

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



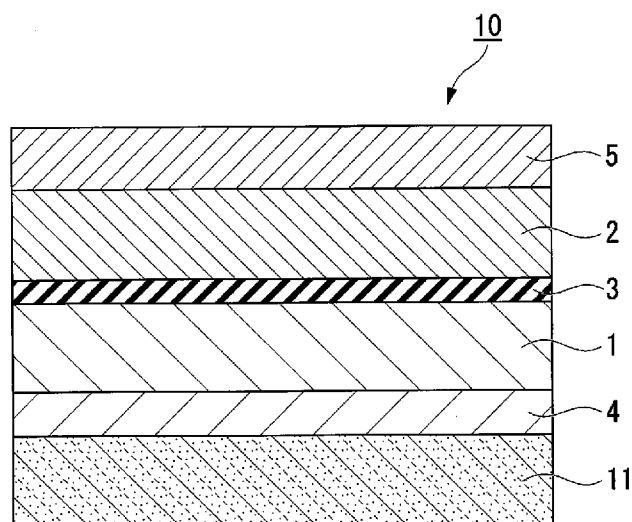
(10) 国際公開番号

WO 2018/043702 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/10 (2006.01) *H01L 27/105* (2006.01)
G01R 33/09 (2006.01) *H01L 29/82* (2006.01)
H01F 10/30 (2006.01) *H01L 43/08* (2006.01)
H01L 21/8239 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/031567
- (22) 国際出願日: 2017年9月1日(01.09.2017)
- (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 2016-171995 2016年9月2日(02.09.2016) JP
- (71) 出願人: T D K 株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目
9番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 佐々木 智生 (SASAKI Tomoyuki);
〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9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, 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,

(54) **Title:** MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC SENSOR AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子、磁気センサ及び磁気メモリ



(57) **Abstract:** This magnetoresistive effect element comprises: a first ferromagnetic metal layer; a second ferromagnetic metal layer; and a tunnel barrier layer that is arranged between the first ferromagnetic metal layer and the second ferromagnetic metal layer. The tunnel barrier layer has a cubic crystal structure; the first ferromagnetic metal layer or the second ferromagnetic metal layer is configured from a material represented by Fe_2CoSi and having a cubic crystal structure; and the crystal plane of a crystal that constitutes the tunnel barrier layer and the crystal plane of a crystal that constitutes the first ferromagnetic metal layer or the second ferromagnetic metal layer are matched at an angle of 0° or 45° in at least a part of the crystal interface between the tunnel barrier layer and the first ferromagnetic metal layer or the second ferromagnetic metal layer.

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

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, 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))

(57) 要約: この磁気抵抗効果素子は、第1強磁性金属層と、第2強磁性金属層と、前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層との間に設けられたトンネルバリア層とを有し、前記トンネルバリア層は立方晶の結晶構造を有し、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層は、 Fe_2CoSi で表される立方晶の結晶構造を有する材料により構成され、前記トンネルバリア層と前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層との結晶界面の少なくとも一部において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 又は 45° 傾いて整合している。

明 細 書

発明の名称：磁気抵抗効果素子、磁気センサ及び磁気メモリ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気センサ及び磁気メモリに関するものである。

本願は、2016年9月2日に、日本に出願された特願2016-171995号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 強磁性層と非磁性層との多層膜からなる巨大磁気抵抗（GMR）素子、及び、非磁性層として絶縁層（トンネルバリア層、バリア層）を用いたトンネル磁気抵抗（TMR）素子が知られている。一般に、TMR素子は、GMR素子と比較して素子抵抗が高いものの、TMR素子の磁気抵抗（MR）比は、GMR素子のMR比より大きい。そのため、磁気センサ、高周波部品、磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセスメモリ（MRAM）用の素子として、TMR素子に注目が集まっている。

[0003] 磁気抵抗効果素子の強磁性層として、FeとCoの少なくとも一方を主成分とする強磁性体が一般に広く用いられている（例えば、特許文献1）。具体的には、Co-Fe、Co-Fe-B等が知られている。

[0004] また強磁性層に X_2YZ で表記されるホイスラー合金を用いる検討もされている（例えば、特許文献2）。 Co_2FeSi は、Co系で最も高いキュリー温度を示し、高い分極率を示すことが知られており、注目されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2016-105340号公報

特許文献2：特許第5586028号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 強磁性材料を探索したところ Fe_2CoSi は軟磁性であることが確認された。すなわち、 Fe_2CoSi は磁気センサ、メモリセンサ、MRAM等の磁気抵抗効果素子の自由層に適用できる材料であり、今後の発展が期待される。一方で、 Fe_2CoSi はまだ十分な検討が進められていない材料である。そのため、 Fe_2CoSi を磁気抵抗効果素子に用いた場合に、どのような問題が発生するかについて十分な報告がされていない。

このような背景のもと、自由層に Fe_2CoSi を用いる検討を行ったところ、十分なMR比が得られない場合があった。

[0007] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、軟磁性材料である Fe_2CoSi を含み、高いMR比を有す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

[0008] 本発明者らは、鋭意検討の結果、トンネルバリア層と強磁性層とを積層する際の格子の整合状態を設定することで、高いMR比を有する磁気抵抗効果素子が得られることを見出した。

すなわち、本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

[0009] (1) 本発明の第一の態様にかかる磁気抵抗効果素子は、第1強磁性金属層と、第2強磁性金属層と、前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層との間に設けられたトンネルバリア層とを有し、前記トンネルバリア層は立方晶の結晶構造を有し、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層は、 Fe_2CoSi で表される立方晶の結晶構造を有する材料により構成され、前記トンネルバリア層と前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層との結晶界面の少なくとも一部において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 又は 45° 傾いて整合している。

[0010] 本発明の第二の態様にかかる磁気抵抗効果素子は、第1強磁性金属層と、第2強磁性金属層と、前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層との間に設けられたトンネルバリア層とを有し、前記トンネルバリア層は立方晶の

結晶構造を有し、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層は、 Fe_2CoSi で表される立方晶の結晶構造を有する材料により構成され、前記トンネルバリア層と前記第1強磁性金属層及び前記第2強磁性金属層のうち Fe_2CoSi により構成される強磁性層との結晶界面の少なくとも一部において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記 Fe_2CoSi により構成される強磁性層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 又は 45° 傾いて整合し、前記トンネルバリア層と前記 Fe_2CoSi により構成される強磁性層との格子整合度が10%以下である。

[0011] (2) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgO 、 MgAl_2O_4 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 ZnAl_2O_4 またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合していてもよい。

[0012] (3) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgO により構成されていてもよい。

[0013] (4) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgAl_2O_4 により構成されていてもよい。

[0014] (5) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ により構成されていてもよい。

[0015] (6) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が ZnAl_2O_4 により構成されていてもよい。

[0016] (7) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 、 ZnGa_2O_4 、 CdAl_2O_4 またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成されていてもよい。

[0017] (8) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合していてもよい。

- [0018] (9) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合していてもよい。
- [0019] (10) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在していてもよい。
- [0020] (11) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合していてもよい。
- [0021] (12) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合していてもよい。
- [0022] (13) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在していてもよい。
- [0023] (14) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合していてもよい。
- [0024] (15) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバ

リア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合していてもよい。

[0025] (16) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在していてもよい。

[0026] (17) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記トンネルバリア層が CdGa_2O_4 により構成され、前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合していてもよい。

[0027] (18) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層の少なくとも一方が、前記結晶界面に対して垂直な磁気異方性を有していてもよい。

[0028] (19) 本発明の一態様にかかる磁気センサは、上記態様にかかる磁気抵抗効果素子を用いたものである。

[0029] (20) 本発明の一態様にかかる磁気メモリは、上記態様にかかる磁気抵抗効果素子を用いたものである。

発明の効果

[0030] 本発明によれば、軟磁性材料である Fe_2CoSi を含み、高いMR比を有する磁気抵抗効果素子をえることができる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]本発明の実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面模式図である。

[図2]スピネルの結晶構造の図である。

[図3]規則性スピネル及びスケネル構造の構成単位を示す図である。

[図4]トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している場合を模式的に示した斜視図である。

[図5]トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している場合を模式的に示した平面図である。

[図6]トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している場合を模式的に示した斜視図である。

[図7]トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している場合を模式的に示した平面図である。

[図8]本発明の一態様に係る磁気抵抗効果素子を備える磁気抵抗効果デバイスの断面模式図である。

[図9]磁気抵抗効果デバイスを積層方向から平面視した模式図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0033] 「磁気抵抗効果素子」

図1は、本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面模式図である。図1に示す磁気抵抗効果素子10は、基板11上に設けられている。図1に示す磁気抵抗効果素子10は、基板11側から下地層4、第1強磁性金属層1、トンネルバリア層3、第2強磁性金属層2、キャップ層5の順に積層されている。下地層4及びキャップ層5は必須の層ではなく、除いてもよい。

[0034] (第1強磁性金属層、第2強磁性金属層)

第1強磁性金属層1は、第2強磁性金属層2より保磁力が大きい。すなわち、第1強磁性金属層1の磁化が一方向に固定され、第2強磁性金属層2の磁化の向きが相対的に変化することで、これらが磁気抵抗効果素子10として機能する。第1強磁性金属層1は固定層または参照層と呼ばれ、第2強磁性金属層2は自由層または記録層と呼ばれる。

