク強度を $I(111)$ 、(220)面のピーク強度を $I(220)$ としたときのピーク強度比を $I(111)/I(220)$ とする。原子配列が不規則化の度合いとしては、 $I(002)/I(004)$ が0.01以上0.3以下、 $I(111)/I(220)$ が0.01以上0.07以下、の少なくともいずれか一方を満たすことが好ましい。さらには、 $I(002)/I(004)$ が0.05以上0.2以下、 $I(111)/I(220)$ が0.02以上0.05以下、の少なくともいずれか一方を満たすことがより好ましい。

[0040] 第1強磁性層30及び第2強磁性層50の少なくともいずれか一方は、フルホイスラー合金を含んでいてもよい。第1強磁性層30及び第2強磁性層50のいずれか一方がフルホイスラー合金からなる構成であってもよいし、第1強磁性層30及び第2強磁性層50のいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金とフルホイスラー合金とを含む構成であってもよい。等原子4元ホイスラー合金とフルホイスラー合金とを含む構成は、等原子4元ホイスラー合金の層とフルホイスラー合金の層とが積層された構成であってもよい。この場合、等原子4元ホイスラー合金の層とフルホイスラー合金の層は直接積層されていてもよいし、スペーサ層を挟むように配置されていてもよい。

[0041] フルホイスラー合金は、下記の一般式(2)で表される合金であることが好ましい。



[0042] 式(2)中、Xは、Fe, Mn, Crのうちの少なくとも一つの金属元素を表し、Yは、Si, Al, Ga, Geのうちの少なくとも一つの金属元素を表し、 α および β は、 $2 < \alpha + \beta < 2.6$ を満足する数を表す。

[0043] 非磁性金属層40は、例えば、厚みが1nm以上10nm以下の範囲内である。非磁性金属層40は、第1強磁性層30と第2強磁性層50とを磁気

的に分離する。

[0044] (非磁性金属層)

非磁性金属層40は、非磁性の金属を含む。非磁性金属層40は、非磁性の金属からなることが好ましい。ただし、非磁性金属層は、不可避不純物を含んでいてもよい。不可避不純物は、非磁性金属層40以外の他の層を構成する元素を含む。非磁性金属層40の材料は、例えば、Cu、Au、Ag、Al、Cr等である。非磁性金属層40は、主の構成元素としてCu、Au、Ag、Al、Crからなる群より選ばれる一以上の元素を含むことが好ましい。主の構成元素とは、組成式において、Cu、Au、Ag、Al、Crが占める割合が50%以上となることを意味する。非磁性金属層40は、Agを含むことが好ましく、主の構成元素としてAgを含むことが好ましい。Agはスピン拡散長が長いため、Agを用いた磁気抵抗効果素子101は、MR比がより大きくなる。

[0045] 第1強磁性層30及び第2強磁性層50は、例えば、厚みが1nm以上15nm以下の範囲内であり、好ましくは2nm以上10nm以下の範囲内である。第1強磁性層30の膜厚は、第2強磁性層50の膜厚よりも厚いことが好ましい。

[0046] (キャップ層)

キャップ層60は、磁気抵抗効果素子101の基板10と反対側に位置する。キャップ層60は、第2強磁性層50を保護するために設けられる。キャップ層60は、第2強磁性層50からの原子の拡散を抑制する。またキャップ層60は、磁気抵抗効果素子101の各層の結晶配向性にも寄与する。キャップ層60を有すると、第1強磁性層30及び第2強磁性層50の磁化が安定化し、磁気抵抗効果素子101のMR比を向上させることができる。

[0047] キャップ層60は、検出用電流を流すための電極として利用できるようにするため、導電性が高い材料を含むことが好ましい。キャップ層60は、例えば、Ru、Ag、Al、Cu、Au、Cr、Mo、Pt、W、Ta、Pd、Ti及びIrの一以上の金属元素、これら金属元素の合金、又は、これら

金属元素の2種類以上を含む材料の積層体を含んでよい。

[0048] 次に、本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子101の製造方法について説明する。磁気抵抗効果素子101は、例えば、基板10の上に、下地層20（第1下地層21、第2下地層22、第3下地層23）、第1強磁性層30、非磁性金属層40、第2強磁性層50、キャップ層60をこの順に積層することによって得られる。各層の成膜方法は、例えば、スパッタリング法、蒸着法、レーザアブレーション法、分子線エピタキシャル（MBE）法を用いることができる。

[0049] また下地層20の形成後、あるいは第2強磁性層50の積層後に、基板10をアニールしてもよい。アニールにより各層の結晶性が高まる。

[0050] 本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子101は、例えば、磁気抵抗効果素子101の膜面直方向に電流を流すことによって、磁気抵抗効果を発現させるCPP-GMR（素子面直通電型巨大磁気抵抗素子）として利用することができる。

[0051] 本実施形態の磁気抵抗効果素子101によれば、第1強磁性層30および第2強磁性層50の少なくともいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金を含むので、高いスピン偏極率を維持しながら第1強磁性層30および第2強磁性層50のいずれか一方の比抵抗を高くすることが可能となる。従って、 ΔRA を上げることが可能となり、MR比の向上も実現できる。

[0052] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子101において、等原子4元ホイスラー合金が上記の一般式（1）で表される合金である場合は、MR比とRAとがより向上する。特に上記一般式（1）のXが、Cr, Fe, Coのうちのいずれか一つを表し、X'がV, Cr, Feのうちのいずれか一つを表し、YがTi, V, Crのうちのいずれか一つである場合は、MR比がさらに向上する。これは、等原子4元ホイスラー合金を構成する元素が、非磁性金属層40に拡散しにくいためである。

[0053] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子101において、前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が少ない方の金属元素

の含有量を1モルとしたときに、前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が多い方の金属元素の含有量が1.05モル以下であり、前記Yで表される金属元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下であって、前記Zで表される元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下である場合は、第1強磁性層30および第2強磁性層50のいずれか一方のスピンの偏極率をさらに上げることが可能となる。従って、磁気抵抗効果素子101のMR比がさらに向上する。

[0054] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子101において、等原子4元ホイスラー合金の空間群がF-43mである場合は、磁気抵抗効果素子101のMR比がさらに向上する。

また、本実施形態の磁気抵抗効果素子101において、等原子4元ホイスラー合金は原子配列が不規則化している場合は、磁気抵抗効果素子101のMR比がさらに向上する。

[0055] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子101において、非磁性金属層40がCu、Ag、Crを含む場合は、第1強磁性層30および第2強磁性層50と非磁性金属層40とのフェルミ面のマッチングが向上する。従って、磁気抵抗効果素子101のMR比がさらに向上する。

[0056] [第2実施形態]

図2は、本発明の第2実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。磁気抵抗効果素子102は、第1強磁性層30が第1フルホイスラー合金層31と第1等原子4元ホイスラー合金層32の積層体とされており、第2強磁性層50が第2フルホイスラー合金層51と第2等原子4元ホイスラー合金層52との積層体とされている点において、図1に示す磁気抵抗効果素子101と異なる。このため、図2においては、図1と同じ構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

[0057] 第1強磁性層30の第1フルホイスラー合金層31は下地層20側に位置し、第1等原子4元ホイスラー合金層32は非磁性金属層40側に位置している。第2強磁性層50の第2フルホイスラー合金層51はキャップ層60

側に位置し、第2等原子4元ホイスラー合金層52は非磁性金属層40側に位置している。すなわち、非磁性金属層40は、第1等原子4元ホイスラー合金層32と第2等原子4元ホイスラー合金層52の間に位置している。

[0058] 第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51は、フルホイスラーを含む層である。フルホイスラーの例は第1実施形態の場合と同じである。第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51は、フルホイスラーからなる層であることが好ましい。ただし、第1フルホイスラー合金層及び第2フルホイスラー合金層51は、不可避不純物を含んでいてもよい。不可避不純物は、第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51以外の他の層を構成する元素を含む。第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51の膜厚は、1nm以上10nm以下の範囲内にあることが好ましい。第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51の膜厚はそれぞれ第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52よりも厚いことが好ましい。

[0059] 第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52は、等原子4元ホイスラーを含む層である。等原子4元ホイスラーの例は第1実施形態の場合と同じである。第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52は、等原子4元ホイスラーからなる層であることが好ましい。ただし、第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52は、不可避不純物を含んでいてもよい。不可避不純物は、第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52以外の他の層を構成する元素を含む。第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52の膜厚は、1nm以上8nm以下の範囲内にあることが好ましい。

[0060] 本実施形態の磁気抵抗効果素子102は、第1強磁性層30が第1等原子4元ホイスラー合金層32を含み、第2強磁性層50が第2等原子4元ホイスラー合金層52を含むので、第1実施形態と同様の効果を得ることができ

る。また、第1強磁性層30が第1フルホイスラー合金層31を含み、第2強磁性層50が第2フルホイスラー合金層51を含むので、第1強磁性層30及び第2強磁性層50の飽和磁化を高くすることが可能となり、磁氣的安定性を向上させることが可能となる。

[0061] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子102では、第1フルホイスラー合金層31と第1等原子4元ホイスラー合金層32の積層体とされていて、第2フルホイスラー合金層51と第2等原子4元ホイスラー合金層52との積層体とされているので、等原子4元ホイスラー合金とフルホイスラー合金との界面における界面抵抗を上げることができ、 $\Delta R A$ を大きくすることができる。従って、磁気抵抗効果素子102のMR比を向上させることが可能となる。

