

(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
2022年10月20日(20.10.2022)



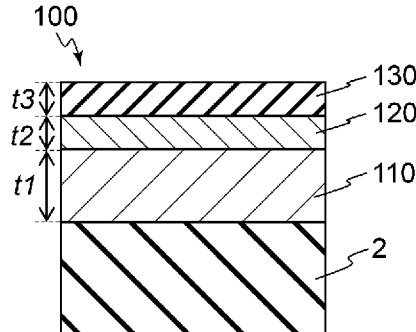
(10) 国際公開番号

WO 2022/220251 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) H01L 21/8239 (2006.01)
H01L 43/10 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/017647
- (22) 国際出願日: 2022年4月12日(12.04.2022)
- (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:
63/173,579 2021年4月12日(12.04.2021) US
- (71) 出願人: 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中 ▲ 辻 ▼ 知 (NAKATSUJI Satoru); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
肥後 友也 (HIGO Tomoya); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人ドライト国際特許事務所 (DORAIT IP LAW FIRM); 〒1600023 東京都新宿区西新宿六丁目15番1号 ラ・トゥール新宿4 1 1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,

(54) Title: MAGNETIC MEMORY ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁気メモリ素子



(57) Abstract: A magnetic memory element (100) is provided with: an antiferromagnetic layer (110) that is laminated on a substrate (2) and comprises a canted antiferromagnetic body having a magnetic order with a canted magnetic moment; a heavy metal layer (120) that is laminated on the antiferromagnetic layer (110) and comprises a non-magnetic heavy metal exhibiting a spin Hall effect; and, an oxide layer (130) on the heavy metal layer (120). The roughness of the interface between the antiferromagnetic layer (110) and the heavy metal layer (120) is 1.0 nm or less. When a write current flows in the in-plane direction to the heavy metal layer (120), a spin current is generated, and, by the spin orbit torque generated by the spin current acting on the magnetic order of the antiferromagnetic layer (110), the magnetic order can be inverted.

(57) 要約: 磁気メモリ素子(100)は、基板(2)上に積層され、磁気モーメントがキャントした磁気秩序を有するキャントした反強磁性体からなる反強磁性層(110)と、反強磁性層(110)上に積層され、スピンホール効果を示す非磁性重金属からなる重金属層(120)と、重金属層(120)上の酸化物層(130)とを備える。反強磁性層(110)と重金属層(120)との界面のラフネスは1.0nm以下である。重金属層(120)に対して面内方向に書き込み電流が流れるとスピン流が発生し、スピン流によって生じたスピン軌道トルクが反強磁性層(110)の磁気秩序に働くことによって磁気秩序が反転可能である。

HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, 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,
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：磁気メモリ素子

技術分野

[0001] 本発明は、磁気メモリ素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、磁化の向きを“0”と“1”の情報として記憶できる強磁性体を用いた磁気抵抗メモリが、不揮発性メモリの代表例として注目を集めている。最近では、書き込み手法としてスピン流を用いた磁化反転現象が見出され、汎用化されつつある。特に、強磁性体と非磁性重金属（タングステン（W）、白金（Pt）など）からなる多層膜に電流を流すことで起こる磁化反転現象は、スピン軌道トルク磁化反転と呼ばれ、次世代技術として盛んに研究されている。

[0003] また、磁気抵抗メモリのさらなる高速化のため、強磁性体から反強磁性体への代替が検討されている（例えば、非特許文献1参照）。その理由は、反強磁性体はスピンの応答速度が強磁性体に比べて2～3桁速いTHz帯（ピコ（ 10^{-12} ）秒）であり、磁性体間の相互作用が小さいため、磁気抵抗メモリをはじめとする磁気デバイスをさらに高速化、高集積化できる可能性があるからである。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：H. Tsai, T. Higo, K. Kondou, T. Nomoto, A. Sakai, A. Kobayashi, T. Nakano, K. Yakushiji, R. Arita, S. Miwa, Y. Otani, S. Nakatsuji, “Electrical manipulation of a topological antiferromagnetic state,” Nature, volume 580, pages 608–613 (2020)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 反強磁性体を用いた磁気メモリ素子は、強磁性体と同様に電氣的に情報の

書き込みや読み出しが可能であることが実証されている一方で、読み出し信号が小さいことが応用上の課題となっている。

[0006] 本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、反強磁性体を用いた磁気メモリ素子において読み出し信号を増強させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明に係る磁気メモリ素子は、磁気モーメントがキャントした磁気秩序を有するキャントした反強磁性体からなる反強磁性層と、反強磁性層に接触し、キャントした反強磁性体とは異なる物質からなる接触層と、を備える。反強磁性層と接触層との界面のラフネスは1.0 nm以下であり、接触層にスピン流が流れると、スピン流によって生じるトルクが反強磁性層の磁気秩序に働き、磁気秩序が反転可能である。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、反強磁性層と接触層との界面のラフネスを1.0 nm以下とすることにより、界面が平滑化され、接触層から界面を介して反強磁性層に注入されるスピン流を増大させるとともに、反強磁性層の磁気特性を最適に保つことができるため、磁気メモリ素子の読み出し信号を増強させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]従来の磁気メモリ素子の断面図である。

[図2A]本発明の実施形態に係る磁気メモリ素子の断面図である。

[図2B]本実施形態の変形例に係る磁気メモリ素子の断面図である。

[図3]Mn₃Snの結晶構造及び磁気構造を表す模式図である。

[図4A]ホールバー構造の磁気メモリ素子の構成を示す模式図である。

[図4B]図4Aの磁気メモリ素子における書き込み動作を説明するための模式図である。

[図4C]図4Aの磁気メモリ素子における読み出し動作を説明するための模式図である。

[図5A]従来のRu/Mn₃Sn/W膜についてホール電圧の垂直磁場依存性を

示すグラフである。

[図5B]本実施形態の Mn_3Sn/W 膜についてホール電圧の垂直磁場依存性を示すグラフである。

[図5C] $Ru/Mn_3Sn/W$ 膜についてホール電圧の書き込み電流依存性を示すグラフである。

[図5D] Mn_3Sn/W 膜についてホール電圧の書き込み電流依存性を示すグラフである。

[図6] Mn_3Sn/W 膜についてホール電圧変化の読み出し電流依存性を示すグラフである。

[図7] Mn_3Sn/W 膜の原子間力顕微鏡 (AFM) 画像である。

[図8]異なるアニーリング温度 T_A で作製された本実施形態の $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜のX線回折パターンを示すグラフである。

[図9]異なるアニーリング温度 T_A で作製された $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜のAFM画像である。

[図10] $T_A = 500^\circ C$ で作製された $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜の断面の透過型電子顕微鏡 (TEM) 画像である。

[図11]異なるアニーリング温度 T_A で作製された $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜の異常ホール伝導度の磁場依存性を示すグラフである。

[図12] $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜と $Ta/Mn_3Sn/Al_2O_3$ 膜のそれぞれについて磁気秩序の反転割合の書き込み電流依存性を示すグラフである。

。

[図13]SOT-MRAMの磁気メモリ素子の構成を示す模式図である。

[図14]STT-MRAMの磁気メモリ素子の構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下の実施形態では、図面全体を通して、同一又は同様の構成要素には同一の符号を付している。図面は模式的なものであり、平面寸法と厚さとの関係、及び各部材の厚さの比率は現実のものとは異なる。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勿論である。