- [0035] 第1強磁性金属層1には、公知の材料（強磁性金属）を用いることができる。例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属及びこれらの金属を1種以上含み強磁性を示す合金を用いることができる。またこれらの金属と、B、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とを含む合金を用いることもできる。具体的には、Co-FeやCo-Fe-Bが挙げられる。
- [0036] また、より高い出力を得るためには Co_2FeSi などのホイスラー合金を用いることが好ましい。ホイスラー合金は、 X_2YZ の化学組成をもつ金属間化合物を含み、Xは、周期表上でCo、Fe、Ni、あるいはCu族の遷移金属元素または貴金属元素であり、Yは、Mn、V、CrあるいはTi族の遷移金属でありXの元素種をとることもでき、Zは、III族からV族の典型元素である。例えば、 Co_2FeSi 、 Co_2MnSi や $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ などが挙げられる。
- [0037] また、第1強磁性金属層1の第2強磁性金属層2に対する保磁力をより大きくするために、第1強磁性金属層1と接する材料としてIrMn、PtMnなどの反強磁性材料を用いても良い。さらに、第1強磁性金属層1の漏れ磁場を第2強磁性金属層2に影響させないようにするため、シンセティック強磁性結合の構造としても良い。
- [0038] さらに、第1強磁性金属層1の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、CoとPtの積層膜を用いることが好ましい。具体的には、第1強磁性金属層1は $[\text{Co} (0.24 \text{ nm}) / \text{Pt} (0.16 \text{ nm})]_6 / \text{Ru} (0.9 \text{ nm}) / [\text{Pt} (0.16 \text{ nm}) / \text{Co} (0.16 \text{ nm})]_4 / \text{Ta} (0.2 \text{ nm}) / \text{FeB} (1.0 \text{ nm})$ とすることができる。なお、第1強磁性金属層1の厚みは特に限定されないが、1 nm以上が好ましく、1 nm以上20 nm以下とすることがより好ましい。
- [0039] 第2強磁性金属層2の材料として、 Fe_2CoSi が用いられる。 Fe_2CoSi は軟磁性材料である。そのため、第1強磁性金属層1より第2強磁性金属層2のスピンは磁化反転しやすく、自由層として最適である。また Fe_2

C o S i は立方晶の結晶構造を有する。また、F e₂C o S i はこの組成比に必ずしも限定されない。F e と C o は互いに、元素の位置を交換することができるため、F e が 2 よりも大きく成りえる。同様に、C o が 1 よりも大きくなりえる。軟磁性材料としての機能は、少なくとも F e が C o よりも多い場合に生じる。

[0040] 第 2 強磁性金属層 2 の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、第 2 強磁性金属層 2 の厚みを 2.5 nm 以下とすることが好ましい。これにより、第 2 強磁性金属層 2 とトンネルバリア層 3 との界面で、第 2 強磁性金属層 2 に垂直磁気異方性を付加することができる。また、垂直磁気異方性は第 2 強磁性金属層 2 の膜厚を厚くすることによって効果が減衰するため、第 2 強磁性金属層 2 の膜厚は薄い方が好ましい。なお、第 2 強磁性金属層 2 の厚みの下限値は特に限定されないが、好ましくは 1 nm である。

[0041] 磁気センサとして磁気抵抗効果素子を活用させるためには、外部磁場に対して抵抗変化が線形に変化することが好ましい。一般的な強磁性層の積層膜では磁化の方向が形状異方性によって積層面内に向きやすい。この場合、例えば外部から磁場を印可して、第 1 強磁性金属層と第 2 強磁性金属層の磁化の向きを直交させることによって外部磁場に対して抵抗変化が線形に変化する。しかしながらこの場合、磁気抵抗効果素子の近くに磁場を印可させる機構が必要であり、集積を行う上で望ましくない。そのため、強磁性金属層自体が垂直な磁気異方性を持つことが好ましい。

[0042] ここでは、磁気抵抗効果素子 10 として、第 1 強磁性金属層 1 を磁化固定層とし、第 2 強磁性金属層 2 を磁化自由層としている、いわゆるボトムピン構造の例を挙げたが、磁気抵抗効果素子 10 の構造は特に限定されるものではない。第 1 強磁性金属層 1 を磁化自由層とし、第 2 強磁性金属層 2 を磁化固定層としたトップピン構造としてもよい。この場合、第 1 強磁性金属層 1 を構成する材料が、F e₂C o S i となる。

[0043] (トンネルバリア層)

トンネルバリア層 3 は非磁性絶縁材料からなる。トンネルバリア層 3 の膜

厚は、一般的に3 nm以下の厚さである。トンネルバリア層3の膜厚の下限値は特に限定されないが、0.6 nmが好ましい。金属材料によってトンネルバリア層3を挟み込むと金属材料の原子が持つ電子の波動関数がトンネルバリア層3を超えて広がるため、回路上に絶縁体が存在するにも関わらず電流が流れる。磁気抵抗効果素子10は、トンネルバリア層3を強磁性金属材料（第1強磁性金属層1及び第2強磁性金属層2）で挟み込む構造であり、挟み込んだ強磁性金属のそれぞれの磁化の向きの相対角によって抵抗値が決定される。

[0044] 磁気抵抗効果素子10には、通常のトンネル効果を利用したものとトンネル時の軌道が限定されるコヒーレントトンネル効果が支配的なものがある。通常のトンネル効果では強磁性材料のスピンの分極率によって磁気抵抗効果が得られるが、コヒーレントトンネルではトンネル時の軌道が限定される。そのため、コヒーレントトンネルが支配的な磁気抵抗効果素子では、強磁性金属材料のスピンの分極率以上の効果が期待できる。コヒーレントトンネル効果を発現するためには、強磁性金属材料及びトンネルバリア層3が結晶化し、特定の方位で接合することが好ましい。

[0045] トンネルバリア層3は立方晶の結晶構造を有する。ここで「立方晶の結晶構造」とは、立方晶が部分的に歪んだ結晶構造も含む。トンネルバリア層3は、単体のバルクとして存在する訳ではなく、薄膜として形成されている。また、トンネルバリア層3は、単層で存在する訳ではなく、複数の層が積層された積層体の一部として存在する。そのため、トンネルバリア層3は、立方晶が部分的に歪んだ結晶構造も取りうる。一般的に、トンネルバリア層3の立方晶からのずれはわずかであり、構造を評価する測定方法の精度に依存する。

[0046] トンネルバリア層3は、 MgO 、 MgAl_2O_4 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 ZnAl_2O_4 、 MgGa_2O_4 、 ZnGa_2O_4 、 CdAl_2O_4 及び CdGa_2O_4 からなる群から選択されるいずれか、又は、これらの混晶により構成されていることが好ましい。なお、ここで示す組成式は理論式として示しており、実際に

はこの組成式から比率がずれる範囲も含まれる。例えば、酸素欠損が生じ $MgAl_2O_{4-\alpha}$ (α は実数) となる場合や、 Mg と Al の比率が変化し $Mg_{1-\beta}Al_{2+\beta}O_4$ (β は実数) となる場合や、 Mg のサイトが欠損した $Mg_{1-\gamma}Al_2O_4$ (γ は実数) となる場合等を含む。

[0047] MgO は岩塩型構造をとり、 $MgAl_2O_4$ 、 $\gamma-Al_2O_3$ 、 $ZnAl_2O_4$ 、 $MgGa_2O_4$ 、 $ZnGa_2O_4$ 、 $CdAl_2O_4$ 及び $CdGa_2O_4$ はスピネル構造をとる。岩塩型構造もスピネル構造も立方晶に含まれる。そのため、いずれの材料も立方晶であり、 Fe_2CoSi からなる強磁性金属層と整合することができる。なお、ここで言うスピネル構造とは、規則性スピネル構造とスケネル構造のいずれも含む概念である。

[0048] 図2は、スピネル型結晶構造を模式的に示した図である。スピネル構造は、陽イオンと酸素イオンにより構成された結晶構造である。スピネル構造において陽イオンが配置される部分は、酸素が4配位するAサイトと、酸素が6配位するBサイトがある。図2において、符号Oは酸素イオン、符号AはAサイト、符号BはBサイト、符号 a_{spinel} はスピネル構造の格子定数を意味する。

[0049] スケネル構造は、スピネル構造の陽イオンが不規則化した構造である。スケネル構造は、酸素イオンの配列はスピネルとほぼ同等の最密立方格子を取っているものの、陽イオンの原子配列が乱れている。規則性スピネル構造では、酸素イオンの四面体空隙及び八面体空隙に陽イオンは規則正しく配列する。これに対し、スケネル構造では陽イオンがランダムに配置され、本来では占有されない酸素原子の四面体位置及び八面体位置に陽イオンが位置する。その結果、スケネル構造は結晶の対称性が変わり、規則性スピネル構造に対して実質的に格子定数が半減した構造となっている。

[0050] 図3は、規則性スピネル及びスケネル構造の構成単位を示す図である。規則性スピネル及びスケネル構造は、図3(a)～(e)に示す5つの構成単位を取ることが可能である。図3(a)～(c)は $Fm-3m$ の空間群の対称性を有し、図3(d)及び(e)は $F-43m$ の空間群の対称性を有する

。スケネル構造は、これらの構造のいずれかにより構成されてもよいし、これらが混ざり合って構成されていてもよい。図3 (a) ~ (e) において、符号Oは酸素イオン、符号Cは陽イオンが入るサイト、符号 $a_{\text{spinel}}/2$ はスピネル構造の格子定数の半分を意味し、スケネル構造の格子定数を意味する。陽イオンが入るサイトは、図2におけるAサイト又はBサイトのいずれかに対応する。

[0051] 例えば、トンネルバリア層3が MgAl_2O_4 、 ZnAl_2O_4 、 MgGa_2O_4 、 ZnGa_2O_4 、 CdAl_2O_4 及び CdGa_2O_4 からなる場合、Aサイトが非磁性の二価の陽イオンであるMg、Zn、Cdのいずれかとなり、BサイトがAl、Gaのいずれかとなる。トンネルバリア層3が $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の場合、CサイトにAlが入り、一部が欠損する。