[0062] また、本実施形態の磁気抵抗効果素子102において、第1フルホイスラー合金層31及び第2フルホイスラー合金層51の膜厚はそれぞれ第1等原子4元ホイスラー合金層32及び第2等原子4元ホイスラー合金層52よりも厚い場合は、第1強磁性層30及び第2強磁性層50の磁化安定性を向上させることができる。

[0063] なお、本実施形態の磁気抵抗効果素子102において、第1強磁性層30の第1フルホイスラー合金層31と第1等原子4元ホイスラー合金層32の位置、及び第2強磁性層50の第2フルホイスラー合金層51と第2等原子4元ホイスラー合金層52の位置はこれに限定されるものではない。例えば、第1フルホイスラー合金層31と第2フルホイスラー合金層51を非磁性金属層40側に配置してもよい。すなわち、非磁性金属層40を、第1フルホイスラー合金層31と第2フルホイスラー合金層51の間に配置してもよい。

[0064] また、第1強磁性層30の第1フルホイスラー合金層31と第1等原子4元ホイスラー合金層32との間、及び第2フルホイスラー合金層51と第2等原子4元ホイスラー合金層52との間にスペーサ層を設けてもよい。スペーサ層の材料としては、Ru、Rh、Ir、Re、Cr、Zr、Cuのグル

ープから選ばれた少なくとも1種を含む非磁性材料から構成されてもよい。スペーサの厚みは0.3 nm以上1.0 nm以下であることが好ましい。この厚みに応じて、第1フルホイスラー合金層31の磁化と第1等原子4元ホイスラー合金層32の磁化、及び第2フルホイスラー合金層51の磁化と第2等原子4元ホイスラー合金層52の磁化を平行状態もしくは反平行状態に結合させることが可能となる。

[0065] 以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述したが、各実施形態における各構成及びそれらの組み合わせ等は一例であり、本発明の趣旨から逸脱しない範囲内で、構成の付加、省略、置換、及びその他の変更が可能である。

[0066] 例えば、非磁性金属層40と第1強磁性層30との間および非磁性金属層40と第2強磁性層50との間の少なくともいずれか一方には、NiAl合金を含むNiAl層が備えられていてもよい。この場合、第1強磁性層30と非磁性金属層40および第2強磁性層50と非磁性金属層40とのフェルミ面のマッチングをより向上させることが可能となる。従って、磁気抵抗効果素子のMR比をさらに向上させることができる。

[0067] NiAl層は、NiAl合金からなる層であることが好ましい。NiAl層は、不可避不純物を含んでいてもよい。不可避不純物は、NiAl層以外の他の層を構成する元素を含む。NiAl層はそれぞれ、厚みが0.21 nm以上0.63 nm以下であることが好ましい。厚みが厚くなりすぎると第1強磁性層30（第2強磁性層50）から第2強磁性層50（第1強磁性層30）に移動する電子においてスピン散乱されるおそれがある。厚みがこの範囲内にあることによって、移動する電子においてスピン散乱が抑制され、第1強磁性層30と非磁性金属層40との格子不整合が低減し、非磁性金属層40と第2強磁性層50との格子不整合が低減する。その結果、磁気抵抗効果が特に大きくなる。

[0068] 次に、本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の適用例について説明する。なお、以下の適用例では、磁気抵抗効果素子として、第1実施形態の磁気抵

抗効果素子 101 を用いているが、磁気抵抗効果素子はこれに限定されるものではなく、例えば、第 2 実施形態の磁気抵抗効果素子 102 及び第 3 実施形態の磁気抵抗効果素子 103 を用いても同様な効果が得られる。

[0069] 図 3 は、適用例 1 にかかる磁気記録装置の断面図である。図 3 は、磁気抵抗効果素子の各層の積層方向に沿って磁気抵抗効果素子 101 を切断した断面図である。

[0070] 図 3 に示すように、磁気記録装置 201 は、磁気ヘッド 210 と磁気記録媒体 W とを有する。なお、図 3 において、磁気記録媒体 W が延在する一方向を X 方向とし、X 方向と垂直な方向を Y 方向として、XY 面が磁気記録媒体 W の主面に平行になるようにとる。また磁気記録媒体 W と磁気ヘッド 210 とを結ぶ方向であって、XY 平面に対して垂直な方向を Z 方向とする。

[0071] 磁気ヘッド 210 は、エアベアリング面 (Air Bearing Surface : 媒体対向面) S が磁気記録媒体 W の表面と対向していて、磁気記録媒体 W から一定の距離で離れた位置にて、磁気記録媒体 W の表面に沿って、矢印 +X と矢印 -X の方向に飛行可能とされている。磁気ヘッド 210 は、磁気センサとして作用する磁気抵抗効果素子 101 と、磁気記録部 (不図示) とを有する。磁気抵抗効果素子 101 の第 1 強磁性層 30 と第 2 強磁性層 50 は抵抗測定器 220 が接続されている。

[0072] 磁気記録部は、磁気記録媒体 W の記録層 W1 に磁場を印加し、記録層 W1 の磁化の向きを決定する。すなわち、磁気記録部は、磁気記録媒体 W の磁気記録を行う。磁気抵抗効果素子 101 は、磁気記録部によって書き込まれた記録層 W1 の磁化の情報を読み取る。

[0073] 磁気記録媒体 W は、記録層 W1 と裏打ち層 W2 とを有する。記録層 W1 は磁気記録を行う部分であり、裏打ち層 W2 は書込み用の磁束を再び磁気ヘッド 210 に還流させる磁路 (磁束の通路) である。記録層 W1 は、磁気情報を磁化の向きとして記録している。

[0074] 磁気抵抗効果素子 101 の第 2 強磁性層 50 は、磁化自由層である。このため、エアベアリング面 S に露出した第 2 強磁性層 50 は、対向する磁気記

録媒体Wの記録層W1に記録された磁化の影響を受ける。例えば、図3においては、記録層W1の+z方向に向いた磁化の影響を受けて、第2強磁性層50の磁化の向きが+z方向を向く。この場合、磁化固定層である第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが平行となる。

[0075] ここで、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが平行の場合の抵抗と、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが反平行の場合の抵抗とは異なる。よって、第1強磁性層30と第2強磁性層50の抵抗を、抵抗測定器220によって測定することによって、記録層W1の磁化の情報を抵抗値変化として読み出すことができる。

[0076] なお、磁気ヘッド210の磁気抵抗効果素子101の形状は特に制限はない。例えば、磁気抵抗効果素子101の第1強磁性層30に対する磁気記録媒体Wの漏れ磁場の影響を避けるために、第1強磁性層30を磁気記録媒体Wから離れた位置に設置してもよい。

[0077] 図4は、適用例2にかかる磁気記録素子の断面図である。図4は、磁気抵抗効果素子の各層の積層方向に沿って磁気抵抗効果素子101を切断した断面図である。

[0078] 図4に示すように、磁気記録素子202は、磁気抵抗効果素子101と、磁気抵抗効果素子101の第1強磁性層30及び第2強磁性層50に接続する電源230と測定部240とを有する。下地層20の第3下地層23が導電性を有する場合は、第1強磁性層30の代わりに第3下地層23に電源230と測定部240を接続してもよい。また、キャップ層60が導電性を有する場合は、第2強磁性層50の代わりにキャップ層60に電源230と測定部240を接続してもよい。電源230は、磁気抵抗効果素子101の積層方向に電位差を与える。測定部240は、磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値を測定する。

[0079] 電源230により第1強磁性層30と第2強磁性層50との間に電位差が生じると、磁気抵抗効果素子101の積層方向に電流が流れる。電流は、第1強磁性層30を通過する際にスピン偏極し、スピン偏極電流となる。スピ

ン偏極電流は、非磁性金属層40を介して、第2強磁性層50に至る。第2強磁性層50の磁化は、スピン偏極電流によるスピントランスファートルク（STT）を受けて磁化反転する。第1強磁性層30の磁化の向きと第2強磁性層50の磁化の向きとの相対角が変化することで、磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値が変化する。磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値は、測定部240で読み出される。すなわち、図5に示す磁気記録素子202は、スピントランスファートルク（STT）型の磁気記録素子である。

[0080] 図5は、適用例3にかかる磁気記録素子の断面図である。図5は、磁気抵抗効果素子の各層の積層方向に沿って磁気抵抗効果素子101を切断した断面図である。

[0081] 図5に示すように、磁気記録素子203は、磁気抵抗効果素子101と、磁気抵抗効果素子101の第3下地層23の両端に接続する電源230と第3下地層23及び第2強磁性層50に接続する測定部240とを有する。第3下地層23は、電流が流れる際のスピホール効果によってスピン流を発生させる機能を有する金属、合金、金属間化合物、金属硼化物、金属炭化物、金属珪化物、金属磷化物のいずれかを含む層とされている。第3下地層23は、例えば、最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号39以上の原子番号を有する非磁性金属を含む層とされている。また、キャップ層60が導電性を有する場合は、第2強磁性層50の代わりにキャップ層60に測定部240を接続してもよい。電源230は、第3下地層23の第1端と第2端に接続されている。電源230は、第3下地層23の一方の端部（第一端）と、第一端と反対側の端部（第2端）との間の面内方向に電位差を与える。測定部240は、磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値を測定する。図5に示す磁気抵抗効果素子101では、第1強磁性層30を磁化自由層、第2強磁性層50を磁化固定層としている。