- [0011] 本実施形態では、多層膜を構成する各層の材料によって多層膜を表記することがある。例えば、材料 a の層の上に、材料 b の層、材料 c の層が順に積層されている場合、この多層膜を「材料 a / 材料 b / 材料 c」と表記する。また、各層の厚み (nm) を材料名の後に括弧付きで記載することがある。例えば、厚みが t_i (nm) で材料 j からなる層を「材料 j (t_i)」と表記する。
- [0012] まず、図 1 を参照して、反強磁性体を用いた従来の磁気メモリ素子 1 (非特許文献 1 参照) の構成を説明する。磁気メモリ素子 1 は、基板 2 と、基板 2 上の金属層 10 と、金属層 10 上の反強磁性層 11 と、反強磁性層 11 上の重金属層 12 と、重金属層 12 上の酸化物層 13 とを備える。
- [0013] 基板 2 は、Si / SiO₂ などの絶縁体からなる。金属層 10 は、ルテニウム (Ru) などの金属からなる。反強磁性層 11 は、Mn₃Sn などの反強磁性体からなる。重金属層 12 は、タンタル (Ta)、タングステン (W)、白金 (Pt) などの非磁性重金属からなる。酸化物層 13 は、酸化防止のためのキャップ層であり、酸化アルミニウム (AlO_x)、酸化マグネシウム (MgO) などの金属酸化物からなる。
- [0014] ここで、金属層 10、反強磁性層 11、重金属層 12、酸化物層 13 の厚み (nm) を、それぞれ、 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 と表記する。例えば、磁気メモリ素子 1 は、Ru (t_0) / Mn₃Sn (t_1) / W (t_2) / AlO_x (t_3) = Ru (2) / Mn₃Sn (40) / W (5) / AlO_x (5) の多層膜で構成される。
- [0015] 磁気メモリ素子 1 は、例えば、基板 2 上に Ru 層 (金属層 10) 及び Mn₃Sn 層 (反強磁性層 11) を室温で成膜後、所定温度 (例えば 450℃) で所定時間 (例えば 30 分間) アニールし、その後、室温で重金属層 12 及び酸化物層 13 を積層することで作製される。
- [0016] 従来の磁気メモリ素子 1 において、基板 2 と Mn₃Sn 層との間に Ru 層を設けている理由は、Ru 層を設けずに Mn₃Sn 層の成膜後にアニールすると

、 Mn_3Sn 層が結晶化し、 Mn_3Sn 層と重金属層12との界面が粗くなってしまい、デバイスとしての駆動が困難になるからである。

[0017] 磁気メモリ素子1の重金属層12に面内方向の書き込み電流を流すと、スピホール効果により、スピン軌道トルク(SOT)が反強磁性層11の磁気秩序に働くことによって、磁気秩序の方向を反転させることができる。

[0018] 次に、本実施形態に係る磁気メモリ素子を説明する。本実施形態に係る磁気メモリ素子は、従来の磁気メモリ素子1とは異なり、後述のように、Ru層を設けず、改良された熱処理プロセスによって作製される。

[0019] 図2Aに示すように、本実施形態に係る磁気メモリ素子100は、基板2と、基板2上に積層された反強磁性体からなる反強磁性層110と、反強磁性層110上に積層された非磁性重金属の薄膜である重金属層120と、重金属層120上の酸化物層130とを備える。あるいは、図2Bに示す磁気メモリ素子102を採用してもよい。磁気メモリ素子102は、基板2上に、重金属層120、反強磁性層110、酸化物層130の順で積層されている。

[0020] なお、本実施形態では、主に、反強磁性層110に接触する接触層が重金属層120である例を挙げるが、他の金属若しくは金属酸化物、又はトポロジカル絶縁体などのカルコゲナイド物質からなる接触層を採用してもよい。反強磁性層110の少なくとも片面に、接触層が設けられていれば、本実施形態は適用可能である。

[0021] 次に、図3を参照して、反強磁性層110を構成する反強磁性体の一例として、 Mn_3Sn の特性について説明する。

[0022] Mn_3Sn は、三角形をベースとしたカゴメ格子と呼ばれる結晶構造をとる反強磁性体であり、図3に示すように、カゴメ格子が $[0001]$ 方向に積層した構造を有する。カゴメ格子の頂点に位置するマンガン(Mn)は、幾何学的フラストレーションにより、420K以下の温度で、磁気モーメント(局在スピンの向き)が互いに120度傾いた非共線的な(non-collinear)磁気構造を示す。二層のカゴメ格子に配置された3種類の6つのスピンの

ユニットは、六角形で示されるクラスター磁気八極子と呼ばれるスピン秩序を形成している。この非共線的な磁気構造は、クラスター磁気八極子の強磁性秩序（図3の中央部の太い矢印）とみなすことができる。この強磁性秩序は時間反転対称性を巨視的に破っている。

- [0023] クラスター磁気八極子が、トポロジカルな電子構造であるワイル点 (Weyl points) や運動量空間における仮想磁場（実空間換算で100~1000テスラ (T) に相当）の向きと対応しており、クラスター磁気八極子の向きによってワイル点と仮想磁場に由来した応答を制御することができる。
- [0024] 図3に示すような磁気構造は斜方晶の対称性を有し、三角形の頂点に位置するMnの3つの磁気モーメントのうちの1つのみが磁化容易軸に平行となる。他の2つの磁気モーメントが磁化容易軸に対してキャントしていることから、弱い強磁性モーメントを誘起すると考えられる。このように、磁気モーメントがキャントして微小な磁化を有する反強磁性体は、キャントした反強磁性体 (canted antiferromagnet) と呼ばれる。
- [0025] Mn_3Sn の結晶配向は、磁気メモリ素子の読み出し信号の増強に重要な役割を果たしている。例えば、異常ホール効果の測定では、クラスター磁気八極子の磁気秩序が面直方向（基板2の表面に垂直）の成分を有する結晶粒のみがホール電圧に寄与する。しかしながら、従来の磁気メモリ素子1（図1）のようにRu層（金属層10）を挿入すると、Ru層に近い Mn_3Sn のカゴメ面がほぼ面内方向（基板2の表面に平行）に揃ってしまい、ホール電圧への寄与が小さくなる。また、Ru層に電流が流れることも読み出し電圧の減少の原因となる。そこで、本実施形態では、図2A及び図2Bに示すように、磁気メモリ素子100及び102はRu層を設けず、 Mn_3Sn 層がより大きなホール電圧を示す結晶配向を有するようにした。
- [0026] ここで、Ru層を設けない場合、上述のように、 Mn_3Sn 層（反強磁性層110）の成膜後にアニールして重金属層120を堆積すると、 Mn_3Sn 層が結晶化し、 Mn_3Sn 層と重金属層120との界面が粗くなってしまう。そこで、本実施形態では、 Mn_3Sn 層の成膜直後にはアニールせず、多層膜を

全層成膜した後でアニールすることにした。

[0027] 本実施形態に係る磁気メモリ素子100の作製方法について、Si/SiO₂基板上にMn₃Sn/W/AIO_xを形成する場合と、Mn₃Sn/Ta/AIO_xを形成する場合とを例に挙げて説明する。

[0028] Mn₃Sn/W/AIO_xの場合、Si/SiO₂基板上に、5×10⁻⁷Pa未満のベース圧力のDCマグネトロンスパッタリング装置を用いて室温でMn₃Sn層を堆積する。そして、ベース圧力が2×10⁻⁸Pa未満の超高真空下で分子線エピタキシー(MBE)装置によって室温でW層を堆積する。なお、W層の成膜はDCマグネトロンスパッタリング装置を用いて行うこともできる。次に、5×10⁻⁷Pa未満のベース圧力のRFマグネトロンスパッタリング装置を用いて室温でAIO_x層を堆積する。全ての層を、真空を破らずに堆積する。Mn₃Sn/W/AIO_xの作製後、所定温度(例えば450℃)で所定時間(例えば30分間)アニールすることで、磁気メモリ素子100が作製される。

[0029] Mn₃Sn/Ta/AIO_xの場合、Si/SiO₂基板上に、5×10⁻⁷Pa未満のベース圧力のDCマグネトロンスパッタリング装置を用いてMn₃Sn層とTa層を堆積し、RFマグネトロンスパッタリング装置を用いてAIO_x層を堆積する。全ての層を、真空を破らずに、室温で堆積する。Mn₃Sn/Ta/AIO_xの成膜後、所定温度(例えば500℃)で所定時間(例えば30分)アニールすることで、磁気メモリ素子100が作製される。