[0052] トンネルバリア層3の格子構造の繰返しの単位が変わると、強磁性金属層を構成する材料との電子構造（バンド構造）との組み合わせが変化し、コヒーレントトンネル効果による大きなTMRエンハンスが現れる。例えば、非磁性のスピネル材料である MgAl_2O_4 の空間群は $Fd\bar{3}m$ であるが、格子定数が半減した不規則化したスピネル構造の空間群は $Fm\bar{3}m$ もしくは $F\bar{4}3m$ に変化する。

[0053] (下地層)

基板11の第1強磁性金属層1側の面には、下地層4が形成されていてもよい。下地層4を設けると、基板11上に積層される第1強磁性金属層1を含む各層の結晶配向性、結晶粒径等の結晶性を制御することができる。

[0054] 下地層4は、導電性および絶縁性のいずれでもよいが、下地層4に通電する場合は導電性材料を用いることが好ましい。

例えば1つの例として、下地層4には(001)配向したNaCl構造を有し、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の層を用いることができる。

[0055] 別の例として、下地層4には 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の層を用いることができる。ここで、サイトAはSr、Ce、Dy、La、K、Ca、Na、Pb、Ba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はTi、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Ga、Nb、Mo、Ru、Ir、Ta、Ce、Pbの群から選択された少なくとも1つの元素を含む。

[0056] 別の例として、下地層4には(001)配向したNaCl構造を有し、かつ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の層を用いることができる。

[0057] 別の例として、下地層4には(001)配向した正方晶構造または立方晶構造を有し、かつAl、Cr、Fe、Co、Rh、Pd、Ag、Ir、Pt、Au、Mo、Wの群から選択される少なくとも1つの元素を含む層を用いることができる。

[0058] また、下地層4は一層に限られず、上述の例の層を複数層積層してもよい。下地層4の構成を工夫することにより磁気抵抗効果素子10の各層の結晶性を高め、磁気特性の改善が可能となる。

[0059] (キャップ層)

また、第2強磁性金属層2のトンネルバリア層3と反対側の面には、キャップ層5が形成されていることが好ましい。キャップ層5は、第2強磁性金属層2からの元素の拡散を抑制することができる。またキャップ層5は、磁気抵抗効果素子10の各層の結晶配向性にも寄与する。その結果、キャップ層5を設けることで、磁気抵抗効果素子10の第1強磁性金属層1及び第2強磁性金属層2の磁性を安定化し、磁気抵抗効果素子10を低抵抗化することができる。

[0060] キャップ層5には、導電性が高い材料を用いることが好ましい。例えば、Ru、Ta、Cu、Ag、Au等を用いることができる。またキャップ層5は、原子番号がイットリウム以上の非磁性金属により構成されていることが好ましい。当該非磁性金属によりキャップ層5が構成されていると、第2強磁性金属層2にスピンの蓄積されやすくなり、高いMR比を実現可能となる。

。

[0061] キャップ層5の結晶構造は、隣接する強磁性金属層の結晶構造に合わせて適宜設定することが好ましい。キャップ層5の厚みは、歪み緩和効果が得られ、さらにシャントによるMR比の低下が見られない範囲であればよく、1 nm以上30 nm以下が好ましい。

[0062] キャップ層5の上にスピン軌道トルク配線を形成してもよい。

ここで、スピン軌道トルク配線は、磁気抵抗効果素子10の積層方向（図1の上下方向）に対して交差する方向に延在し、該スピン軌道トルク配線に磁気抵抗効果素子10の積層方向に対して直交する方向に電流を流す電源に電氣的に接続され、その電源と共に、磁気抵抗効果素子10に純スピン流を注入するスピン注入手段として機能する。

[0063] スピン軌道トルク配線は、電流が流れるとスピンホール効果によって純スピン流が生成される材料からなるものである。ここで、スピンホール効果とは、材料に電流を流した場合にスピン軌道相互作用に基づき、電流の向きに直交する方向に純スピン流が誘起される現象である。

[0064] （基板）

磁気抵抗効果素子10は基板11上に形成される。基板11は、平坦性に優れた材料を用いることが好ましい。基板11は目的とする製品によって異なる。例えば、MRAMの場合、磁気抵抗効果素子の下にはSi基板で形成された回路を用いることができる。あるいは、磁気ヘッドの場合、加工しやすいAlTiC基板を用いることができる。

[0065] 次いで、磁気抵抗効果素子10を構成する各層の関係性について具体的に説明する。

[0066] （トンネルバリア層と第1強磁性金属層又は第2強磁性金属層との関係）

トンネルバリア層3と軟磁性材料を含む第1強磁性金属層1又は第2強磁性金属層2との結晶界面の少なくとも一部において、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面と、第1強磁性金属層1又は第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面とが、0°又は45°傾いて整合している。

[0067] ここで整合しているのは、 Fe_2CoSi により構成される強磁性層とトンネルバリア層3である。以下、上記と同様に、第2強磁性金属層2が Fe_2CoSi により構成されているものとし、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の整合について説明する。

[0068] まず、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面と、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している場合について説明する。

[0069] 図4は、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 0° 傾いて整合している場合を模式的に示した斜視図である。理解を容易にするために、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとを離して図示している。またトンネルバリア層3を構成する結晶の単位格子 U_3 と第2強磁性金属層2を構成する結晶の単位格子 U_2 を拡大して図示している。

[0070] トンネルバリア層3は単位格子 U_3 が密に配列して構成されている。トンネルバリア層3の単位格子 U_3 は、 $\langle a_3, b_3, c_3 \rangle$ の基本ベクトルを有する。トンネルバリア層3は立方晶であるため、基本ベクトル a_3, b_3, c_3 はそれぞれ直交し、基本ベクトル a_3, b_3, c_3 の大きさはそれぞれ等しい。

[0071] 同様に、第2強磁性金属層2は単位格子 U_2 が密に配列して構成されている。第2強磁性金属層2の単位格子 U_2 は、 $\langle a_2, b_2, c_2 \rangle$ の基本ベクトルを有する。第2強磁性金属層2も立方晶であるため、基本ベクトル a_2, b_2, c_2 はそれぞれ直交し、基本ベクトル a_2, b_2, c_2 の大きさはそれぞれ等しい。

[0072] トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 0° 傾いて整合しているということは、以下の2つの条件を満たす。

[0073] 第1の条件は、結晶面3Aを構成する基本ベクトル a_3, b_3 の向きと、結晶面2Aを構成する基本ベクトル a_2, b_2 の向きと、が一致することである

。

[0074] 第2の条件は、結晶面3Aを構成する基本ベクトル a_3 、 b_3 の大きさが、結晶面2Aを構成する基本ベクトル a_2 、 b_2 の大きさの正整数倍又は $1/\text{正整数倍}$ である（又は基本ベクトル a_2 、 b_2 の大きさの正整数倍又は $1/\text{正整数倍}$ に近似できる）ことである。すなわち、 $|a_3| = n |a_2|$ （ n は正整数又は $1/\text{正整数}$ である） $\cdots$ （1）を満たすことである。なお、単位格子の基本ベクトルの大きさは等しいため、一般式（1）を満たせば、 $|b_3| = n |b_2|$ を満たす。

[0075] 第1の条件を満たすと、二つの結晶面2A、3Aを構成する単位格子 U_2 、 U_3 の辺の向きが一致する。その結果、図4に示すように、第2強磁性金属層2の立方晶の単位格子 U_2 上に、トンネルバリア層3の立方晶の単位格子 U_3 が辺を揃えて形成される（以下、CoC（Cubic on Cubic）と言うことがある。）。

[0076] また、第2の条件を満たすと、図5に示すように、磁気抵抗効果素子10の積層方向から見て単位格子 U_2 と単位格子 U_3 との頂点の位置が、少なくとも数周期に1回揃う。図5は、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 0° 傾いて整合している場合を模式的に示した平面図（結晶面3Aと結晶面2Aとの結晶界面の模式図）である。図5の実線がトンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aであり、点線が第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aである。

[0077] 立方晶の結晶構造において単位格子の頂点の位置には、原子が配置される。そのため、単位格子 U_2 と単位格子 U_3 との頂点の位置が少なくとも数周期に1回揃うと、積層方向から見て第2強磁性金属層2の原子とトンネルバリア層3の原子が重畳する位置に配設される。そのため、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の結晶界面において、積層方向に重畳する位置同士の原子が接続し、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3とが格子歪を生じることなく整合する。

[0078] ここで、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の整合の度合いを格子整合度と言う指標で表すことができる。格子整合度は、以下のように定義できる。

[0079] [数1]

$$\text{「格子整合度」} = \frac{\|a_3 - n|a_2|\|}{|a_2|} \times 100 \quad \dots (2)$$

[0080] 一般式(2)において、 $|a_3|$ はトンネルバリア層3の基本ベクトルの大きさ(単位格子の大きさ)、すなわち格子定数であり、 $|a_2|$ は第2強磁性金属層2の基本ベクトルの大きさ(単位格子の大きさ)、すなわち格子定数である。 n は正整数又は $1/\text{正整数}$ である。 n の値として、 $n \times |a_2|$ の値が $|a_3|$ に最も近くなる値が選定される。

[0081] 第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の格子整合度は、10以内となることが好ましく、5以内となることがより好ましい。また $n=1$ であることが好ましい。 $n=1$ であれば、単位格子 U_2 と単位格子 U_3 との頂点の位置が1対1で対応する。

[0082] 次いで、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 45° 傾いて整合している場合について説明する。

[0083] 図6は、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 45° 傾いて整合している場合を模式的に示した斜視図である。理解を容易にするために、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとを離して図示している。またトンネルバリア層3を構成する結晶の単位格子 U_3 と第2強磁性金属層2を構成する結晶の単位格子 U_2 を拡大して図示している。

[0084] トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 45° 傾いて整合しているということは