[0082] 電源230により第3下地層23の第1端と第2端との間に電位差を生み出すと、第3下地層23に沿って電流が流れる。第3下地層23に沿って電

流が流れると、スピン軌道相互作用によりスピンホール効果が生じる。スピンホール効果は、移動するスピンの電流の流れ方向と直交する方向に曲げられる現象である。スピンホール効果は、第3下地層23内にスピンの偏在を生み出し、第3下地層23の厚み方向にスピン流を誘起する。スピンは、スピン流によって第3下地層23から第1強磁性層30に注入される。

[0083] 第1強磁性層30に注入されたスピンは、第1強磁性層30の磁化にスピン軌道トルク（SOT）を与える。第1強磁性層30は、スピン軌道トルク（SOT）を受けて、磁化反転する。第1強磁性層30の磁化の向きと第2強磁性層50の磁化の向きとが変化することで、磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値が変化する。磁気抵抗効果素子101の積層方向の抵抗値は、測定部240で読み出される。すなわち、図5に示す磁気記録素子203は、スピン軌道トルク（SOT）型の磁気記録素子である。

[0084] 以上、本実施形態の磁気抵抗効果素子について説明したが、上記の一般式（1）で表される本実施形態にかかるホイスラー合金の用途は磁気抵抗効果素子に限定されない。本実施形態のホイスラー合金は、例えば、スピン流磁化回転素子の強磁性層、磁壁移動素子の磁壁を有する磁性層の材料としても適用することができる。

[0085] [スピン流磁化回転素子]

図6は、適用例4にかかるスピン流磁化回転素子の断面図である。

スピン流磁化回転素子300は、図6に示す磁気記録素子203から非磁性金属層40、第2強磁性層50及びキャップ層60を除いたものである。スピン流磁化回転素子300において、第1強磁性層30は、上記の一般式（1）で表される等原子4元ホイスラー合金である。

[0086] 電源230により第3下地層23の第1端と第2端との間に電位差を生み出すと、第3下地層23に沿って電流が流れる。第3下地層23に沿って電流が流れると、スピン軌道相互作用によりスピンホール効果が生じる。第3下地層23から注入されるスピンは、第1強磁性層30の磁化にスピン軌道トルク（SOT）を与える。第1強磁性層30の磁化は、スピン軌道トルク

(SOT)によって磁化方向が変化する。

[0087] 第1強磁性層30の磁化の向きが変化すると、磁気カー効果によって反射光の偏向が変化する。また第1強磁性層30の磁化の向きが変化すると、磁気ファラデー効果によって透過光の偏向が変化する。スピン流磁化回転素子300は、磁気カー効果又は磁気ファラデー効果を利用した光学素子として用いることができる。

[0088] [磁壁移動素子（磁壁移動型磁気記録素子）]

図7は、適用例5にかかる磁壁移動素子（磁壁移動型磁気記録素子）の断面図である。

磁壁移動型磁気記録素子400は、第1強磁性層401と第2強磁性層402と非磁性層403と第1磁化固定層404と第2磁化固定層405とを有する。なお、図7において、第1強磁性層401が延びる方向をX方向とし、X方向と垂直な方向をY方向とし、XY平面に対して垂直な方向をZ方向とする。

[0089] 非磁性層403は、Z方向に第1強磁性層401と第2強磁性層402とに挟まれる。

第1磁化固定層404及び第2磁化固定層405は、X方向に第2強磁性層402及び非磁性層403を挟む位置で、第1強磁性層401に接続されている。

[0090] 第1強磁性層401は、内部の磁気的な状態の変化により情報を磁気記録可能な層である。第1強磁性層401は、内部に第1磁区401Aと第2磁区401Bとを有する。第1強磁性層401のうち第1磁化固定層404又は第2磁化固定層405とZ方向に重なる位置の磁化は、一方向に固定される。第1磁化固定層404とZ方向に重なる位置の磁化は例えば+Z方向に固定され、第2磁化固定層405とZ方向に重なる位置の磁化は例えば-Z方向に固定される。その結果、第1磁区401Aと第2磁区401Bとの境界に磁壁DWが形成される。第1強磁性層401は、磁壁DWを内部に有することができる。

図7に示す第1強磁性層401は、第1磁区401Aの磁化 M_{401A} が+Z方向に配向し、第2磁区401Bの磁化 M_{401B} が-Z方向に配向している。

[0091] 磁壁移動型磁気記録素子400は、第1強磁性層401の磁壁DWの位置によって、データを多値又は連続的に記録できる。第1強磁性層401に記録されたデータは、読み出し電流を印加した際に、磁壁移動型磁気記録素子400の抵抗値変化として読み出される。

[0092] 第1強磁性層401における第1磁区401Aと第2磁区401Bとの比率は、磁壁DWが移動すると変化する。第2強磁性層402の磁化 M_{402} は、例えば、第1磁区401Aの磁化 M_{401A} と同じ方向（平行）であり、第2磁区401Bの磁化 M_{401B} と反対方向（反平行）である。磁壁DWが+X方向に移動し、z方向からの平面視で第2強磁性層402と重畳する部分における第1磁区401Aの面積が広がると、磁壁移動型磁気記録素子400の抵抗値は低くなる。反対に、磁壁DWが-X方向に移動し、Z方向からの平面視で第2強磁性層402と重畳する部分における第2磁区401Bの面積が広がると、磁壁移動型磁気記録素子400の抵抗値は高くなる。

[0093] 磁壁DWは、第1強磁性層401のX方向に書込み電流を流す、又は、外部磁場を印加することによって移動する。例えば、第1強磁性層401の+X方向に書込み電流（例えば、電流パルス）を印加すると、電子は電流と逆の-X方向に流れるため、磁壁DWは-X方向に移動する。第1磁区401Aから第2磁区401Bに向って電流が流れる場合、第2磁区401Bでスピン偏極した電子は、第1磁区401Aの磁化 M_{401A} を磁化反転させる。第1磁区401Aの磁化 M_{401A} が磁化反転することで、磁壁DWが-X方向に移動する。

[0094] 磁壁移動型磁気記録素子400は、MR比が大きく、かつ、RAの大きいことが好ましい。磁壁移動型磁気記録素子400のMR比が大きいと、磁壁移動型磁気記録素子400の抵抗値の最大値と最小値の差が大きくなり、データの信頼性が高まる。また磁壁移動型磁気記録素子400のRAが大きいと、磁壁DWの移動速度が遅くなり、データをよりアナログに記録できる。

[0095] 第1強磁性層401の材料としては、例えば、上記の一般式(1)で表されるホイスラー合金が用いられる。上述のように、上記の一般式(1)で表されるホイスラー合金を用いた磁気抵抗効果素子は、MR比が大きく、かつ、RAが大きい。第1強磁性層401の材料として、上記の一般式(1)で表されるホイスラー合金を用いることで、磁壁移動型磁気記録素子400のMR比及びRAを大きくすることができる。

[0096] 第2強磁性層402は、例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属、これらの金属を1種以上含む合金、これらの金属とB、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とが含まれる合金等を用いることができる。具体的には、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Feが挙げられる。第2強磁性層402の材料として、上記の一般式(1)で表されるホイスラー合金を用いてもよい。

[0097] 非磁性層403は、上記の非磁性金属層40と同様の材料を用いることができる。第1磁化固定層404及び第2磁化固定層405は、第2強磁性層402と同様の材料を用いることができる。第1磁化固定層404及び第2磁化固定層405はSAF構造でもよい。

[0098] [磁壁移動素子(磁性細線装置)]

図8は、適用例6にかかる磁壁移動素子(磁性細線装置)の断面図である。

磁性細線装置500は、図8に示すように、磁気記録媒体510と、磁気記録ヘッド520と、パルス電源530とを備える。磁気記録ヘッド520は、磁気記録媒体510上の所定の位置に設けられる。パルス電源530は、磁気記録媒体510上の所定の位置に設けられる。パルス電源530は、磁気記録媒体510の面内方向にパルス電流を印加できるように、磁気記録媒体510に接続される。なお、図8において、磁気記録媒体510が延びる一方向をX方向とし、X方向と垂直な方向をY方向とし、XY平面に対して垂直な方向をZ方向とする。

[0099] 磁気記録媒体510は、磁性細線511と下地層512と基板513とを有する。下地層512は基板513上に積層され、磁性細線511は下地層

5 1 2 上に積層される。磁性細線 5 1 1 は、X 方向の長さが Y 方向の幅より長い細線状である。

[0100] 磁性細線 5 1 1 は、長手方向の一部に他の部分とは磁化方向の異なる磁区を形成可能な磁性材料から形成されている。磁性細線 5 1 1 は、例えば、第 1 磁区 5 1 1 A と第 2 磁区 5 1 1 B とを有する。第 2 磁区 5 1 1 B の磁化 M_{511B} は、第 1 磁区 5 1 1 A の磁化 M_{511A} と異なる方向に配向する。第 1 磁区 5 1 1 A と第 2 磁区 5 1 1 B との間に、磁壁 DW が形成される。第 2 磁区 5 1 1 B は、磁気記録ヘッド 5 2 0 により生成される。