[0030] このように、本実施形態に係る磁気メモリ素子100は、反強磁性層110を含む多層膜を全層成膜した後で反強磁性層110の結晶化温度以上の温度でアニールすることで作製される。図2Bに示す磁気メモリ素子102も同様の方法で作製される。

[0031] 改良された熱処理プロセスによって磁気メモリ素子100及び102を作製することによって、Ru層を設けなくても、反強磁性層110と反強磁性層110に接触する接触層との界面が平滑化され、読み出し信号の増強が期待できる。

- [0032] 以下では、特に断りのない限り、図2Aに示す磁気メモリ素子100を対象とするが、以下の説明は、図2Bに示す磁気メモリ素子102についても適用される。
- [0033] 次に、図4A～図4Cを参照して、磁気メモリ素子100の異常ホール効果、書き込み動作及び読み出し動作について説明する。
- [0034] 図4Aに、ホールバー構造の磁気メモリ素子100の構成を示す。磁気メモリ素子100の試料は、所定のサイズ（例えば、 $16\mu\text{m}\times 96\mu\text{m}$ ）に作製される。試料の長手方向（x方向）の両端部には、Au/Tiからなる電極152及び154が配置され、短手方向（y方向）にはAu/Tiからなる電極162及び164が配置されている。電極152と電極154との間に書き込み電流 I_{write} 又は読み出し電流 I_{read} が流れ、電極162と電極164との間でホール電圧 V_H が検出される。なお、図4Aでは、基板2及び酸化物層130を省略している。
- [0035] 磁気メモリ素子100に情報を書き込むとき、図4Bに示すように、重金属層120に書き込み電流 I_{write} （パルス電流）を長手方向（x方向）に流す。これにより、スピホール効果によって面直方向（z方向）にスピン流が発生し、SOTが反強磁性層110の磁気秩序に働くことによって、磁気秩序が反転される。このとき、x方向に弱いバイアス磁場 H_x を印加することで、反強磁性層110の磁気秩序がバイアス磁場 H_x の影響を受け、磁気秩序の旋回方向が定まる。
- [0036] このようにして、反強磁性層110に情報（“0”又は“1”）を書き込むことができる。書き込み電流 I_{write} の向きによって、反強磁性層110の磁気秩序の方向を制御することができる。例えば、+x方向の書き込み電流 I_{write} を流すと、磁気秩序は+z方向（“1”）から-z方向（“0”）に反転し、-x方向の書き込み電流 I_{write} を流すと、磁気秩序は-z方向（“0”）から+z方向（“1”）に反転する。
- [0037] 反強磁性層110に記憶された情報を読み出すときは、図4Cに示すように、反強磁性層110に読み出し電流 I_{read} （直流）をx方向に流す。これに

より、異常ホール効果によってy方向にホール電圧 V_H が生じる。ホール電圧 V_H の符号は、反強磁性層110の磁気秩序のz方向の成分によって決まる。例えば、反強磁性層110の磁気秩序が+z方向を向いているときは“1”に対応し、-z方向を向いているときは“0”に対応する。このように、反強磁性層110の磁気秩序の方向によって記憶した情報は、読み出し電流 I_{read} を流すことでホール電圧 V_H として読み出すことができる。

[0038] 次に、図5A～図5D及び図6を参照して、従来の磁気メモリ素子1と本実施形態の磁気メモリ素子100の異常ホール効果の測定結果を説明する。ここで、測定に用いた磁気メモリ素子1の多層膜はRu(2)/Mn₃Sn(40)/W(5)であり、磁気メモリ素子100の多層膜はMn₃Sn(40)/W(5)である。

[0039] 図5A及び図5Bに、Ru/Mn₃Sn/W膜及びMn₃Sn/W膜のそれぞれに対し、垂直磁場H_z(面直方向の磁場)下で0.2mAの読み出し電流 I_{read} を印加したときの垂直磁場H_zに対するホール電圧 V_H の変化を示す。図5A及び図5Bに示すように、両方の試料において、ホール電圧 V_H の明らかなヒステリシスが観測されている。また、Mn₃Sn/W膜におけるゼロ磁場でのホール電圧 V_H の差(ホール電圧変化) ΔV_H^{field} は約140 μ Vであり、Ru/Mn₃Sn/W膜のホール電圧変化よりも約1.6倍大きいことがわかる。

[0040] 図5C及び図5Dに、Ru/Mn₃Sn/W膜及びMn₃Sn/W膜のそれぞれについて、電流方向(x方向)に $\mu_0 H_x = 0.1$ Tのバイアス磁場を印加したときの、室温での書き込み電流 I_{write} に対するホール電圧 V_H の変化を示す。この場合も、ホール電圧 V_H を測定するために、書き込み電流 I_{write} を印加した後に0.2mAの読み出し電流 I_{read} を印加している。

[0041] 図5Cより、Ru/Mn₃Sn/W膜では、書き込み電流 I_{write} を印加した際に約25 μ Vのホール電圧変化 $\Delta V_H^{current}$ が生じていることがわかる。この振る舞いは、磁気メモリ素子1に書き込み電流 I_{write} を流すことでW層に生じるスピンの流が、Mn₃Snのクラスター磁気八極子と仮想磁場に由来したホール電

圧 V_H を反転させている（スピン軌道トルクにより反転させている）ことを示している。ここで、図5A及び図5Cより、Ru/Mn₃Sn/W膜における比 $\Delta V_H^{\text{current}}/\Delta V_H^{\text{field}}$ は約0.29である。

[0042] Mn₃Sn/W膜では、図5Dより、書き込み電流 I_{write} を印加した際に約70 μ Vのホール電圧変化 $\Delta V_H^{\text{current}}$ が生じており、Ru/Mn₃Sn/W膜よりも読み出し信号の値が約3倍大きいことがわかる。また、図5B及び図5Dより、Mn₃Sn/W膜における比 $\Delta V_H^{\text{current}}/\Delta V_H^{\text{field}}$ は約0.5となることから、Ru/Mn₃Sn/W膜よりも、磁気秩序が反転する割合が増大（約29%から約50%へ増大）していることがわかる。このように、Mn₃Sn/W膜では、Ru/Mn₃Sn/W膜よりも大きな読み出し信号（ホール電圧）を電氣的に制御することが可能である。

[0043] （ホール電圧 V_H ）＝（読み出し電流 I_{read} ）×（ホール抵抗 R_H ）であり、ホール電圧 V_H は読み出し電流 I_{read} に比例して大きくなる。Mn₃Sn/W膜では、図6に示すように、書き込み電流 I_{write} の10分の1の約3mAの読み出し電流 I_{read} を流すことで、1mVのホール電圧 V_H が磁気メモリ素子100の温度上昇の影響なく取り出せることがわかった。

[0044] Mn₃Sn層とW層との界面状態を調べるため、原子間力顕微鏡（AFM）による測定を行った。AFM測定で得られるMn₃Sn/W膜の表面状態は、Mn₃Sn層とW層との界面状態を反映している。図7に、ホールバー構造のMn₃Sn（40）/W（5）膜のAFM画像を示す。AFM画像の二乗平均平方根（RMS）ラフネスは式（1）のように定義される。

[数1]

$$\text{RMS} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_i (x_i - x_M)^2} \quad \dots (1)$$

ここで、 N はAFM画像の画素数、 x_i は i 番目の画素の高さ、 x_M は平均の高さである。図7のAFM画像より、Mn₃Sn/W膜のRMSラフネスは約0.5nmとなり、従来のRu/Mn₃Sn/W膜よりも一桁小さい値となっ

た。このことは、 Mn_3Sn 層と W 層との界面が平滑になったことを示唆している。

[0045] 以上のことから、 Mn_3Sn/W 多層膜の磁気メモリ素子100における読み出し信号の増大は、(i) Ru 層の除去により、 Mn_3Sn 層の結晶粒が読み出し信号を大きくする面直方向に配列したこと、(ii) 多層膜の全層成膜後にアニールすることで、 Mn_3Sn 層と W 層との界面のラフネスが1.0 nm以下となり界面が平滑になったことが主な要因であると考えられる。