、以下の2つの条件を満たす。

[0085] 第1の条件は、結晶面3Aを構成する基本ベクトル a_3 、 b_3 の向きと、結晶面2Aを構成する基本ベクトル a_2 、 b_2 の向きと、積層方向を軸に 45° 傾いていることである。言い換えると、結晶面3Aを構成する基本ベクトル c_3 の向きと、結晶面2Aを構成する基本ベクトル c_2 の向きと、が一致しており、結晶面3Aを構成する基本ベクトル a_3 と、結晶面2Aを構成する基本ベクトル a_2 と、のなす角度が 45° である。

[0086] 第2の条件は、結晶面3Aを構成する基本ベクトル a_3 、 b_3 の大きさが、結晶面2Aを構成する基本ベクトル a_2 、 b_2 の大きさに $2^{1/2}$ を乗じた値の正整数倍又は $1/\text{正整数倍}$ である（又は基本ベクトル a_2 、 b_2 の大きさに $2^{1/2}$ を乗じた値の正整数倍又は $1/\text{正整数倍}$ に近似できる）ことである。すなわち、 $|a_3| = n |2^{1/2} \cdot a_2|$ （ n は正整数又は $1/\text{正整数}$ である） $\dots$ （3）を満たすことである。なお、単位格子の基本ベクトルの大きさは等しいため、一般式（3）を満たせば、 $|b_3| = n |2^{1/2} \cdot b_2|$ を満たす。

[0087] 第1の条件を満たすと、結晶面3Aを構成する単位格子面に対し、結晶面2Aを構成する単位格子面が積層方向を軸に 45° 回転する。すなわち、図7に示すように、結晶面2Aを構成する単位格子面の対角線の向きと、結晶面3Aを構成する単位格子面の辺の向きが一致する。図7は、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aとが、 45° 傾いて整合している場合を模式的に示した平面図（結晶面3Aと結晶面2Aとの結晶界面の模式図）である。図5の実線がトンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aであり、点線が第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面2Aである。

[0088] その結果、図6に示すように、第2強磁性金属層2の立方晶の単位格子 U_2 上に、トンネルバリア層3の立方晶の単位格子 U_3 が積層方向を軸に 45° 傾いて積層される（以下、 $R45$ （ $R o t a t i o n \ 45^\circ$ ）と言うことがある。）。

[0089] また第2の条件を満たすと、図7に示すように、磁気抵抗効果素子10の

積層方向から見て単位格子 U_2 の対角線方向の頂点の位置と単位格子 U_3 の辺方向の頂点の位置が、少なくとも数周期に1回揃う。

[0090] 上述のように、立方晶の結晶構造において単位格子の頂点の位置には、原子が配置される。そのため、単位格子 U_2 と単位格子 U_3 との頂点の位置が少なくとも数周期に1回揃うと、積層方向から見て第2強磁性金属層2の原子とトンネルバリア層3の原子が重畳する位置に配設される。そのため、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の結晶界面において、積層方向に重畳する位置同士の原子が接続し、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3が格子歪を生じることなく整合する。

[0091] ここまで、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の結晶界面において、第2強磁性金属層2の単位格子 U_2 とトンネルバリア層3の単位格子 U_3 とがC o n Cで積層している場合、R 4 5で積層している場合について説明した。しかしながら、図4及び図6に示す結晶界面の描像は、あるミクロな一点を模式化したものである。そのため、よりマクロな視点では、結晶界面のある部分はC o n Cで積層し、別の部分はR 4 5で積層している場合もある。すなわち、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3の結晶界面において、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在していてもよい。

[0092] トンネルバリア層3を構成する具体的な材料に対して、 Fe_2CoSi からなる第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3がとりうる好ましい結晶界面の積層状態について説明する。

[0093] トンネルバリア層3が MgO 、 $MgAl_2O_4$ 、 $\gamma-Al_2O_3$ 、 $ZnAl_2O_4$ またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成される場合、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3はR 4 5の関係を満たすことが好ましい。この関係を満たすことで、格子整合度が10%以内となる。

[0094] また、トンネルバリア層が $MgGa_2O_4$ 、 $ZnGa_2O_4$ 、 $CdAl_2O_4$ またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成されている場合、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3はC o n Cの関係を満たしても、R 4 5の関係

を満たしても、これらが混在した関係を満たしてもよい。この関係を満たすことで、格子整合度が10%以内となる。

また、トンネルバリア層が $ZnGa_2O_4$ 、 $CdAl_2O_4$ またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成され、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3がConCの関係を満たす場合は、格子整合度が5%以内となり、特に好ましい。

[0095] さらに、トンネルバリア層が $CdGa_2O_4$ により構成されている場合、第2強磁性金属層2とトンネルバリア層3はConCの関係を満たすことが好ましい。この関係を満たすことで、格子整合度が10%以内となる。

[0096] 上述のように、本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子10は、トンネルバリア層3と軟磁性材料を含む第1強磁性金属層1又は第2強磁性金属層2との結晶界面の少なくとも一部において、ConC、R45、又はこれらが混在した状態で、単位格子が積層している。そのため、格子整合度が小さくなり、磁気抵抗効果素子10内の格子歪が小さくなる。その結果、軟磁性材料である Fe_2CoSi を含み、高いMR比を有する磁気抵抗効果素子10が得られる。

[0097] このような効果を得るためには、透過型電子顕微鏡（TEM）像から得られた第1強磁性金属層1、第2強磁性金属層2、及びトンネルバリア層3の格子像が、積層方向において連続的に繋がっている部分が1本以上あればよい。詳細には、まず、第1強磁性金属層1、第2強磁性金属層2、及びトンネルバリア層3をTEMにより撮影し、得られたTEM像に対しフーリエ変換と逆フーリエ変換とを施すことによって、積層方向のみの情報を取り出した像とする。第1強磁性金属層1、第2強磁性金属層2、及びトンネルバリア層3の格子像が積層方向において連続的に繋がっている部分において、ConC及びR45のいずれか一方又は両方の関係が満たされている。このような部分ではコヒーレントトンネルが生じるので、このような部分が1本以上あることにより、大きなMR比を得ることができる。なお、トンネルバリア層3と第1強磁性金属層1又は第2強磁性金属層2との結晶界面の少なく

とも90%以上（面積率、または上述の格子像において積層方向に連続的に繋がっている部分の割合）において、トンネルバリア層3を構成する結晶の結晶面3Aと、第1強磁性金属層1又は第2強磁性金属層2を構成する結晶の結晶面とが、C o n C、R 4 5、又はこれらが混在した状態で整合していることが好ましい。また、上記結晶界面全体において、結晶面同士がC o n C、R 4 5、又はこれらが混在した状態で整合していることがより好ましい。

[0098] （素子の形状、寸法）

磁気抵抗効果素子10を構成する第1強磁性金属層1、トンネルバリア層3及び第2強磁性金属層2からなる積層体は柱状の形状である。積層体を平面視した形状は、円形、四角形、三角形、多角形等の種々の形状をとることができるが、対称性の面から円形であることが好ましい。すなわち、積層体は円柱状であることが好ましい。

[0099] 積層体が円柱状である場合、平面視の直径が80nm以下であることが好ましく、60nm以下であることがより好ましく、30nm以下であることがさらに好ましい。直径が80nm以下であると、強磁性金属層中にドメイン構造ができにくくなり、強磁性金属層におけるスピン分極と異なる成分を考慮する必要が無くなる。さらに、30nm以下であると、強磁性金属層中に単一ドメイン構造となり、磁化反転速度や確率が改善する。また、小型化された磁気抵抗効果素子において、特に低抵抗化の要望が強い。

[0100] （使用時の構成）

図8は、本発明の一態様に係る磁気抵抗効果素子を備える磁気抵抗効果デバイスの断面模式図である。また図9は、磁気抵抗効果デバイスを積層方向から平面視した模式図である。磁気抵抗効果デバイス20は、図1に示すキャップ層5の第2強磁性金属層2と反対側の面には、電極層12が形成されている。下地層4は導電性を有し、電極層12と交差して配設されている。下地層4と電極層12の間には、電源13と電圧計14が設けられている。下地層4と電源13及び下地層4と電圧計14はコンタクト電極15を介し

て接続されている。電源 1 3 により下地層 4 と電極層 1 2 に電圧を印加することにより、第 1 強磁性金属層 1、トンネルバリア層 3 及び第 2 強磁性金属層 2 からなる積層体の積層方向に電流が流れる。この際の印加電圧は電圧計 1 4 でモニターされる。

[0101] (評価方法)

磁気抵抗効果素子の評価方法について、図 8 と図 9 を例に説明する。上述のように、図 9 に示すように電源 1 3 と電圧計 1 4 を配置し、一定の電流、あるいは、一定の電圧を磁気抵抗効果素子に印可する。電圧、あるいは電流を外部から磁場を掃引しながら測定することによって、磁気抵抗効果素子の抵抗変化が観測される。

[0102] MR 比は、一般的に以下の式で表される。

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

R_P は第 1 強磁性金属層 1 と第 2 強磁性金属層 2 の磁化の向きが平行の場合の抵抗であり、 R_{AP} は第 1 強磁性金属層 1 と第 2 強磁性金属層 2 の磁化の向きが反平行の場合の抵抗である。

[0103] このように、本実施形態を用いた磁気抵抗効果素子は磁気センサや MRAM などのメモリとして使用することが可能である。

[0104] (製造方法)

磁気抵抗効果素子 10 を構成する下地層 4、第 1 強磁性金属層 1、トンネルバリア層 3、第 2 強磁性金属層 2 およびキャップ層 5 は、例えば、マグネトロンスパッタ装置を用いて形成される。

[0105] 下地層 4 は公知の方法で作製することができる。例えば、スパッタガスとして Ar と窒素とを含む混合ガスを用いた反応性スパッタ法により作製することができる。第 1 強磁性金属層 1 は公知の方法で作成できる。例えば、下地層 4 上にスパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE 法等の薄膜作製法により作製することができる。