[0101] 磁性細線装置 5 0 0 は、パルス電源 5 3 0 から供給されるパルス電流によって磁性細線 5 1 1 の磁壁 DW を断続的にシフト移動させながら、磁気記録ヘッド 5 2 0 が発生する磁界あるいはスピン注入磁化反転を用いて、磁性細線 5 1 1 の第 2 磁区 5 1 1 B の位置を変化させることで、データの書込みを行う。磁性細線装置 5 0 0 に書き込まれたデータは、磁気抵抗変化又は磁気光学変化を利用して読み出すことができる。磁気抵抗変化を用いる場合は、磁性細線 5 1 1 と対向する位置に非磁性層を挟んで強磁性層を設ける。磁気抵抗変化は、強磁性層の磁化と磁性細線 5 1 1 の磁化との相対角の違いに伴い生じる。

[0102] 磁性細線 5 1 1 の材料としては、上記の一般式 (1) で表されるホイスラー合金が用いられる。これによって、磁性細線装置 5 0 0 の RA を大きくすることができる。

[0103] 下地層 5 1 2 の材料としては、その少なくとも一部に酸化物絶縁体であるフェライト、より具体的にはソフトフェライトを用いることが好ましい。ソフトフェライトとしては、 $Mn-Zn$ フェライト、 $Ni-Zn$ フェライト、 $Mn-Ni$ フェライト、 $Ni-Zn-Co$ フェライトを用いることができる。ソフトフェライトは、透磁率が高いため、磁気記録ヘッド 5 2 0 によって発生した磁界の磁束が集中するので、第 2 磁区 5 1 1 B を効率よく形成させることができる。基板 5 1 3 は、上述の基板 1 0 と同様の材料を用いることができる。

[0104] [磁壁移動素子（磁壁移動型空間光変調器）]

図9は、適用例7にかかる磁壁移動素子（磁壁移動型空間光変調器）の斜視図である。

磁壁移動型空間光変調器600は、図9に示すように、第1磁化固定層610と第2磁化固定層620と光変調層630とを有する。なお、図9において、光変調層630が延びる一方向をX方向とし、X方向と垂直な方向をY方向とし、XY平面に対して垂直な方向をZ方向とする。

[0105] 第1磁化固定層610の磁化 M_{610} と第2磁化固定層620の磁化 M_{620} とは、異なる方向に配向している。例えば、第1磁化固定層610の磁化 M_{610} は+Z方向に配向し、第2磁化固定層620の磁化 M_{620} は-Z方向に配向する。

[0106] 光変調層630は、重畳領域631、636、初期磁区領域632、635、磁区変化領域633、634に区分できる。

[0107] 重畳領域631は第1磁化固定層610とZ方向に重なる領域であり、重畳領域636は第2磁化固定層620とZ方向に重なる領域である。重畳領域631の磁化 M_{631} は、第1磁化固定層610からの漏れ磁場の影響を受けて、例えば+Z方向に固定される。

重畳領域636の磁化 M_{636} は、第2磁化固定層620からの漏れ磁場の影響を受けて、例えば-Z方向に固定される。

[0108] 初期磁区領域632、635は、第1磁化固定層610又は第2磁化固定層620からの漏れ磁場の影響を受け、重畳領域631、636と異なる方向に磁化が固定される領域である。初期磁区領域632の磁化 M_{632} は、第1磁化固定層610からの漏れ磁場の影響を受けて、例えば-Z方向に固定される。初期磁区領域635の磁化 M_{635} は、第2磁化固定層620からの漏れ磁場の影響を受けて、例えば+Z方向に固定される。

[0109] 磁区変化領域633、634は、磁壁DWが移動できる領域である。磁区変化領域633の磁化 M_{633} と磁区変化領域634の磁化 M_{634} は、磁壁DWを挟んで反対方向に配向する。磁区変化領域633の磁化 M_{633} は、初期磁区

領域 6 3 2 の影響を受けて、例えば $-Z$ 方向に配向する。磁区変化領域 6 3 4 の磁化 M_{634} は、初期磁区領域 6 3 5 の漏れ磁場の影響を受けて、例えば $+Z$ 方向に固定される。磁区変化領域 6 3 3 と磁区変化領域 6 3 4 との境界が磁壁 DW となる。磁壁 DW は、光変調層 6 3 0 の X 方向に書き込み電流を流す、又は、外部磁場を印加することによって移動する。

[0110] 磁壁移動型空間光変調器 6 0 0 は、磁壁 DW を断続的に移動させながら、磁壁 DW の位置を変化させる。そして、光変調層 6 3 0 に対して光 L_1 を入射し、光変調層 6 3 0 で反射した光 L_2 を評価する。磁化の配向方向が異なる部分で反射した光 L_2 の偏向状態は異なる。磁壁移動型空間光変調器 6 0 0 は、光 L_2 の偏向状態の違いを利用した映像表示装置として用いることができる。

[0111] 光変調層 6 3 0 の材料としては、上記の一般式 (1) で表されるホイスラー合金が用いられる。これによって、磁壁移動型空間光変調器 6 0 0 の RA を大きくすることができ、磁壁 DW の移動速度を遅くすることができる。その結果、より磁壁 DW の位置を精密に制御でき、より高精細な映像表示が可能となる。

[0112] 第 1 磁化固定層 6 1 0 及び第 2 磁化固定層 6 2 0 は、上述の第 1 磁化固定層 4 0 4 及び第 2 磁化固定層 4 0 5 と同様の材料を用いることができる。

実施例

[0113] (実施例 1)

図 1 に示す磁気抵抗効果素子 1 0 1 を下記のようにして作製した。各層の構成は、以下のとおりとした。

基板 1 0 : MgO 単結晶基板、厚み 0.5 mm

下地層 2 0 :

第 1 下地層 2 1 : MgO 層、厚み 10 nm

第 2 下地層 2 2 : $CoFe$ 層、厚み 10 nm

第 3 下地層 2 3 : Ag 層、厚み 100 nm

第 1 強磁性層 3 0 : $CoFeCrGa$ 層、厚み 10 nm

非磁性金属層 40 : Ag 層、厚み 5 nm

第 2 強磁性層 50 : CoFeCrGa 層、厚み 8 nm

キャップ層 60 : Ru 層、厚み 5 nm

[0114] 第 1 下地層 21 (MgO 層) は、基板 10 を 600℃ に加熱し、電子ビーム蒸着法により成膜した。第 1 下地層 21 を成膜した基板を、600℃ で 15 分間保持した後、室温まで放冷した。次いで、第 1 下地層 21 の上に第 2 下地層 22 (CoFe 層) を、スパッタリング法により成膜した。次に、第 2 下地層 22 の上に、第 3 下地層 23 (Ag 層) を、スパッタリング法により成膜して、下地層 20 を成膜した。下地層 20 を成膜した基板 10 を 300℃ で 15 分間加熱し、その後、室温まで放冷した。

[0115] 放冷後、基板 10 に成膜した下地層 20 の上に、第 1 強磁性層 30 (CoFeCrGa 層) を成膜した。第 1 強磁性層 30 の成膜は、ターゲットとして、CoFeCrGa 合金ターゲットを用いたスパッタリング法により行った。

[0116] 次に、第 1 強磁性層 30 の上に、非磁性金属層 40 (Ag 層) をスパッタリング法により成膜した。次いで、非磁性金属層 40 の上に、第 2 強磁性層 50 (CoFeCrGa 層) を第 1 強磁性層 30 と同様に成膜した。第 2 強磁性層 50 を成膜した基板 10 を、550℃ で 15 分間加熱し、その後、室温まで放冷した。

[0117] 放冷後、基板 10 に成膜した第 2 強磁性層 50 の上に、キャップ層 60 (Ru 層) を電子ビーム蒸着法により成膜した。このようにして、図 1 に示す磁気抵抗効果素子 101 を作製した。

[0118] また、第 1 強磁性層 30 の結晶構造決定のため、下記の膜構成の結晶構造決定用サンプルを作製した。

基板 10 : MgO 単結晶基板、厚み 0.5 mm

下地層 20 : MgO 層、厚み 10 nm

第 1 強磁性層 30 : CoFeCrGa 層、厚み 30 nm

キャップ層 60 : Ru 層、厚み 2 nm

得られた結晶構造決定用サンプルを用いて、薄膜X線回折（out-of-plane XRD、及び、in-plane XRD）にて、第1強磁性層30の結晶構造を決定した。その結果、第1強磁性層30の空間群はF-43mと決定された。

[0119] [実施例2～4、比較例1]

第1強磁性層30及び第2強磁性層50の組成を、下記の表1に示す組成に変えたこと以外は実施例1と同様にして、磁気抵抗効果素子101を作製した。なお、第1強磁性層30及び第2強磁性層50の組成は、ターゲットの組成を変えることにより調整した。また、結晶構造決定用サンプルを、第1強磁性層30の組成を変えたこと以外は実施例1と同様にして作製した。その結果、実施例2～4の第1強磁性層30の空間群はF-43mと決定された。一方、比較例1の第1強磁性層30の空間群はFm-3mと決定された。

[0120] [実施例5]