[0046] 次に、図8～図12を参照して、本実施形態に係る磁気メモリ素子100又は102の重金属層120が Ta からなる場合の各種の測定(X線回折、RMSラフネス、異常ホール効果)の結果を説明する。

[0047] <X線回折>

上述のように、磁気メモリ素子100は、多層膜の全層成膜後にアニールすることで作製される。図8に、異なるアニール温度 T_A (400°C、500°C、600°C、650°C、700°C)で基板(Si/SiO_2)上に作製された $Mn_3Sn(40)/Ta(5)/Al_2O_3$ 膜のX線回折パターンを示す。

[0048] 図8より、 $400^\circ C \leq T_A \leq 650^\circ C$ のとき、X線回折パターンの全ピークは Mn_3Sn 又は基板(Si/SiO_2)に起因しており、 Mn_3Sn 層と Ta 層との反応が無視できるほど小さく、 Mn_3Sn 層が単相であることを示唆している。一方、 $T_A=700^\circ C$ では、 29° 付近にピークが現れているが、 Mn_3Sn の結晶配向とは無関係であることがわかる。この角度で大きなピークを有する化合物($Mn-Ta$ 、 $Sn-Ta$ 、又は $Mn-Ta-Sn$)は見出されていない。

[0049] <RMSラフネス>

図9に、異なるアニール温度 T_A (400°C、500°C、600°C、650°C、700°C)で作製された $Mn_3Sn(40)/Ta(5)/Al_2O_3$ 膜のAFM画像((a)～(e))を示す。図9より、 $400^\circ C \leq T_A \leq 650^\circ C$ (画像(a)～(d))のとき、RMSラフネスは、 T_A の上昇とともに

約0.4 nmから約0.6 nmまでわずかに増加していることがわかる。一方、 $T_A = 700^\circ\text{C}$ （画像（e））では、RMSラフネスが約1.4 nmまで急激に上昇している。これは、 Mn_3Sn 層とTa層との反応によって膜の構造が変形されたことを示唆している。

[0050] 図10に、 $T_A = 500^\circ\text{C}$ で作製された $\text{Mn}_3\text{Sn} (40) / \text{Ta} (5) / \text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の断面の透過型電子顕微鏡（TEM）画像を示す。図10において、層間の境界は白線で示している。TEM画像より、膜の表面のRMSラフネスは約0.6 nmとなる一方で、 Mn_3Sn 層とTa層との界面のRMSラフネスは約0.5 nmとなり、図9のAFM測定（画像（b））から得られた結果とほぼ一致することがわかる。

[0051] <異常ホール効果>

図11に、異なるアニーリング温度 T_A （ 400°C 、 500°C 、 600°C 、 650°C 、 700°C ）で作製された $\text{Mn}_3\text{Sn} (40) / \text{Ta} (5) / \text{Al}_2\text{O}_3 (3)$ 膜の異常ホール伝導度 $\sigma_{yx} = -\rho_H / \rho^2$ （ S / cm ）の磁場依存性（グラフA～E）を示す。ここで、 ρ_H は $\text{Mn}_3\text{Sn} (40) / \text{Ta} (5)$ 層のホール抵抗率（ $=V_H \cdot (t_1 + t_2)$ ）、 ρ は $\text{Mn}_3\text{Sn} (40) / \text{Ta} (5)$ 層の抵抗率である。グラフA～Eに示す全ての膜は、 300K で有限のヒステリシスが現れている。特に、 $T_A = 500^\circ\text{C}$ （グラフB）では、ゼロ磁場（ $H = 0$ ）、 300K での σ_{yx} は $18\text{S} / \text{cm}$ と最大値をとっている。一方、 $T_A = 700^\circ\text{C}$ （グラフE）では、ゼロ磁場、 300K での σ_{yx} は急激に下がり、 $6\text{S} / \text{cm}$ となっていることがわかる。

[0052] 図4Aに示すホールバー構造の磁気メモリ素子100の $\text{Mn}_3\text{Sn} / \text{Ta} / \text{Al}_2\text{O}_3$ 膜に対し、x方向に書き込み電流 I_{write} （ 100ms のパルス電流）と $\mu_0 H_x = 0.1\text{T}$ のバイアス磁場を印加し、その後に 0.2mA の読み出し電流 I_{read} （ 500ms のパルス電流）を印加することでホール電圧 V_H を測定する。また、 $\text{Mn}_3\text{Sn} / \text{Ta} / \text{Al}_2\text{O}_3$ 膜における垂直磁場 H_z 下でのホール電圧 V_H^{field} も測定し、 Mn_3Sn 層の全磁区の磁気秩序が反転したときのホール電圧 V_H の変化を表す $\Delta V_H^{\text{field}}$ を得る。

[0053] 図12に、 $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜について、書き込み電流 I_{write} に対する比 $V_H/|\Delta V_H^{field}|$ の変化を実線で示す。また、図12には、図2Bに示す磁気メモリ素子102の $Ta(5)/Mn_3Sn(40)/Al_2O_3(3)$ 膜についても、書き込み電流 I_{write} に対する比 $V_H/|\Delta V_H^{field}|$ の変化を点線で示している。この $Ta/Mn_3Sn/Al_2O_3$ 膜は、全層成膜後に500℃でアニールして作製されたものである。

[0054] 書き込み電流 I_{write} を正から負に掃引するときのホール電圧 V_H ($I_{write}=+0$)と、書き込み電流 I_{write} を負から正へ掃引するときのホール電圧 V_H ($I_{write}=-0$)との差を $\Delta V_H^{current}$ と表記する。比 $\Delta V_H^{current}/|\Delta V_H^{field}|$ は、反転可能な全磁区に対して実際に反転した磁区の割合（反転割合）を示している。

[0055] 図12より、 $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜及び $Ta/Mn_3Sn/Al_2O_3$ 膜は、極性が逆であり、互いに逆方向のSOTが働いていることがわかる。また、双方の膜の反転割合は約40%にも達していることがわかる。なお、 $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜での0.2mAの読み出し電流 I_{read} を印加したときのホール電圧 V_H の差 $\Delta V_H^{current}$ は約70 μV であり、従来の磁気メモリ素子1 ($Ru/Mn_3Sn/W$ 膜)のホール電圧変化 $\Delta V_H^{current}\sim 25\mu V$ よりも約3倍大きい。

[0056] 以上のことから、 $Mn_3Sn/Ta/Al_2O_3$ 膜において大きな読み出し信号を得るためには、 Mn_3Sn 層と Ta 層との反応が小さく、 Mn_3Sn 層と Ta 層との界面のラフネスが小さい方が好ましい。具体的には、界面のラフネスは、1.0nm以下であることが好ましく、0.6nm以下がより好ましい。このように、界面のラフネスを小さくして平滑化することで、界面を介して Mn_3Sn 層に注入されるスピン流を増大させるとともに、 Mn_3Sn 層の読み出し信号を増強させることが可能となる。

[0057] 本実施形態に係る磁気メモリ素子は、磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) 素子として機能させることができる。以下、図13及び図14を参照して、MRAMの磁気メモリ素子を説明する。