[0106] トンネルバリア層 3 は公知の方法で作製することができる。例えば、第 1 強磁性金属層 1 上に金属薄膜をスパッタし、プラズマ酸化あるいは酸素導入

による自然酸化を行い、その後の熱処理によって形成される。成膜法としてはマグネトロンスパッタ法のほか、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE法など通常の薄膜作製法を用いることもできる。

[0107] ついで、トンネルバリア層3上にFe₂CoSiからなる第2強磁性金属層2を成膜する。成膜法としてはマグネトロンスパッタ法のほか、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE法など通常の薄膜作製法を用いることもできる。

[0108] この際、トンネルバリア層3と第2強磁性金属層2の接合界面をR45の整合状態にする場合は、第2強磁性金属層2の成膜時の温度を少なくとも300度以上で行う。また、接合界面をCo_nCの整合状態にする場合も、第2強磁性金属層2の成膜時の温度を少なくとも300度以上で行う。さらに、接合界面をR45とCo_nCの混在状態にする場合は、第2強磁性金属層2の成膜時の温度を少なくとも300度未満で行う。成膜時の温度を調整することによって、それぞれの接合状態を変えることが可能である。

[0109] 得られた第2強磁性金属層2上にキャップ層5を公知の方法で作製する。そして、下地層4、第1強磁性金属層1、トンネルバリア層3、第2強磁性金属層2およびキャップ層5が順に積層された積層膜が得られる。

[0110] 得られた積層膜は、アニール処理することが好ましい。反応性スパッタで形成した層は、アモルファスであり結晶化する必要がある。例えば、強磁性金属層としてCo-Fe-Bを用いる場合は、Bの一部がアニール処理により抜けて結晶化する。

[0111] アニール処理して製造した磁気抵抗効果素子10は、アニール処理しないで製造した磁気抵抗効果素子10と比較して、MR比が向上する。これは、アニール処理によって、下地層4が部分的に結晶化し、これによりトンネルバリア層3の結晶サイズの均一性および配向性が向上するためであると考えられる。

[0112] アニール処理としては、Arなどの不活性雰囲気中で、300℃以上500℃以下の温度で、5分以上100分以下の時間加熱した後、2kOe以上

10 kOe以下（159 kA/m以上796 kA/m以下）の磁場を印加した状態で、100℃以上500℃以下の温度で、1時間以上10時間以下の時間加熱することが好ましい。

実施例

[0113] （格子整合度）

第2強磁性金属層として機能する Fe_2CoSi と、トンネルバリア層として機能する MgO 、 MgAl_2O_4 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 ZnAl_2O_4 、 MgGa_2O_4 、 ZnGa_2O_4 、 CdAl_2O_4 及び CdGa_2O_4 の格子定数を求め、 CoO で整合した場合と、 R45 で整合した場合の格子整合度を求めた。求めた結果を表1に示す。

[0114] Fe_2CoSi 及びトンネルバリア層の格子定数は4軸X線回折装置を用いて評価を行った。格子定数の評価において、後述する実施例の第2強磁性金属層及びトンネルバリア層の膜厚では格子定数を決定することが困難である。

[0115] そのため、予備的測定として、格子定数を求めるために熱酸化膜付きSi基板上にトンネルバリア層（厚み100 nm）を形成した基板を用いた。熱酸化膜付きSi基板は表面がアモルファスの SiO_x であり、トンネルバリア層を形成する際の影響を受けにくい。また、トンネルバリア層（厚み100 nm）は基板による格子歪みの影響が十分緩和される膜厚であり、十分な構造解析のためのX線強度を得ることができる膜厚である。

[0116] 実施例で得られる膜厚は予備的測定と完全には一致しないが、同等の値を示し、予備的測定から求めた格子定数を実施例で得られた格子定数と見なすことができる。トンネルバリア層は MgO の場合は岩塩型構造、その他の材料の場合はスケネル構造として格子定数を求めた。

[0117]

[表1]

第2強磁性金属層	トンネルバリア層	格子整合度	
		接合状態:CoC	接合状態:R45
Fe ₂ CoSi	MgO	49.42	5.66
	MgAl ₂ O ₄	13.32	2.71
	r-Al ₂ O ₃	19.45	1.62
	ZnAl ₂ O ₄	14.06	2.19
	MgGa ₂ O ₄	6.19	7.76
	ZnGa ₂ O ₄	4.38	9.03
	ZnIn ₂ O ₄	16.71	23.95
	CdAl ₂ O ₄	3.67	9.54
	CdGa ₂ O ₄	5.55	16.06

[0118] 次いで、実際に磁気抵抗効果素子を作製し、磁気抵抗効果素子のMR比を測定した。実際のMR比の測定は、上記のトンネルバリア層と結晶界面の整合状態の組合せのうち一部について行った。

[0119] (実施例1)

熱酸化珪素膜が設けられた基板上に、マグネトロンスパッタ法を用いた成膜により、磁気抵抗効果素子の各層を作製した。

まず、下地層として、Ta (5 nm) / Ru (3 nm) を成膜した。その後、下地層上に第1強磁性金属層として、IrMn (12 nm) / CoFe (10 nm) / Ru (0.8 nm) / CoFe (7 nm) を順に積層した。

[0120] 次いで、第1強磁性金属層上に、トンネルバリア層としてMgO、第2強磁性金属層としてFe₂CoSiを積層した。トンネルバリア層の厚みは表2に記載の厚み(Å)とし、Fe₂CoSiの厚みは、3 nmとした。トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態(接合状態)はR45であった。尚、整合状態がR45であったことは、トンネルバリア層と第2強磁性金属層のそれぞれの格子定数の値と、TEM像から得られたトンネルバリア層と第2強磁性金属層の格子像が積層方向において連続的に繋がっていた部分があ

ったことから確認された。トンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をR45とするために、成膜時の基板の温度を350度として成膜を行った。

[0121] さらに、第2強磁性金属層上に、キャップ層としてRu (3 nm) / Ta (5 nm) を形成し積層体を得た。得られた積層体をアニール装置に設置し、Ar中で450℃の温度で10分処理した後、8 kOeを印加した状態で280℃の温度で6時間処理した。

[0122] 次に、図8、9に示す構成の素子を作製した。まず、キャップ層5の上に、電極層12を形成した。次いで、電極層12の90度回転した向きになるように電子線描画を用いてフォトレジストの形成を行った。イオンミリング法によってフォトレジスト下以外の部分を削り取り、基板である熱酸化珪素膜を露出させ、下地層4の形状を形成した。さらに、下地層4の形状の括れた部分に、電子線描画を用いて80 nmの円柱状になる様にフォトレジストを形成し、イオンミリング法によってフォトレジスト下以外の部分を削り取り、下地層4を露出させた。その後、SiO_xを絶縁層としてイオンミリングによって削られた部分に形成した。80 nmの円柱状のフォトレジストはここで除去した。図6、7のコンタクト電極15の部分だけ、フォトレジストが形成されないようにし、イオンミリング法によって絶縁層を除去し、下地層4を露出させた。その後、Auを形成し、コンタクト電極15を形成した。

[0123] (比較例1)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層との関係をConCとしたこと以外は実施例1と同様にした。成膜時の基板の温度を250度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をエピタキシャル成長しない状態とした。エピタキシャル成長しない状態とはトンネルバリア層と第2強磁性金属層の界面がそろっていない状態であり、結晶界面がR45、ConC、及びR45とConCの混在状態のいずれの状態でもない。すなわち、結晶界面において、第2強磁性金属層はトンネルバリア層に

対して決まった方位を持っていない多結晶の状態である。これは、トンネルバリア層上に第2強磁性金属層が成膜される際に、第2強磁性金属層が十分な熱エネルギーが与えられなかったためトンネルバリア層上で結晶方位の再構成が出来なかったためと理解することができる。このように、比較例1では、トンネルバリア層と第2強磁性金属層との結晶界面において結晶面同士を整合させず、トンネルバリア層の単位格子と第2強磁性金属層の単位格子との関係をC o n Cとなるようにした。

[0124] (参考例1)

第2強磁性金属層をF eとしたこと以外は実施例1と同様にした。F eの格子定数は、4. 053であり、整合状態がR 4 5で格子整合度は3. 9であった。

[0125] (実施例2)

トンネルバリア層をM g A l ₂ O ₄としたこと以外は、実施例1と同様に磁気抵抗効果素子を作製した。成膜時の基板の温度を380度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をR 4 5とした。

[0126] (比較例2)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態をC o n Cとしたこと以外は実施例2と同様にした。成膜時の基板の温度を280度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をC o n Cとした。

[0127] (実施例3)

トンネルバリア層をZ n G a ₂ O ₄としたこと以外は、実施例1と同様に磁気抵抗効果素子を作製した。成膜時の基板の温度を280度として成膜した後、360度に昇温し、30分保持した後、高温したことによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をR 4 5とした。

[0128] (実施例4)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態をC o n Cとしたこと以

外は実施例3と同様にした。成膜時の基板の温度を360度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をConCとした。

[0129] (実施例5)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態をConCとR45の混在状態としたこと以外は実施例3と同様にした。成膜時の基板の温度を280度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をConCとR45の混在状態とした。整合状態がConCとR45の混在状態の場合、混在しているConCとR45の割合によって格子整合度は変化する。そのため、具体的な格子整合度は算出しなかった。

[0130] (実施例6)

トンネルバリア層を MgGa_2O_4 と ZnGa_2O_4 の混晶である $\text{Mg}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Ga}_2\text{O}_4$ としたこと以外は、実施例1と同様に磁気抵抗効果素子を作製した。成膜時の基板の温度を280度として成膜した後、365度に昇温し、30分保持した後、高温したことによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をR45とした。