基板10に成膜した下地層20の上に、第1フルホイスラー合金層31（ Co_2MnSi 層）を4nmの厚みで形成し、次いで第1等原子4元ホイスラー合金層32（ CoFeCrGa 層）を6nmの厚みで形成して第1強磁性層30を成膜した。また、非磁性金属層40の上に、第2等原子4元ホイスラー合金層52（ CoFeCrGa 層）を5nmの厚みで形成し、次いで第2フルホイスラー合金層51（ Co_2MnSi 層）を3nmの厚みで形成して第2強磁性層50を成膜した。以上の点以外は、実施例1と同様にして、図2に示す磁気抵抗効果素子102を作製した。第1フルホイスラー合金層31および第2フルホイスラー合金層51は、 Co_2MnSi ターゲットを用いたスパッタリング法により形成した。第1等原子4元ホイスラー合金層32および第2等原子4元ホイスラー合金層52は、 CoFeCrGa 層ターゲットを用いたスパッタリング法により形成した。

[0121] [実施例6～10]

第1フルホイスラー合金層31、第1等原子4元ホイスラー合金層32、

第2等原子4元ホイスラー合金層52、第2フルホイスラー合金層51の膜厚を表1に示す厚みに変えたこと以外は、実施例5と同様にして図2に示す磁気抵抗効果素子102を作製した。なお、表1の括弧内の数値は、各層の膜厚である。

[0122] (評価)

実施例1～10及び比較例1で作製した磁気抵抗効果素子101、102のMR比（磁気抵抗変化率）とRA（面積抵抗）をそれぞれ測定した。その結果を、下記の表1に示す。

[0123] MR比の評価は、EBリソグラフィ、イオンミリング等の微細加工技術を用い、測定に適する接合部を形成した。磁気抵抗効果素子101、102の接合部に積層方向に一定電流を流した状態で、外部から磁気抵抗効果素子101に磁場を掃引しながら磁気抵抗効果素子101、102への印加電圧を電圧計によってモニターすることにより、磁気抵抗効果素子101、102の抵抗値変化を測定した。第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが平行の場合の抵抗値と、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが反平行の場合の抵抗値とを測定し、得られた抵抗値から下記の式より算出した。MR比の測定は、300K（室温）で行った。

$$\text{MR比}(\%) = (R_{AP} - R_P) / R_P \times 100$$

R_P は、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが平行の場合の抵抗値であり、 R_{AP} は、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが反平行の場合の抵抗値である。

[0124] RAは、第1強磁性層30と第2強磁性層50の磁化の向きが平行の場合の抵抗 R_P と、微細加工により形成した接合部の面積Aの積により求めた。

[0125]

[表1]

	第1強磁性層*	非磁性金属層	第2強磁性層**	RA	MR
実施例1	CoFeCrGa (10)	Ag (5)	CoFeCrGa (8)	0.160	30
実施例2	CoFeCrAl (10)	Ag (5)	CoFeCrAl (8)	0.150	29
実施例3	CoFeMnGa (10)	Ag (5)	CoFeMnGa (8)	0.160	23
実施例4	CoFeMnSi (10)	Ag (5)	CoFeMnSi (8)	0.170	22
実施例5	Co ₂ MnSi (4) / CoFeCrGa (6)	Ag (5)	CoFeCrGa (5) / Co ₂ MnSi (3)	0.120	34
実施例6	Co ₂ MnSi (5) / CoFeCrGa (5)	Ag (5)	CoFeCrGa (4) / Co ₂ MnSi (4)	0.107	39
実施例7	Co ₂ MnSi (6) / CoFeCrGa (4)	Ag (5)	CoFeCrGa (3) / Co ₂ MnSi (5)	0.096	43
実施例8	Co ₂ MnSi (7) / CoFeCrGa (3)	Ag (5)	CoFeCrGa (2) / Co ₂ MnSi (6)	0.083	45
実施例9	Co ₂ MnSi (8) / CoFeCrGa (2)	Ag (5)	CoFeCrGa (1) / Co ₂ MnSi (7)	0.072	32
実施例10	Co ₂ MnSi (9) / CoFeCrGa (1)	Ag (5)	Co ₂ MnSi (8)	0.061	28
比較例1	Co ₂ MnSi (10)	Ag (5)	Co ₂ MnSi (8)	0.056	19

*, ** : 括弧内の数値は膜厚である。

[0126] 表1の結果から、第1強磁性層30および第2強磁性層50の少なくともいずれか一方が等原子4元ホイスラー合金を含む実施例1～10の磁気抵抗効果素子101、102は、第1強磁性層30および第2強磁性層50の両方がフルホイスラー合金からなる比較例1の磁気抵抗効果素子と比較して、RA及びMR比が大きな値を示すことがわかる。特に、Mnを含まない等原

子4元ホイスラー合金を含む実施例1、2、5～10の磁気抵抗効果素子101、102はMR比が向上した。さらに、第1強磁性層30および第2強磁性層50の両方が、等原子4元ホイスラー合金とフルホイスラー合金とを含む実施例5～10の磁気抵抗効果素子101、102はMR比が向上した。

符号の説明

[0127] 101、102…磁気抵抗効果素子、10…基板、20…下地層、21…第1下地層、22…第2下地層、23…第3下地層、30…第1強磁性層、31…第1フルホイスラー合金層、32…第1等原子4元ホイスラー合金層、40…非磁性金属層、50…第2強磁性層、51…第2等原子4元ホイスラー合金層、52…第2フルホイスラー合金層、60…キャップ層、201…磁気記録装置、202、203…磁気記録素子、210…磁気ヘッド、220…抵抗測定器、230…電源、240…測定部、300…スピン流磁化回転素子、400…磁壁移動型磁気記録素子、401…第1強磁性層、402…第2強磁性層、403…非磁性層、404…第1磁化固定層、405…第2磁化固定層、500…磁性細線装置、510…磁気記録媒体、511…磁性細線、511A…第1磁区、511B…第2磁区、512…下地層、513…基板、520…磁気記録ヘッド、530…パルス電源、600…磁壁移動型空間光変調器、610…第1磁化固定層、620…第2磁化固定層、630…光変調層、631、636…重畳領域、632、635…初期磁区領域、633、634…磁区変化領域、DW…磁壁

請求の範囲

- [請求項1] 第1強磁性層と、第2強磁性層と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性金属層と、を備え、
前記第1強磁性層および前記第2強磁性層の少なくともいずれか一方が、等原子4元ホイスラー合金を含む、磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 前記等原子4元ホイスラー合金は、下記の一般式(1)で表される合金を含む請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。
$$X X' Y Z \cdots (1)$$

(式(1)中、X、X'、Y及びZは、それぞれ異なる金属元素を表し、Xは、Cr、Mn、Fe、Coのうちのいずれか一つを表し、X'はV、Mn、Cr、Feのうちのいずれか一つを表し、YはTi、V、Cr、Mnのうちのいずれか一つを表し、ZはSi、Al、As、Ge、Gaのうちのいずれか一つを表す。)
- [請求項3] 前記Xは、Cr、Fe、Coのうちのいずれか一つを表し、前記X'はV、Cr、Feのうちのいずれか一つを表し、前記YはTi、V、Crのうちのいずれか一つを表す、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が少ない方の金属元素の含有量を1モルとしたときに、前記Xで表される金属元素と前記X'で表される金属元素のうち含有量が多い方の金属元素の含有量が1.05モル以下であり、前記Yで表される金属元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下であって、前記Zで表される元素の含有量が0.95モル以上1.05モル以下である、請求項2または3に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 前記等原子4元ホイスラー合金の空間群は、Fm $\bar{3}$ mであることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項6] 前記等原子4元ホイスラー合金は原子配列が不規則化している、請

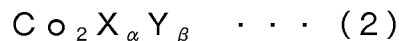
求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項7] 前記第 1 強磁性層および前記第 2 強磁性層の少なくともいずれか一方は、フルホイスラー合金を含む、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項8] 前記第 1 強磁性層および前記第 2 強磁性層の少なくともいずれか一方は、前記等原子 4 元ホイスラー合金を含む層と前記フルホイスラー合金を含む層との積層体である、請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項9] 前記フルホイスラー合金を含む層の膜厚は、前記等原子 4 元ホイスラー合金を含む層の膜厚より厚い、請求項 8 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項10] 前記フルホイスラー合金は、下記の一般式 (2) で表される合金を含む、請求項 7 ～ 9 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

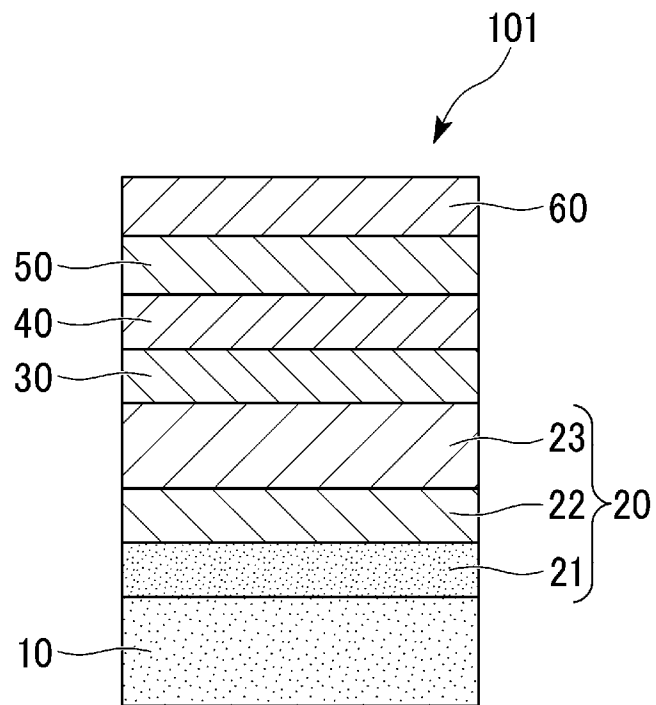


(式 (2) 中、X は、Fe, Mn, Cr のうちの少なくとも一つの金属元素を表し、Y は、Si, Al, Ga, Ge のうちの少なくとも一つの金属元素を表し、 α および β は、 $2 < \alpha + \beta < 2.6$ を満足する数を表す。)