- [0058] 図13に、SOT-MRAMの磁気メモリ素子200の構成を示す。磁気メモリ素子200は、磁気抵抗素子210と、重金属層220と、第1端子231と、第2端子232と、第3端子233と、トランジスタTr1及びTr2とを備える。
- [0059] 重金属層220は、スピホール効果を示す非磁性重金属（W、Taなど）、又はトポロジカル絶縁体などのカルコゲナイド物質からなる。磁気抵抗素子210は、重金属層220に接触し磁気秩序が反転可能な自由層212と、自由層212上の非磁性層214と、非磁性層214に接触し磁気秩序が面直方向に固定された参照層216とを備える。
- [0060] 自由層212は、図2A及び図2Bの反強磁性層110と同様に、キャントした反強磁性体からなる薄膜である。非磁性層214は絶縁体（例えばMgO）からなる。参照層216は強磁性体（例えばCoFeB）からなる。磁気抵抗素子210は磁気トンネル接合（MTJ）素子として機能する。
- [0061] 第1端子231、第2端子232、及び第3端子233は金属からなる。参照層216に第1端子231が接続され、重金属層220の一端部に第2端子232が接続され、重金属層220の他端部に第3端子233が接続されている。第1端子231はグランド線240に接続されている。グランド線240はグランド電圧に設定されている。なお、グランド線240をグランド電圧以外の基準電圧に設定してもよい。
- [0062] トランジスタTr1及びTr2は、例えば、N-channel metal oxide semiconductor（NMOS）トランジスタである。第2端子232はトランジスタTr1のドレインに接続され、第3端子233はトランジスタTr2のドレインに接続されている。トランジスタTr1及びTr2のゲートはワード線WLに接続されている。トランジスタTr1のソースは第1ビット線BL1に接続され、トランジスタTr2のソースは第2ビット線BL2に接続されている。
- [0063] 図2A及び図2Bの磁気メモリ素子100及び102と同様に、図13の磁気メモリ素子200は、重金属層220、磁気抵抗素子210などからなる

る多層膜を全層成膜後、所定温度でアニールして作製される。自由層212と重金属層220との界面のラフネスは、1.0nm以下が好ましく、0.6nm以下がより好ましい。

[0064] 磁気抵抗素子210には、抵抗状態に応じて“0”及び“1”のデータが割り当てられる。例えば、参照層216の磁気秩序と自由層212の磁気秩序が同じ向きするとき（平行状態）、磁気抵抗素子210は低抵抗状態にあり、互いに逆向きするとき（反平行状態）、磁気抵抗素子210は高抵抗状態にあることから、前者のデータを“0”、後者のデータを“1”と判別することができる。

[0065] 磁気抵抗素子210にデータを書き込むとき、書き込み電流 I_{write} の方向に弱いバイアス磁場を印加し、ワード線WLをハイレベルに設定してトランジスタ T_{r1} 及び T_{r2} をオンとし、第1ビット線BL1及び第2ビット線BL2の一方をハイレベルに設定し、他方をローレベルに設定する。これにより、第1ビット線BL1と第2ビット線BL2との間で重金属層220の面内方向に書き込み電流 I_{write} が流れることでスピンの発生し、SOTによって自由層212の磁気秩序が反転可能となり、データを書き込むことができる。書き込み電流 I_{write} の向きによって書き込むデータを変えることができる。

[0066] 磁気抵抗素子210に記憶されたデータを読み出すときは、ワード線WLをハイレベルに設定してトランジスタ T_{r1} 及び T_{r2} をオンとし、一方のビット線（第2ビット線BL2）をハイレベルに設定し、他方のビット線（第1ビット線BL1）を開放状態とする。これにより、ハイレベルの第2ビット線BL2から、第3端子233、重金属層220、自由層212、非磁性層214、参照層216、第1端子231、及びグランド線240へと読み出し電流 I_{read} が流れる。磁気抵抗効果によって読み出し電流 I_{read} の大きさを計測することで、磁気抵抗素子210の抵抗状態、すなわち、記憶されたデータを判別することができる。

[0067] 上述のように、自由層212と重金属層220との界面を平滑にすることにより、磁気メモリ素子200の読み出し信号を増強させることができる。

- [0068] 図14に、スピントランスファトルク (STT) を用いて磁気秩序を反転させるMRAM (STT-MRAM) の磁気メモリ素子300の構成を示す。磁気メモリ素子300は、磁気抵抗素子310と、第1端子321と、第2端子322と、トランジスタTrとを備える。
- [0069] 磁気抵抗素子310は、磁気秩序が面直方向に固定された参照層316と、参照層316上の非磁性層314と、非磁性層314に接触し磁気秩序が反転可能な自由層312とを備える。
- [0070] 自由層312は、図2A及び図2Bの反強磁性層110と同様に、キャントした反強磁性体からなる薄膜である。非磁性層314は絶縁体 (例えばMgO) からなる。参照層316は強磁性体 (例えばCoFeB) からなる。磁気抵抗素子310もMTJ素子として機能する。
- [0071] 第1端子321及び第2端子322は金属からなる。自由層312は第1端子321に接続され、参照層316は第2端子322に接続されている。第1端子321はビット線BLに接続され、第2端子322はトランジスタTrに接続されている。
- [0072] トランジスタTrは、例えば、NMOSTランジスタである。トランジスタTrのドレインに第2端子322が接続され、ソースにソース線SLが接続され、ゲートにワード線WLが接続されている。
- [0073] 図2A及び図2Bの磁気メモリ素子100及び102と同様に、図14の磁気メモリ素子300は、磁気抵抗素子310、第1端子321などからなる多層膜を全層成膜後、所定温度でアニールして作製される。自由層312と非磁性層314との界面のラフネス、自由層312と第1端子321との界面のラフネスは、1.0nm以下が好ましく、0.6nm以下がより好ましい。
- [0074] 図13の磁気抵抗素子210と同様に、磁気抵抗素子310には、抵抗状態に応じて“0”及び“1”のデータが割り当てられる。
- [0075] 磁気抵抗素子310にデータを書き込むとき、ワード線WLをハイレベルに設定してトランジスタTrをオンとし、ビット線BLとソース線SLとの

間に面直方向の書き込み電流 I_{write} を流す。これにより、STTによって自由層312の磁気秩序が反転可能となり、データを書き込むことができる。書き込み電流 I_{write} の向きによって書き込むデータを変えることができる。

[0076] 磁気抵抗素子310に記憶されたデータを読み出すときは、ワード線WLをハイレベルに設定してトランジスタTrをオンとし、ビット線BLとソース線SLとの間に読み出し電流 I_{read} を流す。磁気抵抗効果によって読み出し電流 I_{read} の大きさを計測することで、磁気抵抗素子310の抵抗状態、すなわち、記憶されたデータを判別することができる。

[0077] 上述のように、自由層312と接触層（非磁性層314、第1端子321）との界面を平滑にすることにより、磁気メモリ素子300の読み出し信号を増強させることができる。

[0078] なお、図13及び図14では、磁気抵抗素子210及び310がMTJ素子である例を示したが、巨大磁気抵抗効果（GMR）素子として機能させることもできる。この場合、非磁性層214及び314は金属（導体）からなる。

[0079] 本発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内において種々の変形が可能である。

[0080] 例えば、上述の実施形態では、キャントした反強磁性体の一例として Mn_3Sn を挙げたが、組成式が Mn_3X （ $\text{X}=\text{Sn}$ 、 Ge 、 Ga 、 Rh 、 Pt 、 Ir など）、 Mn_3YN （ $\text{Y}=\text{Sn}$ 、 Ni 、 Ga ）、 Mn_5Si_3 、 RuO_2 などのキャントした反強磁性体に本実施形態は適用可能である。

符号の説明

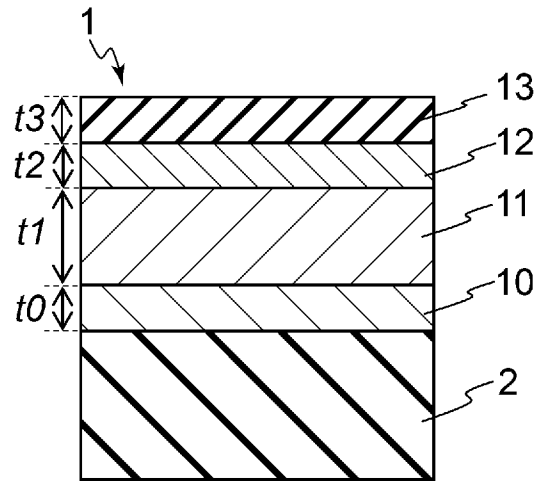
- [0081] 2 基板
- | | |
|-----------------|---------|
| 100、102、200、300 | 磁気メモリ素子 |
| 110 | 反強磁性層 |
| 120 | 重金属層 |
| 130 | 酸化物層 |
| 152、154、162、164 | 電極 |