[0131] (実施例7)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態をConCとしたこと以外は実施例6と同様にした。成膜時の基板の温度を365度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をConCとした。

[0132] (実施例8)

トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態をConCとR45の混在状態としたこと以外は実施例6と同様にした。成膜時の基板の温度を280度として成膜することによりトンネルバリア層と第2強磁性金属層の間の整合状態をConCとR45の混在状態とした。

[0133] 実施例1～8、比較例1及び2、参考例1において、トンネルバリア層と第2強磁性金属層の整合状態が、R45、ConC、又はこれらの混在状態

のいずれに該当するかは、電子線回折測定によって確認した。

[0134] なお、電子線回折測定だけでなく、X線回折測定でも確認することができる。電子線回折測定の場合は膜厚の全ての回折パターンを同時に観測するため、R 4 5、C o n C、又はこれらの混在状態を回折パターンのシミュレーション結果と比較することで容易に確認することができる。X線回折測定の場合も同様であるが、シミュレーション結果に基づいた比較をするためには多くの測定時間が必要である。また、積層方向から観測する場合、表面に近い層は強度が強くなり、表面から遠い層は強度が弱くなるため、評価が見誤る可能性がある。しかしながら、X線回折測定の場合は格子歪みによる格子定数の変化も検出できるという利点がある。

[0135] 上述の評価方法に準じて、得られた磁気抵抗効果素子の面積抵抗値（R A）及びMR比を測定した。MR比はバイアス電圧1 Vを印加した場合のMR比である。そして、測定されたMR比と格子整合度の関係を表2に示す。

[0136] なお、R Aは、印加されるバイアス電圧を磁気抵抗効果素子の積層方向に流れた電流で割ることで得られる抵抗値を、各層が接合される面の面積で割り、単位面積における抵抗値に規格化したものであり、単位は $\Omega \cdot \mu m^2$ である。印加するバイアス電圧及び磁気抵抗効果素子の積層方向に流れる電流値を電圧計及び電流計で計測し、求めることができる。

[0137]

[表2]

	トンネルバリア層	強磁性層	接合状態	格子整合度	RA	MR比	トンネルバリア層厚
実施例1	MgO	Fe ₂ CoSi	R45	5.7	0.62	26.4	8.5
比較例1		Fe ₂ CoSi	ConC	49.4	0.72	14.3	8.5
参考例1		Fe	R45	3.9	0.59	27.1	8.5
実施例2	MgAl ₂ O ₄	Fe ₂ CoSi	R45	2.7	0.8	98.2	7.5
比較例2		Fe ₂ CoSi	ConC	13.3	1.05	10.4	7.5
実施例3	ZnGa ₂ O ₄	Fe ₂ CoSi	R45	9.0	0.72	23.4	9
実施例4		Fe ₂ CoSi	ConC	4.4	0.65	41.8	9
実施例5		Fe ₂ CoSi	R45+ConC	-	0.62	53.2	9
実施例6	Mg _{0.5} Zn _{0.5} Ga ₂ O ₄	Fe ₂ CoSi	R45	5.0	0.6	57.4	8.5
実施例7		Fe ₂ CoSi	ConC	5.3	0.6	54.4	8.5
実施例8		Fe ₂ CoSi	R45+ConC	-	0.6	68.3	8.5

[0138] 実施例1と比較例1を比較すると、トンネルバリア層が MgO の場合、R45で Fe_2CoSi と整合することで格子整合度が小さくなり（すなわち、格子整合性が高まり）、MR比が高くなっている。そのMR比は、強磁性層に Fe を用いた場合（参考例1）と同等である。また、実施例2及び比較例2に示すように、トンネルバリア層が MgAl_2O_4 の場合も同様の傾向が確認された。

[0139] 一方、トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 の場合、R45（実施例3）、 Co_2O_3 （実施例4）、及びこれらの混在状態（実施例5）のいずれにおいても格子整合度が10%以下であり、高いMR比を実現できている。また、トンネルバリア層が混晶の場合でも同様の結果が確認された。

[0140] すなわち、上記表1において格子整合度が10%以下であれば高いMR比を実現することができ、格子整合度が5%以下であれば非常に高いMR比を実現することができることが分かる。

産業上の利用可能性

[0141] 本発明の磁気抵抗効果素子は高いMR比を有するので、磁気センサ、高周波部品、磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセスメモリに好適である。

符号の説明

[0142] 1…第1強磁性金属層、2…第2強磁性金属層、2A…結晶面、3…トンネルバリア層、3A…結晶面、4…下地層、5…キャップ層、10…磁気抵抗効果素子、11…基板、12…電極層、13…電源、14…電圧計、15…コンタクト電極、20…磁気抵抗効果デバイス、 U_2 、 U_3 …単位格子

請求の範囲

- [請求項1] 第1強磁性金属層と、第2強磁性金属層と、前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層との間に設けられたトンネルバリア層とを有し、
- 前記トンネルバリア層は立方晶の結晶構造を有し、
- 前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層は、 Fe_2CoSi で表される立方晶の結晶構造を有する材料により構成され、
- 前記トンネルバリア層と前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層との結晶界面の少なくとも一部において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 又は 45° 傾いて整合している、磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 前記トンネルバリア層が MgO 、 MgAl_2O_4 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 ZnAl_2O_4 またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成され、
- 前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 前記トンネルバリア層が MgO により構成されている、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 前記トンネルバリア層が MgAl_2O_4 により構成されている、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 前記トンネルバリア層が $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ により構成されている、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項6] 前記トンネルバリア層が ZnAl_2O_4 により構成されている、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項7] 前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 、 ZnGa_2O_4 、 CdAl_2O_4 またはこれらの混晶材料のいずれかにより構成されている、請求

項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項8]

前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第 1 強磁性金属層又は前記第 2 強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項9]

前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第 1 強磁性金属層又は前記第 2 強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項10]

前記トンネルバリア層が MgGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第 1 強磁性金属層又は前記第 2 強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在している請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項11]

前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第 1 強磁性金属層又は前記第 2 強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項12]

前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第 1 強磁性金属層又は前記第 2 強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している請求項 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項13]

前記トンネルバリア層が ZnGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結

晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在している請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項14]

前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 45° 傾いて整合している請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項15]

前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項16]

前記トンネルバリア層が CdAl_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している部分と 45° 傾いて整合している部分とが混在している請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項17]

前記トンネルバリア層が CdGa_2O_4 により構成され、

前記結晶界面において、前記トンネルバリア層を構成する結晶の結晶面と、前記第1強磁性金属層又は前記第2強磁性金属層を構成する結晶の結晶面とが、 0° 傾いて整合している請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項18]

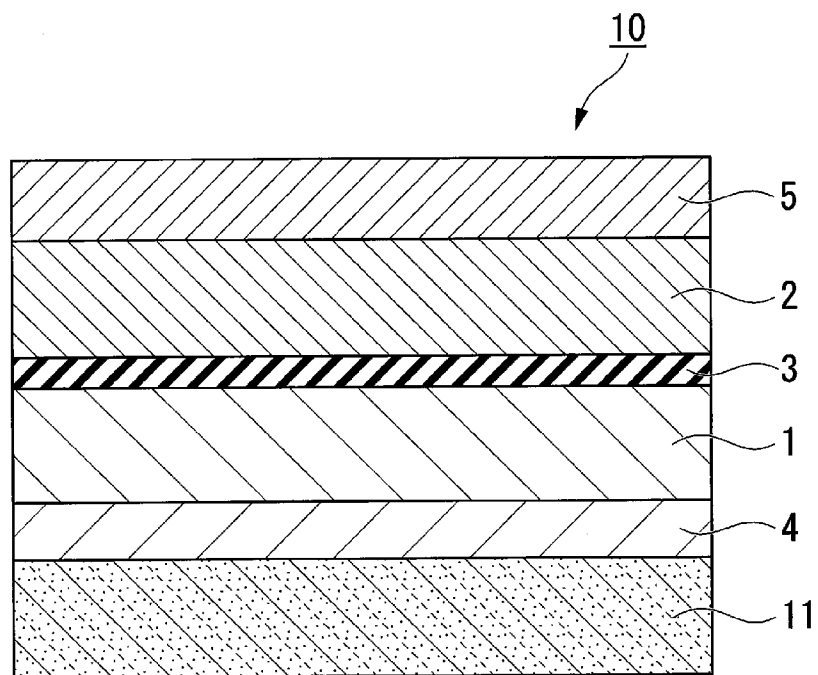
前記第1強磁性金属層と前記第2強磁性金属層の少なくとも一方が、前記結晶界面に対して垂直な磁気異方性を有している請求項1～17のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項19]

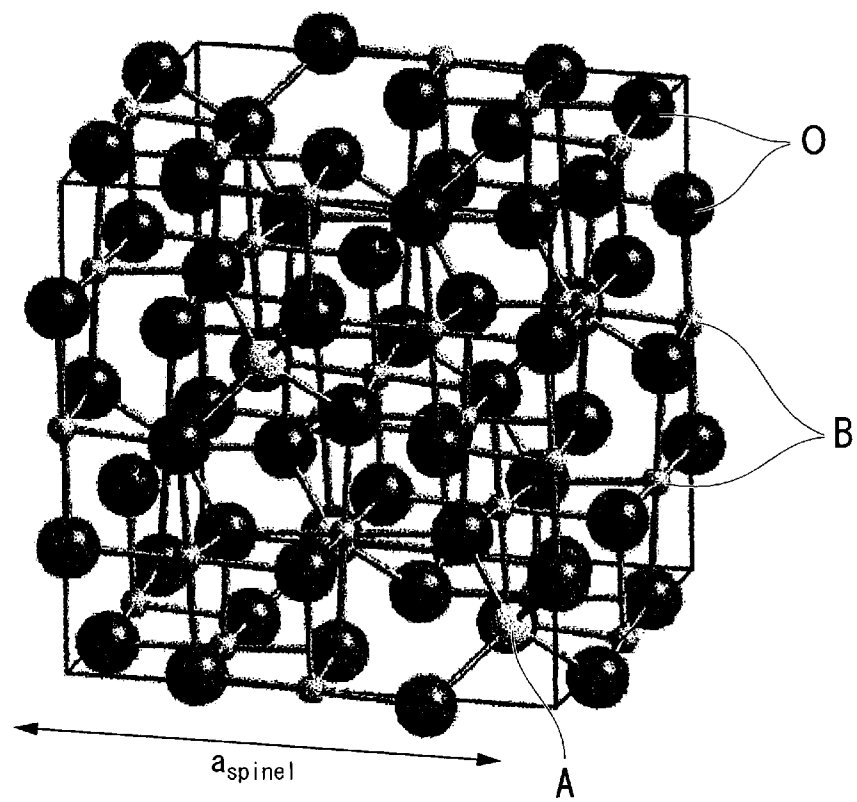
請求項1～18のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子を用いた磁気センサ。