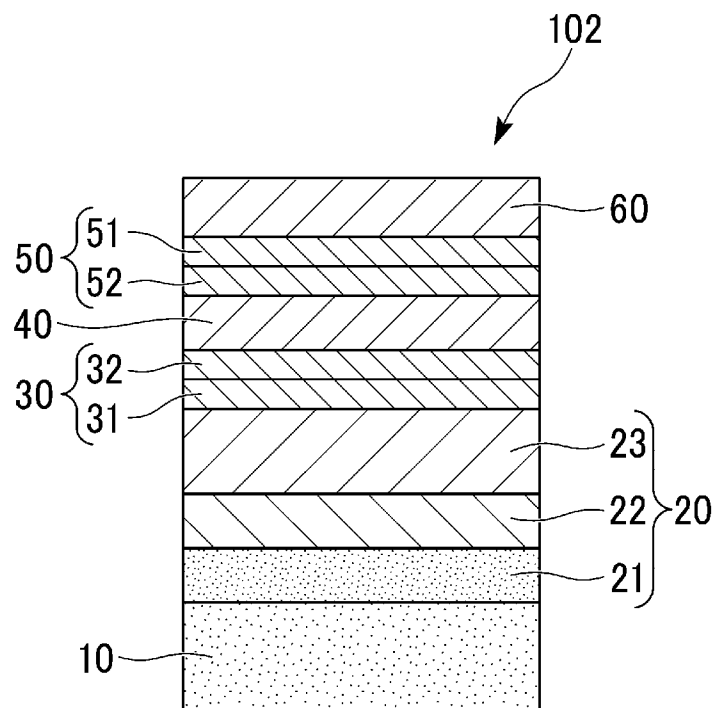
[請求項11] 前記非磁性金属層は、Cu、Ag、Cr を含む、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項12] 前記非磁性金属層と前記第 1 強磁性層との間および前記非磁性金属層と前記第 2 強磁性層との間の少なくともいずれか一方には、NiAl 合金を含む NiAl 層が備えられている、請求項 1 ～ 11 に記載のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

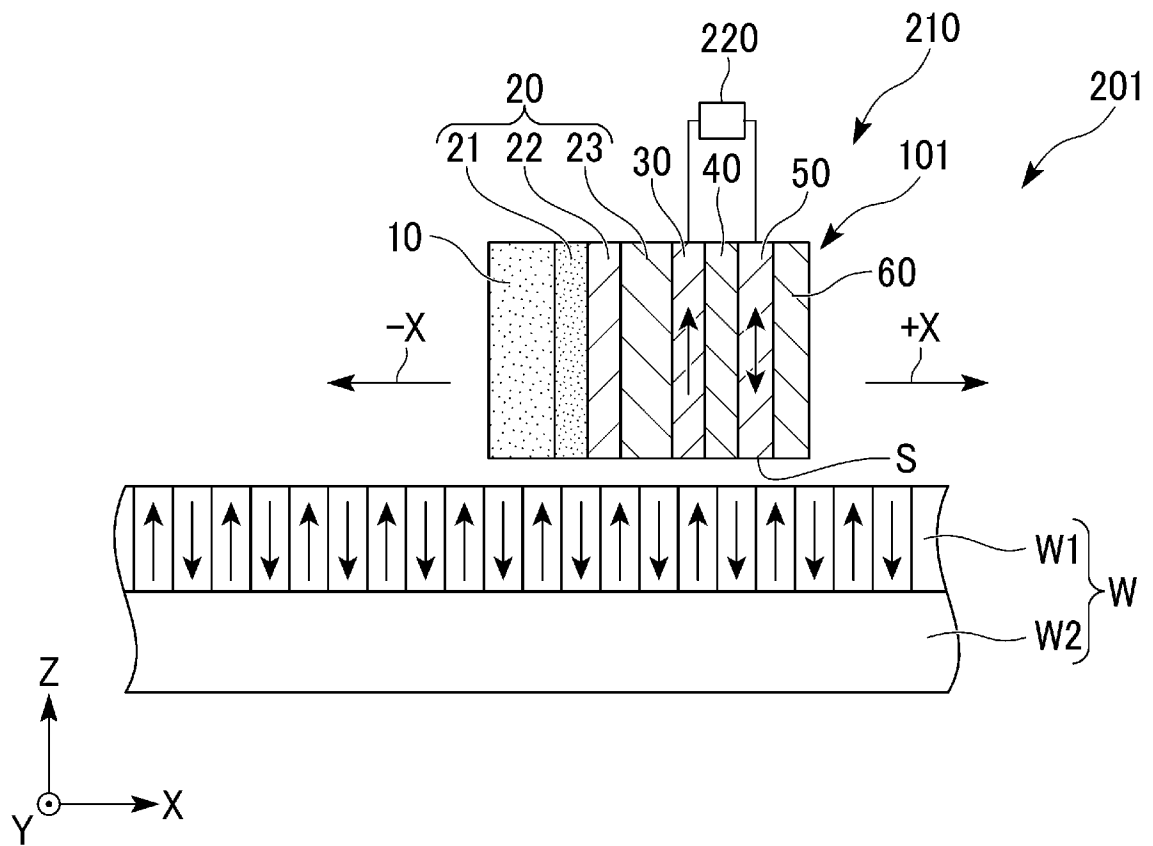
[図1]



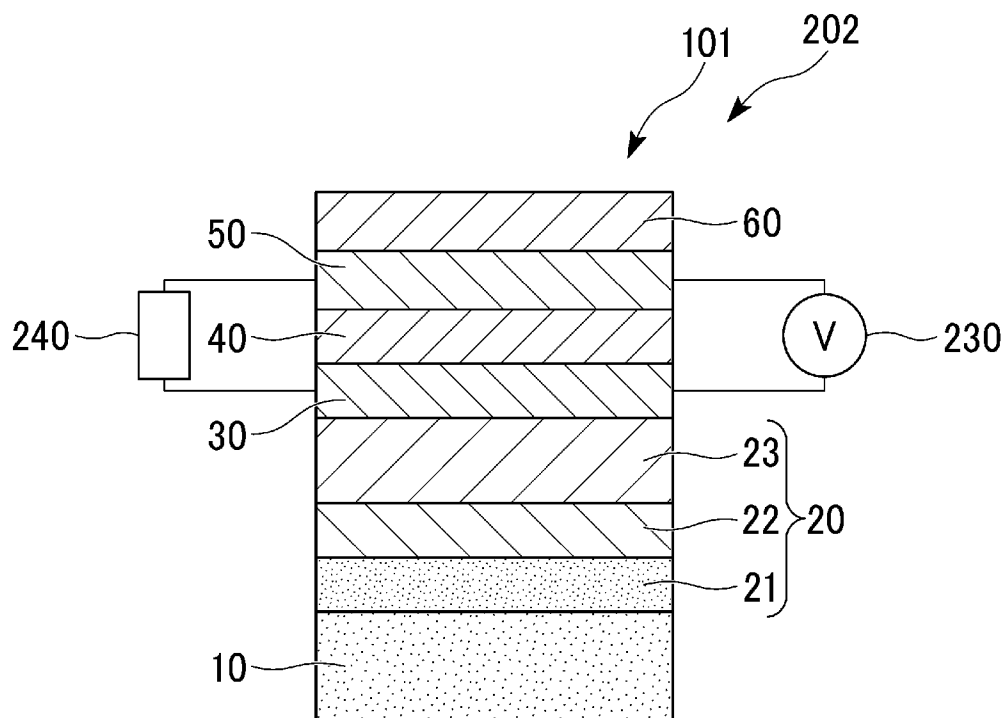
[図2]