2 1 0、3 1 0 磁気抵抗素子
2 1 2、3 1 2 自由層
2 1 4、3 1 4 非磁性層
2 1 6、3 1 6 参照層
2 2 0 重金属層

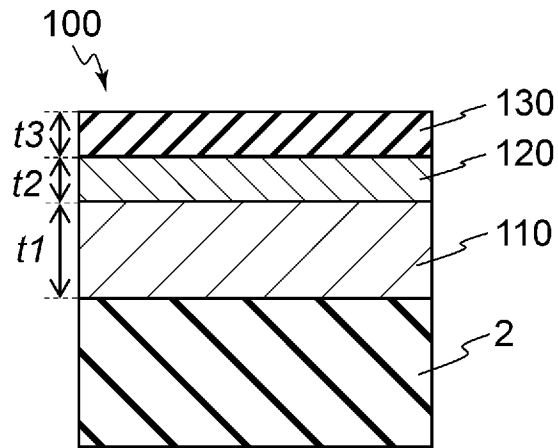
請求の範囲

- [請求項1] 磁気モーメントがキャントした磁気秩序を有するキャントした反強磁性体からなる反強磁性層と、
前記反強磁性層に接触し、前記キャントした反強磁性体とは異なる物質からなる接触層と、を備え、
前記反強磁性層と前記接触層との界面のラフネスは1.0 nm以下であり、
前記接触層にスピン流が流れると、前記スピン流によって生じるトルクが前記反強磁性層の前記磁気秩序に働き、前記磁気秩序が反転可能である、磁気メモリ素子。
- [請求項2] 前記キャントした反強磁性体は異常ホール効果を示す、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項3] 前記キャントした反強磁性体はクラスター磁気八極子のスピン秩序を有する、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項4] 前記反強磁性層は面直方向の前記磁気秩序を有する、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項5] 前記界面のラフネスは0.6 nm以下である、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項6] 前記接触層は、スピンホール効果を示す材料からなり、面内方向に書き込み電流が流れると前記スピン流が発生し、
前記反強磁性層では、前記スピン流によって生じたスピン軌道トルクが前記磁気秩序に働くことによって前記磁気秩序が反転可能である、請求項1～5の何れか1項に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項7] 前記接触層及び前記反強磁性層に対して面直方向に書き込み電流が流れると、スピントランスファトルクによって前記反強磁性層の前記磁気秩序が反転可能である、請求項1～5の何れか1項に記載の磁気メモリ素子。

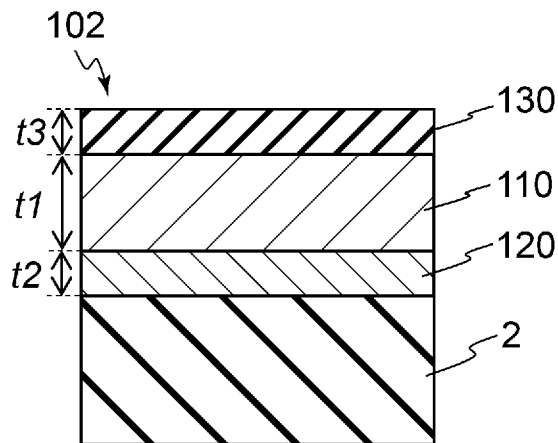
[図1]



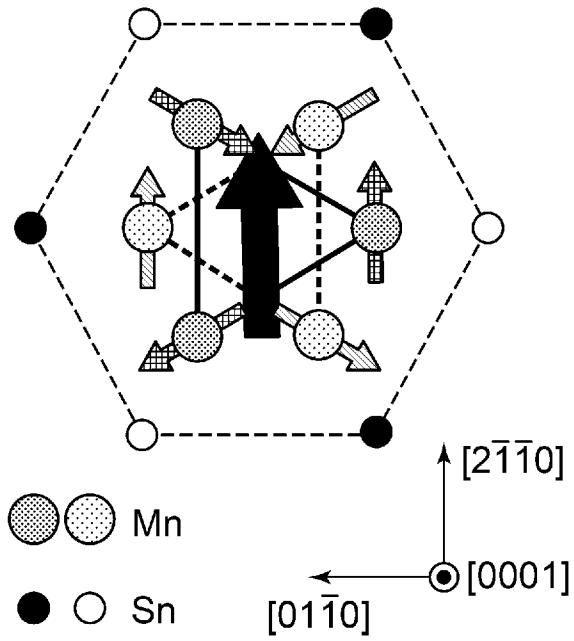
[図2A]



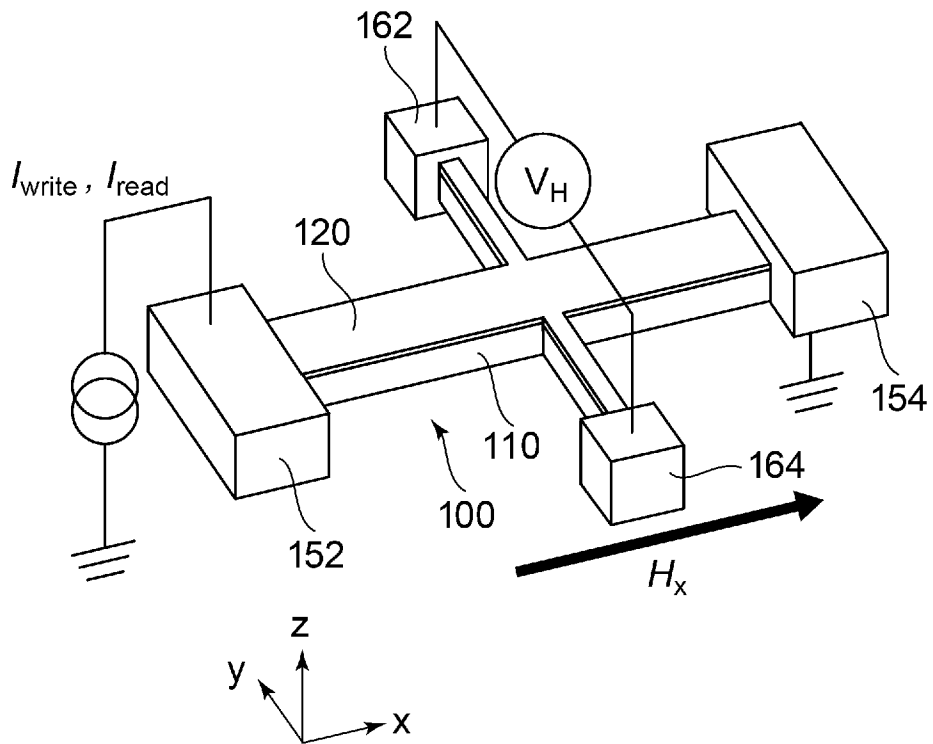
[図2B]



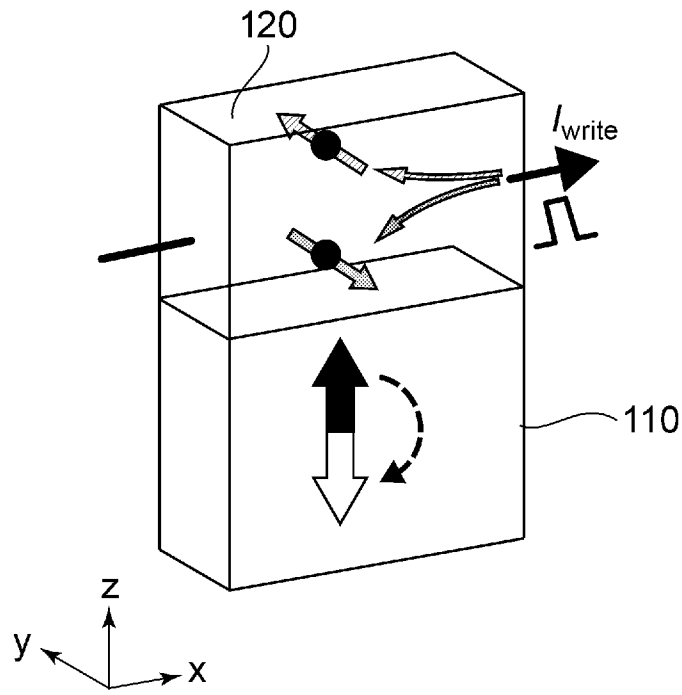
[図3]