[請求項20] 請求項1～18のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリ。

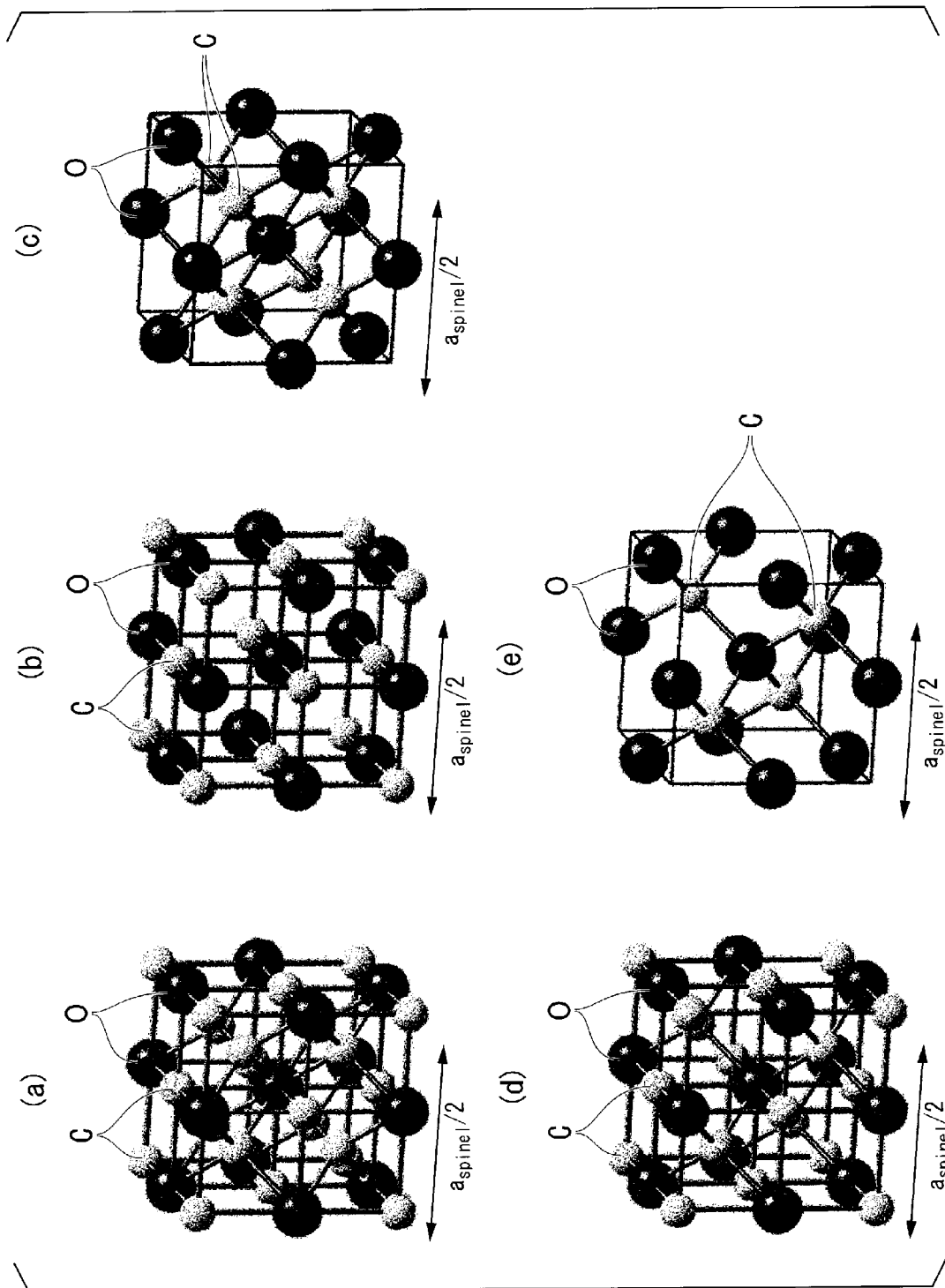
[図1]



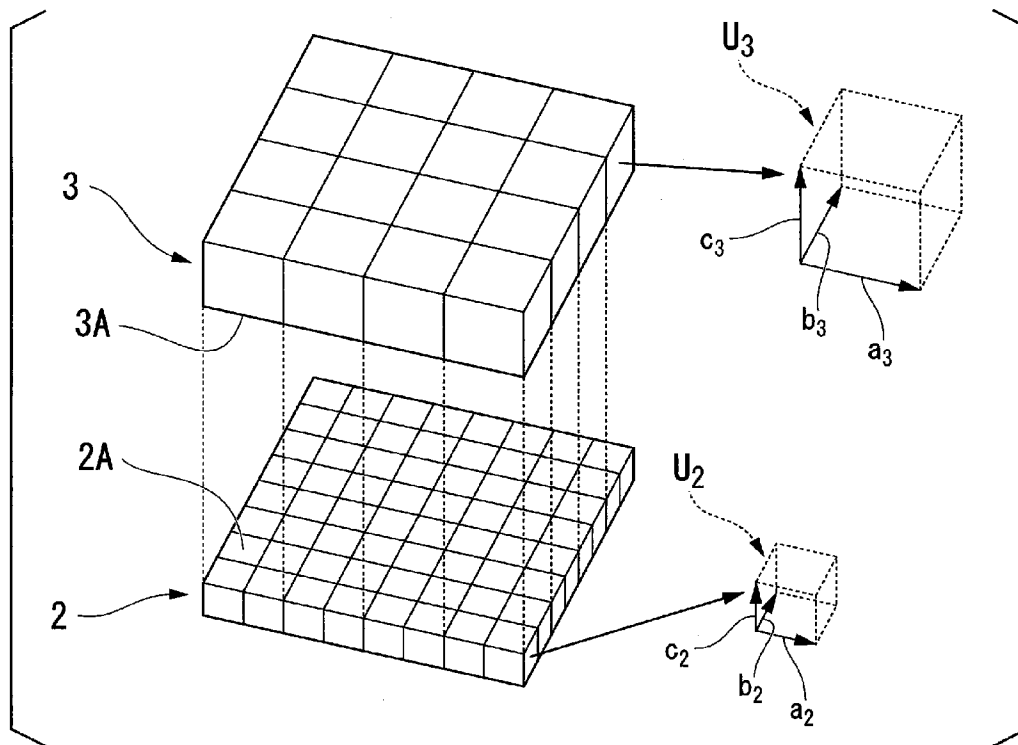
[図2]



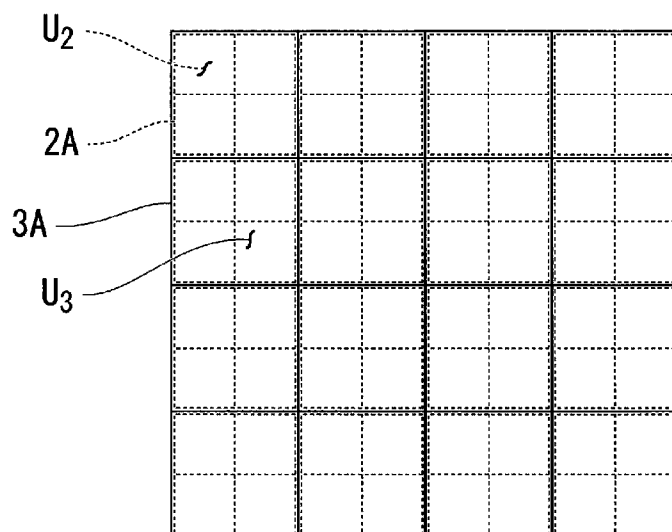
[図3]