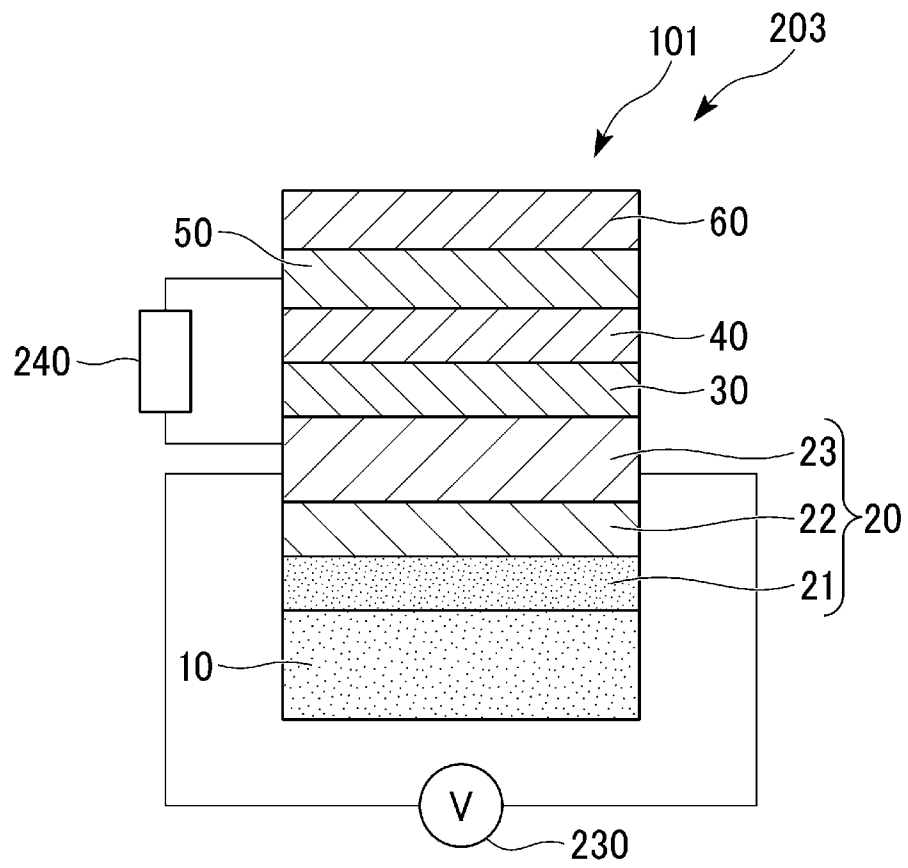
[図3]



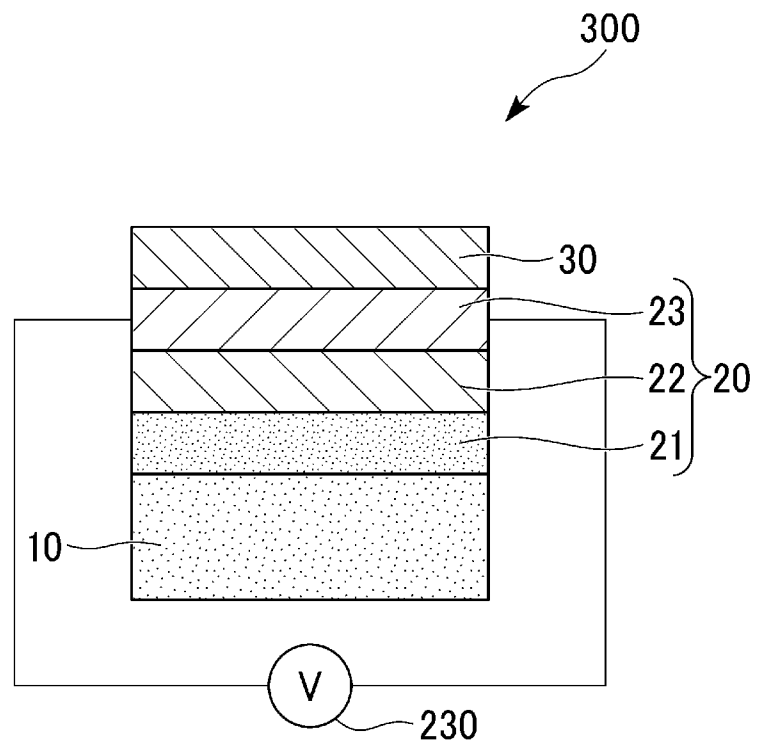
[図4]



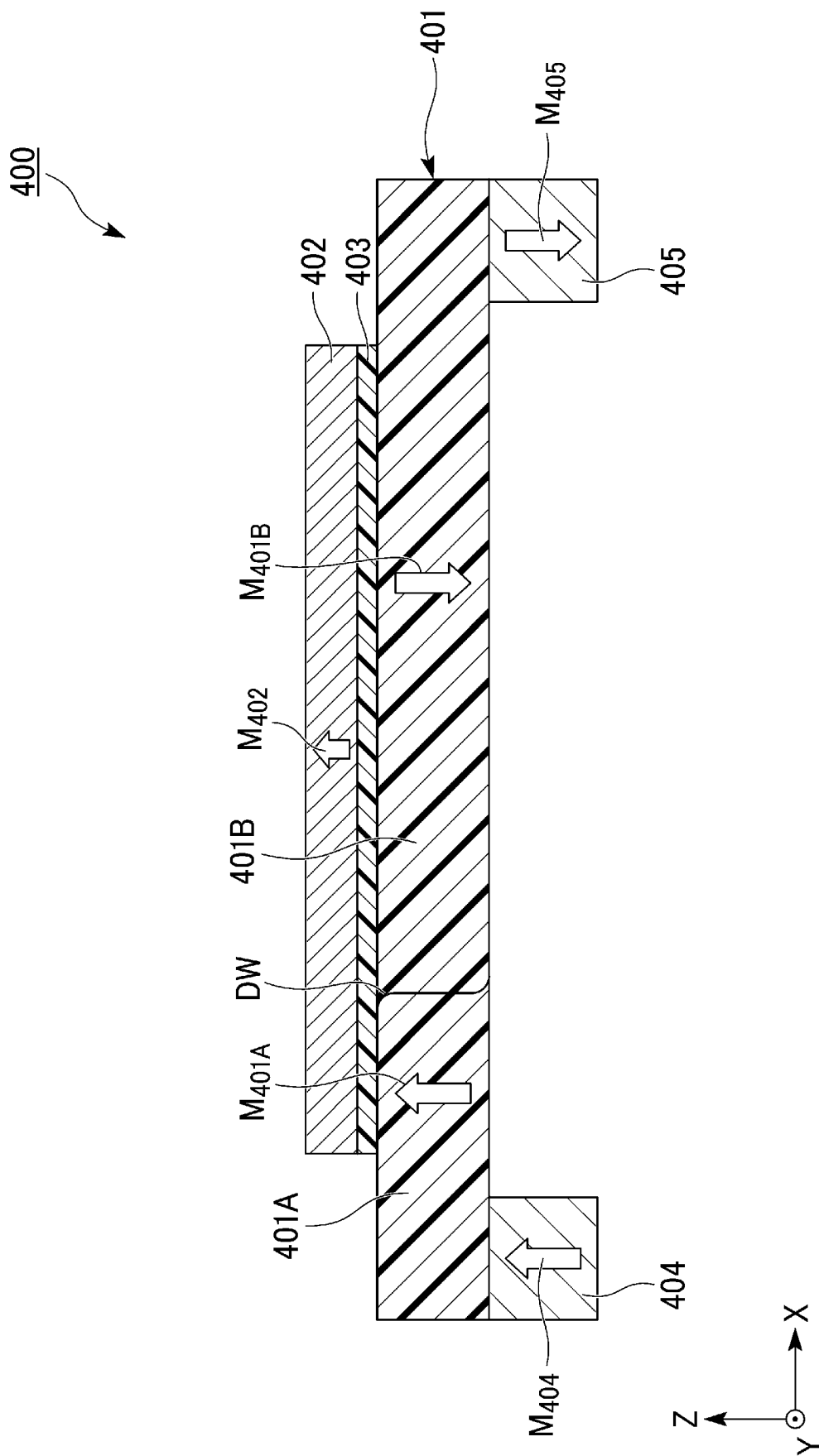
[図5]



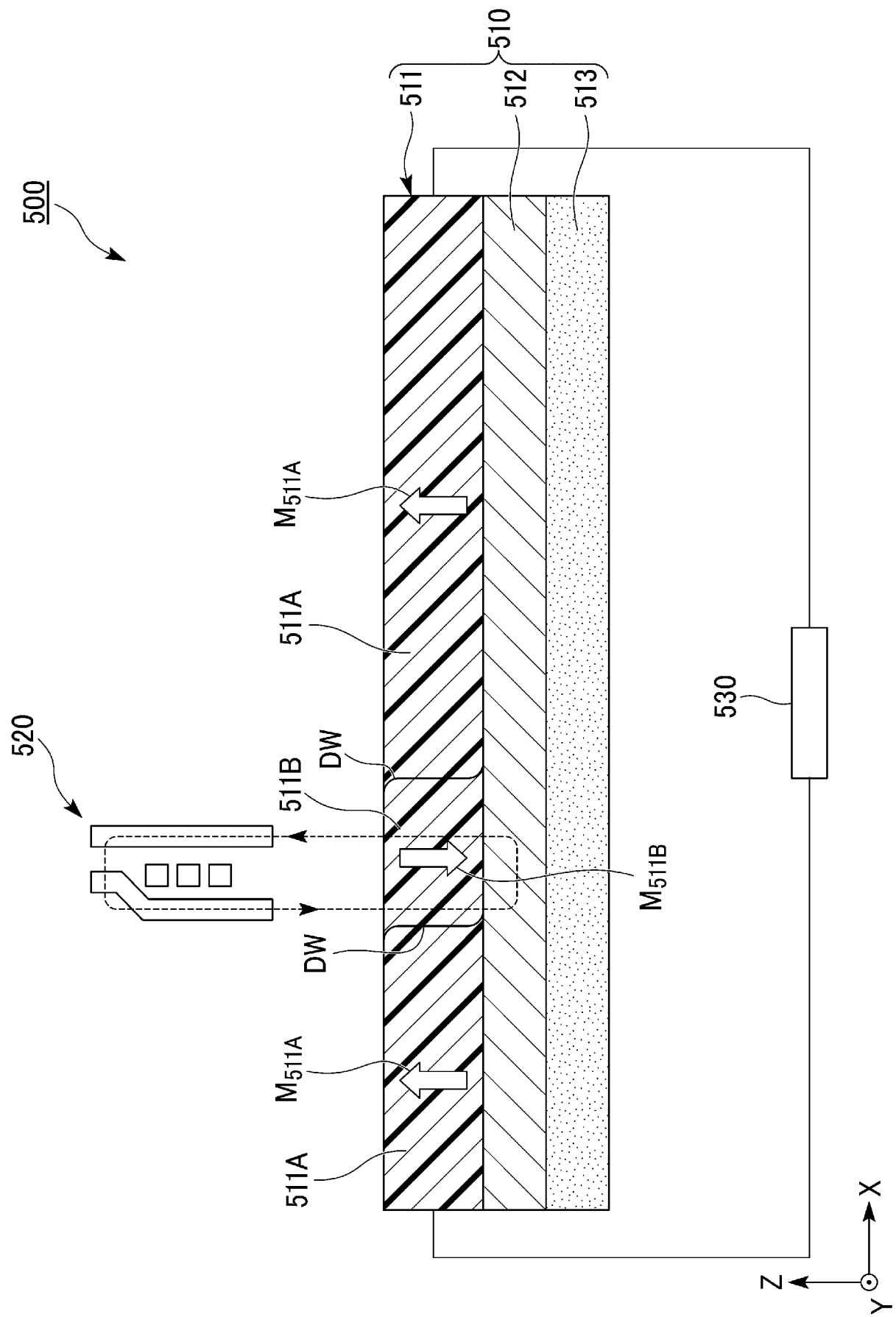
[図6]