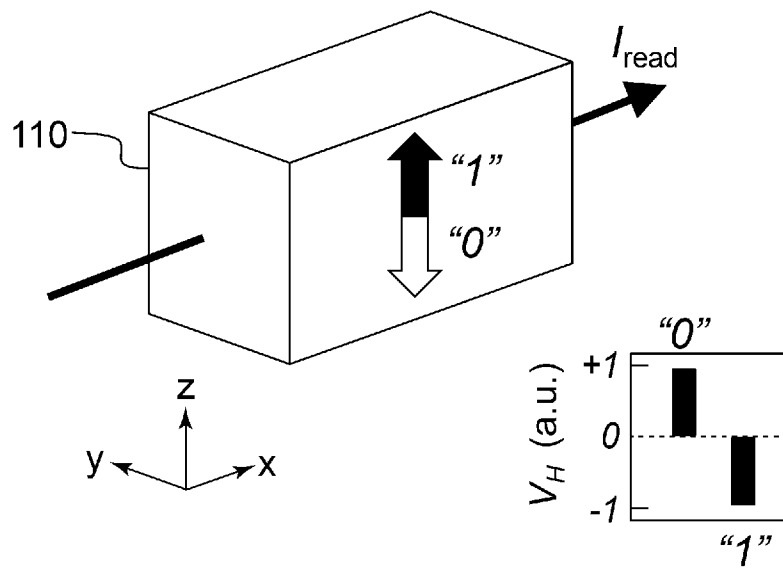
[図4A]



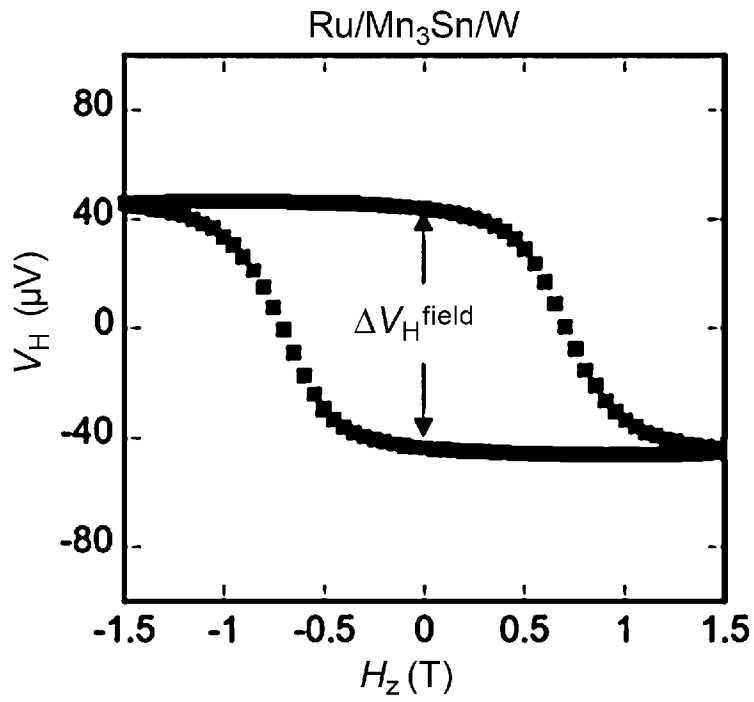
[図4B]



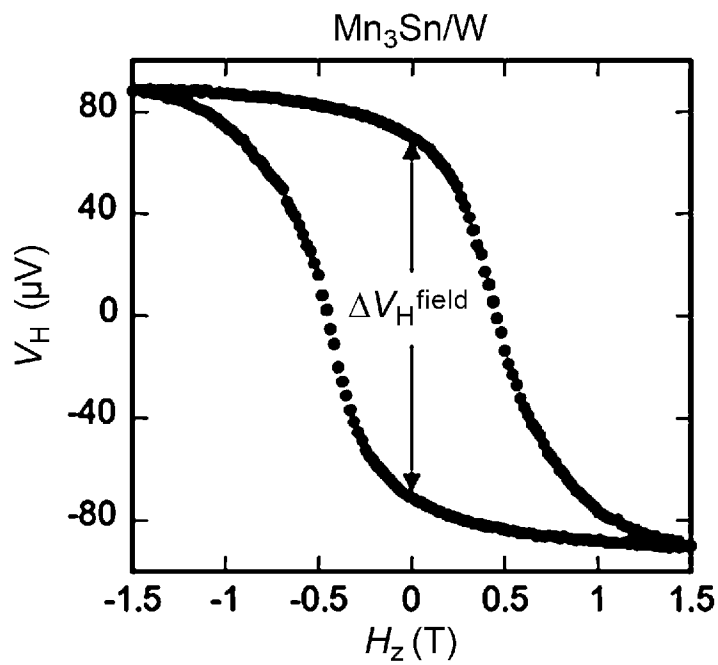
[図4C]



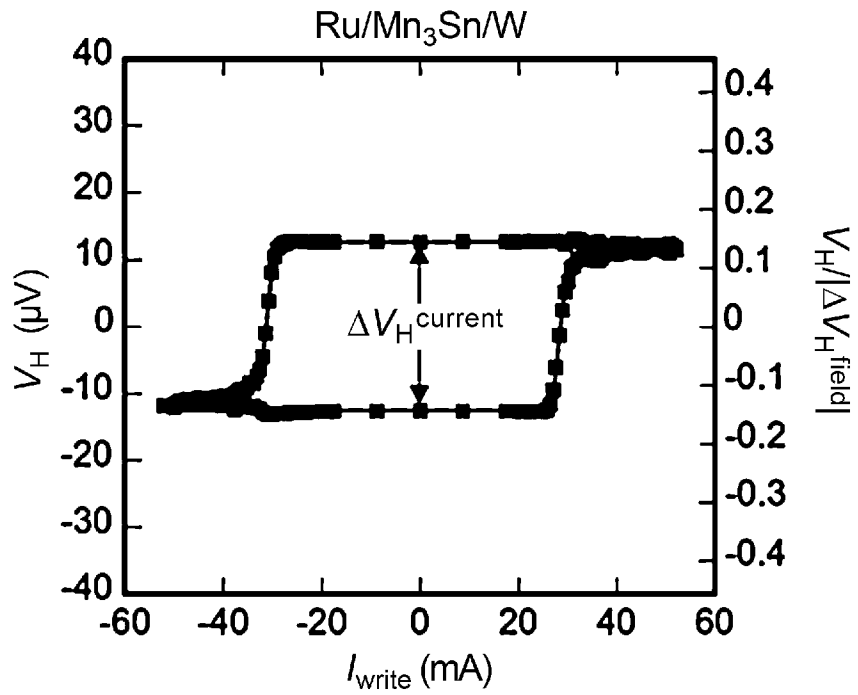
[図5A]