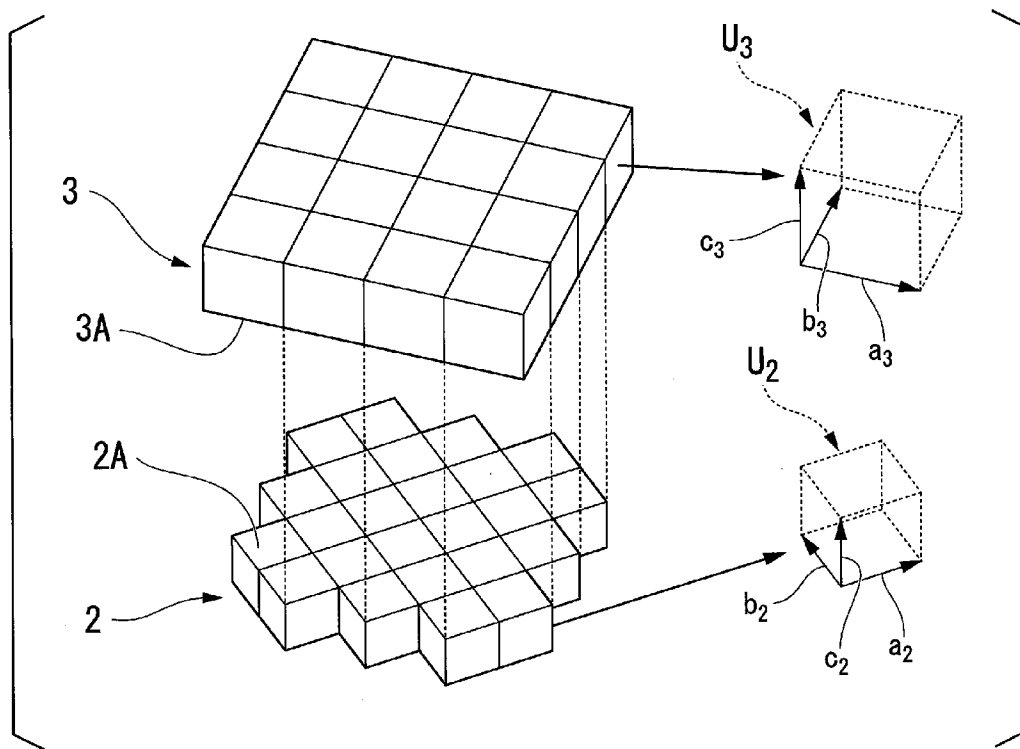
[図4]



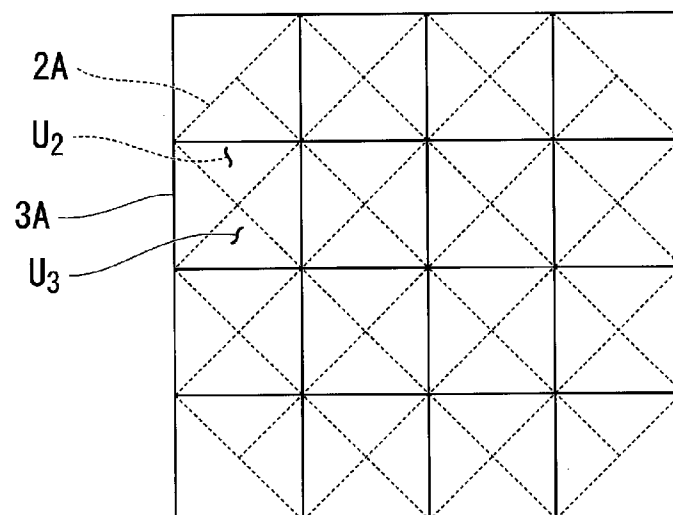
[図5]



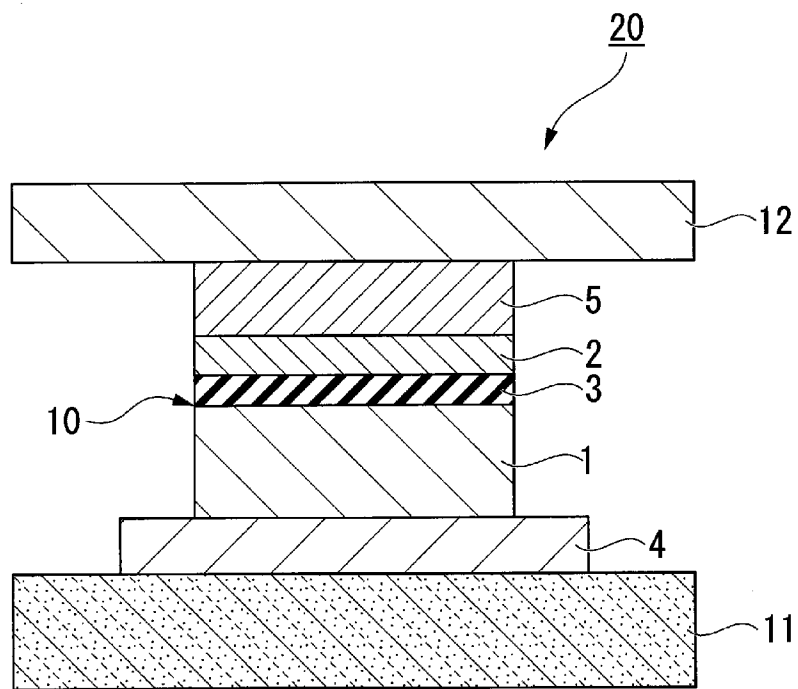
[図6]



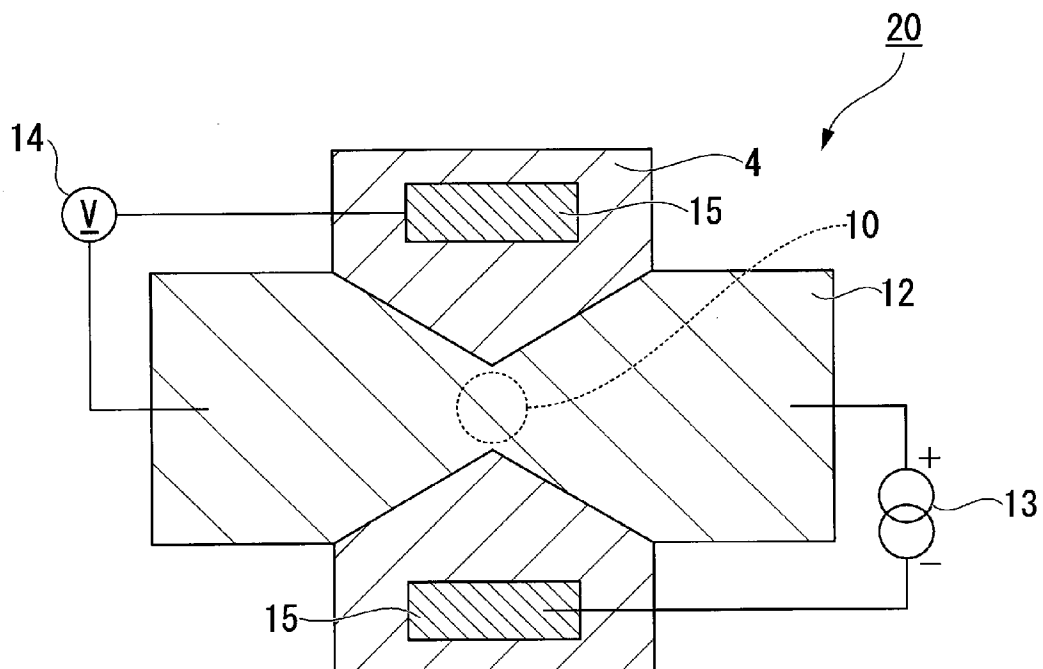
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/031567

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/10(2006.01)i, G01R33/09(2006.01)i, H01F10/30(2006.01)i,
H01L21/8239(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)

H01L43/10, G01R33/09, H01F10/30, H01L21/8239, 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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	WO 2015/136969 A1 (Toshiba Corp.), 17 September 2015 (17.09.2015), paragraphs [0012], [0033], [0047], [0078]; fig. 1 to 18 & US 2016/0380186 A1 paragraphs [0028], [0052], [0068], [0103]; fig. 1 to 18	1-20
A	WO 2015/016061 A1 (Toshiba Corp.), 05 February 2015 (05.02.2015), paragraphs [0012], [0015], [0025], [0074], [0100]; fig. 1 to 27 & US 2016/0148975 A1 paragraphs [0044], [0047], [0057], [0108], [0135]; fig. 1 to 27	1-20

☒ 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
02 November 2017 (02.11.17)

Date of mailing of the international search report
14 November 2017 (14.11.17)

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/JP2017/031567

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-90870 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 11 May 2015 (11.05.2015), paragraphs [0019] to [0021]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-20
A	JP 2014-107496 A (TDK Corp.), 09 June 2014 (09.06.2014), paragraphs [0011], [0019]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1-20
A	CHRISTIAN STERWERF et al., High TMR ratio in Co ₂ FeSi and Fe ₂ CoSi based magnetic tunnel junctions, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.49, No.7, 2013.08.09, p.4386-4389	1-20
P,A	WO 2016/158926 A1 (TDK Corp.), 06 October 2016 (06.10.2016), paragraphs [0025], [0035], [0037], [0052]; fig. 1 to 16 (Family: none)	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L43/10(2006.01)i, G01R33/09(2006.01)i, H01F10/30(2006.01)i, H01L21/8239(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（IPC））

Int.Cl. H01L43/10, G01R33/09, H01F10/30, H01L21/8239, 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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	WO 2015/136969 A1（株式会社東芝） 2015.09.17, 段落 0012, 0033, 0047, 0078, 図 1-18 & US 2016/0380186 A1, 段落 0028, 0052, 0068, 0103, 図 1-18	1-20
A	WO 2015/016061 A1（株式会社東芝） 2015.02.05, 段落 0012, 0015, 0025, 0074, 0100, 図 1-27 & US 2016/0148975 A1, 段落 0044, 0047, 0057, 0108, 0135, 図 1-27	1-20

☑ 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

02.11.2017

国際調査報告の発送日

14.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小山 満

5 F

9458

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

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
A	JP 2015-90870 A (独立行政法人物質・材料研究機構) 2015.05.11, 段落 0019-0021, 図 1-5 (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2014-107496 A (TDK株式会社) 2014.06.09, 段落 0011, 0019, 図 1-8 (ファミリーなし)	1-20
A	CHRISTIAN STERWERF et al., High TMR ratio in Co ₂ FeSi and Fe ₂ CoSi based magnetic tunnel junctions, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, No. 7, 2013.08.09, p. 4386-4389	1-20
P, A	WO 2016/158926 A1 (TDK株式会社) 2016.10.06, 段落 0025, 0035, 0037, 0052, 図 1-16 (ファミリーなし)	1-20