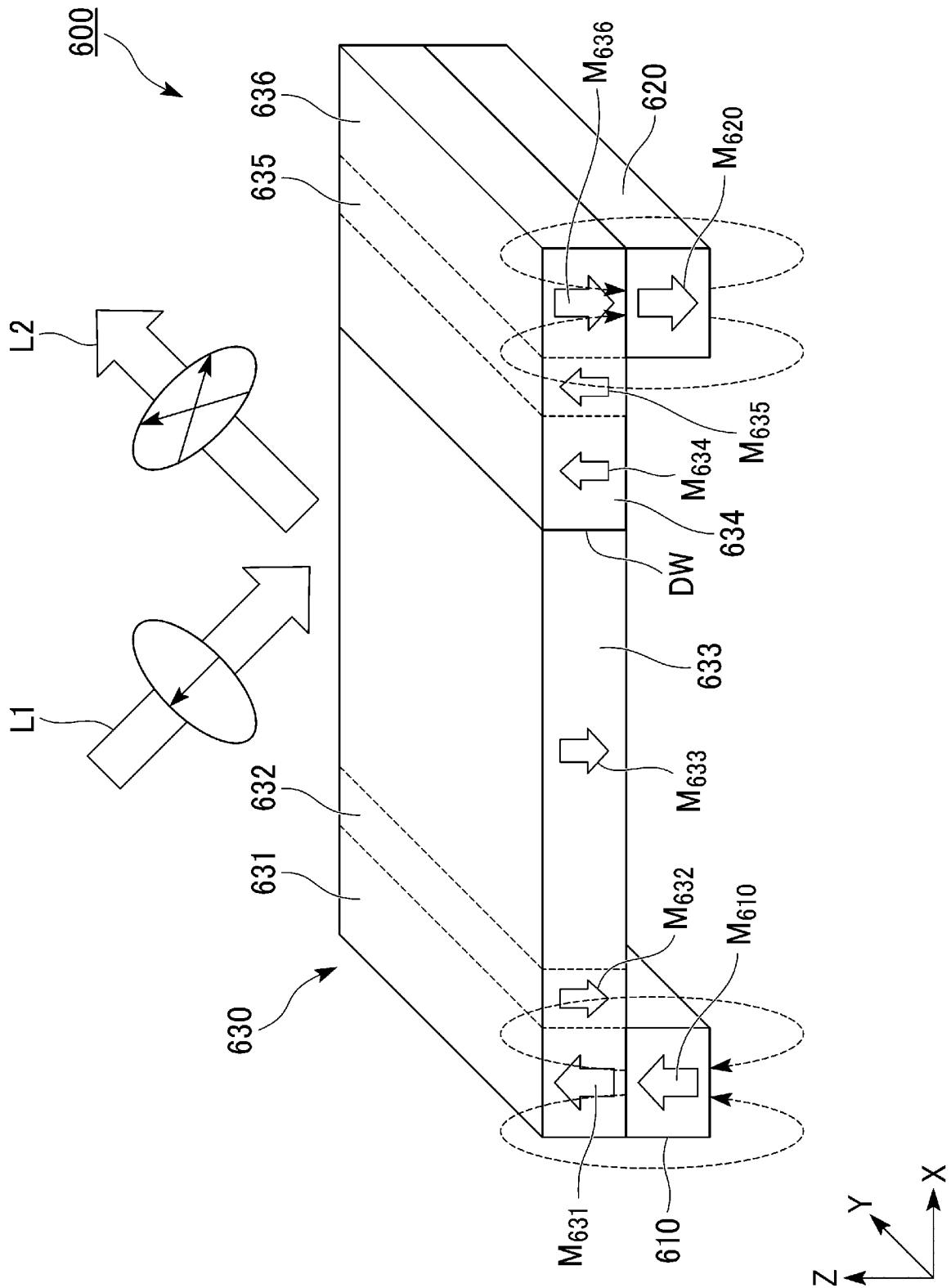
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/012410

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01L29/82 (2006.01) i, H01F10/16 (2006.01) i, H01L43/10 (2006.01) i
FI: H01L29/82 Z, H01L43/10, H01F10/16

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)

Int. Cl. H01L29/82, H01F10/16, H01L43/10

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2007-81126 A (TDK CORP.) 29 March 2007, paragraphs [0001], [0016], [0021]-[0066], fig. 1- 11, paragraphs [0001], [0016], [0021]-[0066], fig. 1-11	1-7, 11 8-10, 12
Y	JP 2019-21685 A (TOHOKU UNIVERSITY) 07 February 2019, paragraphs [0001], [0004], [0009]-[0075], fig. 1-14	1-2, 4, 7, 11
Y	TSUCHIYA, Tomoki et al. Magnetic tunnel junctions with a B2-ordered CoFeCrAl equiatomic Hensler alloy, PHYSICAL REVIEW MATERIALS, 05 August 2019, vol. 3, pp. 084403-1-084403-10, <DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.3.084403>, in particular, pp. 084403-1-084403-3, fig. 1, 3	1-3, 6-7, 11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08.06.2020

Date of mailing of the international search report
23.06.2020

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/012410

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	HOAT, D. M. Investigation on new equiatomic quaternary Heusler compound CoCrIrSi via FP-LAPW calculations, Chemical Physics, 18 April 2019, vol. 523, pp. 130-137, <DOI:10.1016/j.chemphys.2019.04.009>, in particular, pp. 130, 131, 134, fig. 1, 6, 7	1, 2, 5, 7, 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/012410

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2007-81126 A	29.03.2007	US 2007/0058301 A1 paragraphs [0003], [0020], [0042]- [0087], fig. 1-13B (Family: none)	
JP 2019-21685 A	07.02.2019		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 29/82(2006.01)i; H01F 10/16(2006.01)i; H01L 43/10(2006.01)i FI: H01L29/82 Z; H01L43/10; H01F10/16		
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（IPC）） H01L29/82; H01F10/16; 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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
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 2007-81126 A (TDK株式会社) 29.03.2007 (2007-03-29) 段落0001, 0016, 0021-0066, 図1-11	1-7, 11
A	段落0001, 0016, 0021-0066, 図1-11	8-10, 12
Y	JP 2019-21685 A (国立大学法人東北大学) 07.02.2019 (2019-02-07) 段落0001, 0004, 0009-0075, 図1-14	1-2, 4, 7, 11
Y	TSUCHIYA, Tomoki et al., Magnetic tunnel junctions with a B2-ordered CoFeCrAl equiatomic Heusler alloy, PHYSICAL REVIEW MATERIALS, 2019.08.05, Vol. 3, pp. 084403-1-084403-10, <DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.3.084403> 特に, pp. 084403-1-084403-3, 図1, 3	1-3, 6-7, 11
Y	HOAT, D. M., Investigation on new equiatomic quaternary Heusler compound CoCrIrSi via FP-LAPW calculations, Chemical Physics, 2019.04.18, Vol. 523, pp. 130-137, <DOI:10.1016/j.chemphys.2019.04.009> 特に, pp. 130-131, 134, 図1, 6-7	1, 2, 5, 7, 11
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、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 08.06.2020		国際調査報告の発送日 23.06.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 上田 智志 5F 3664 電話番号 03-3581-1101 内線 3514

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/012410

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2007-81126	A	29.03.2007	US 2007/0058301 A1 段落0003, 0020, 0042-0087, 図1-13B	
JP	2019-21685	A	07.02.2019	(ファミリーなし)	