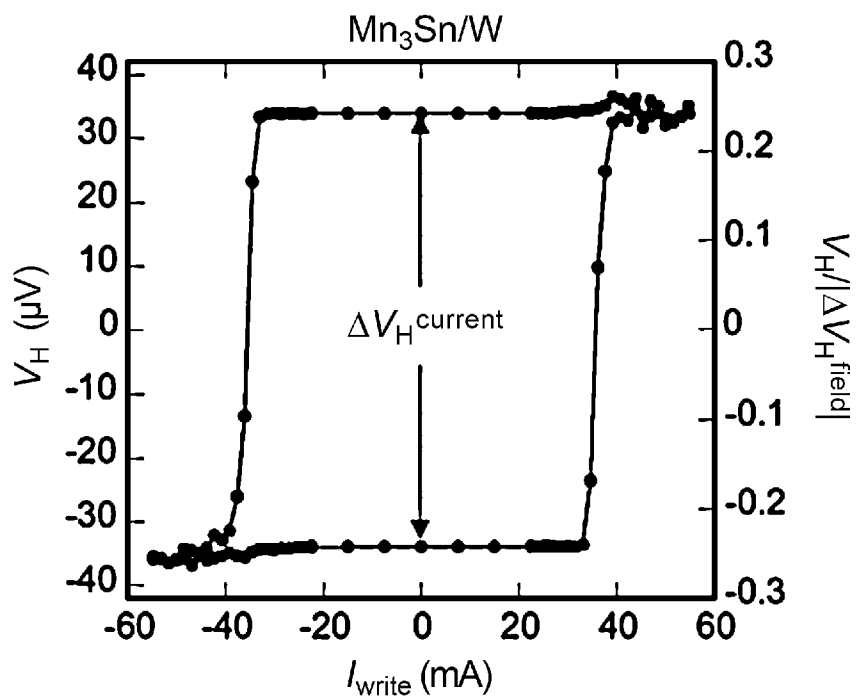
[図5B]



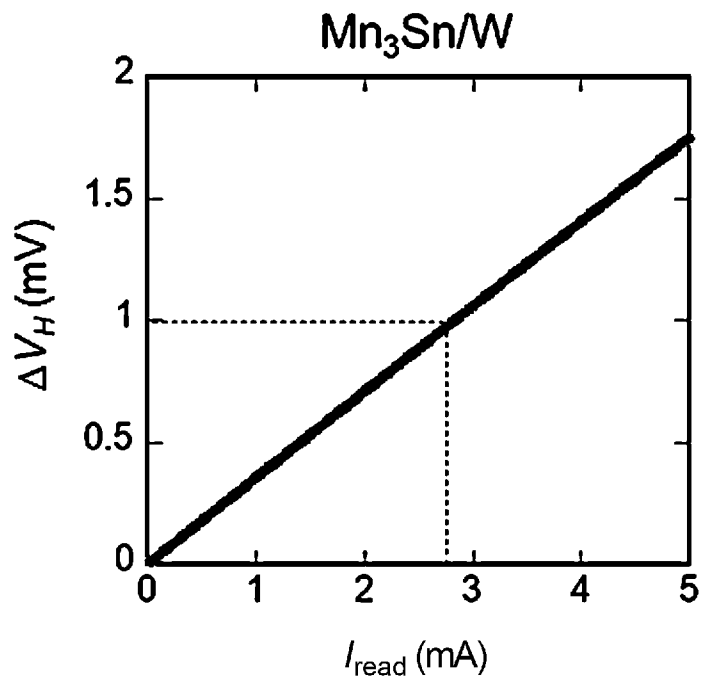
[圖5C]



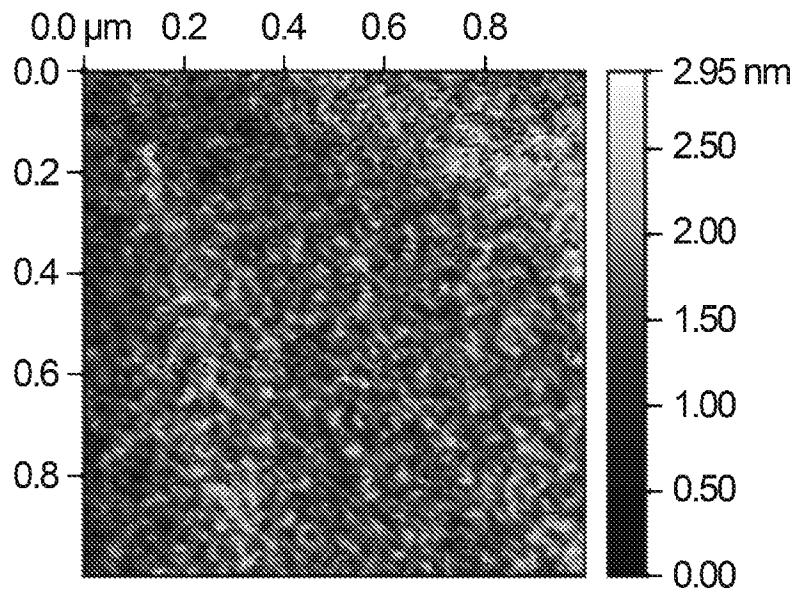
[圖5D]



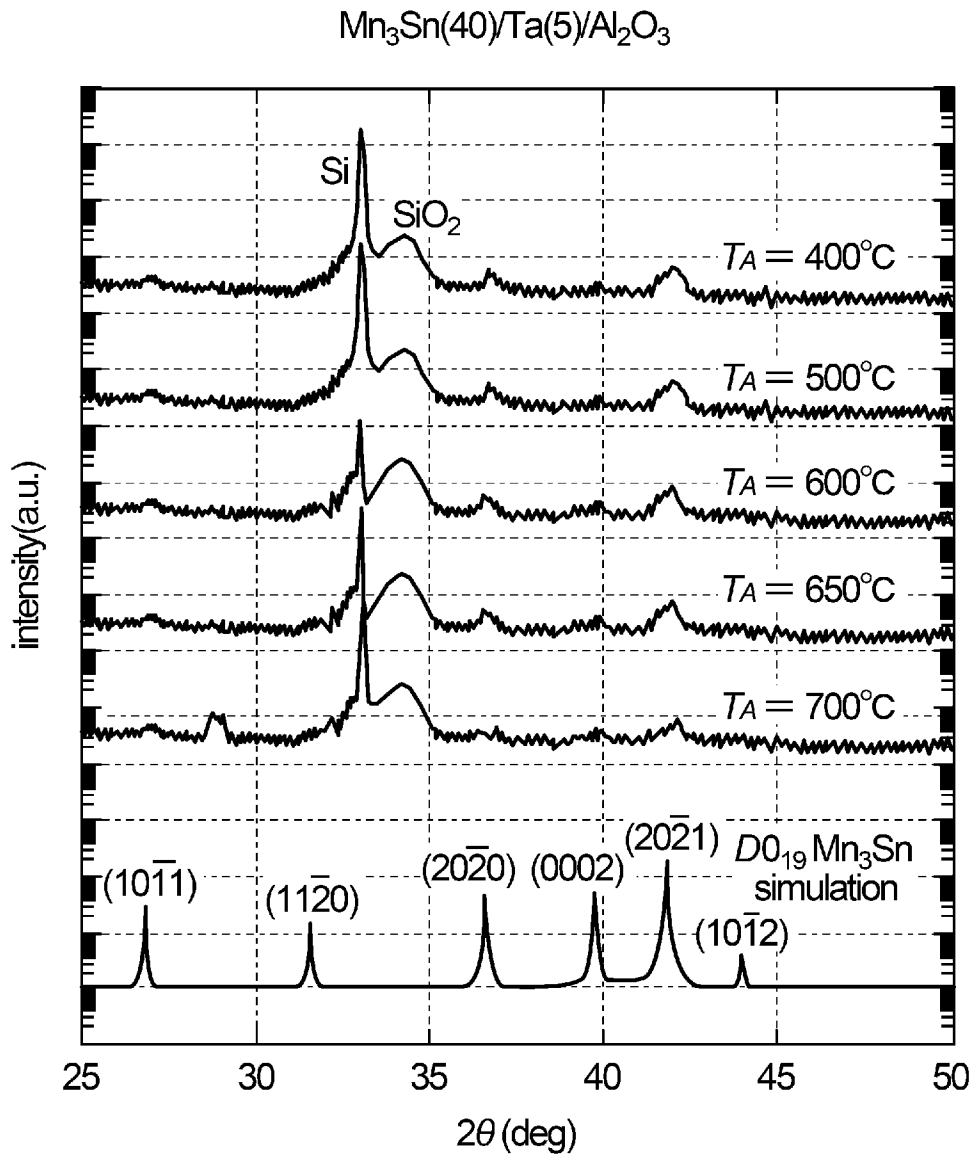
[図6]



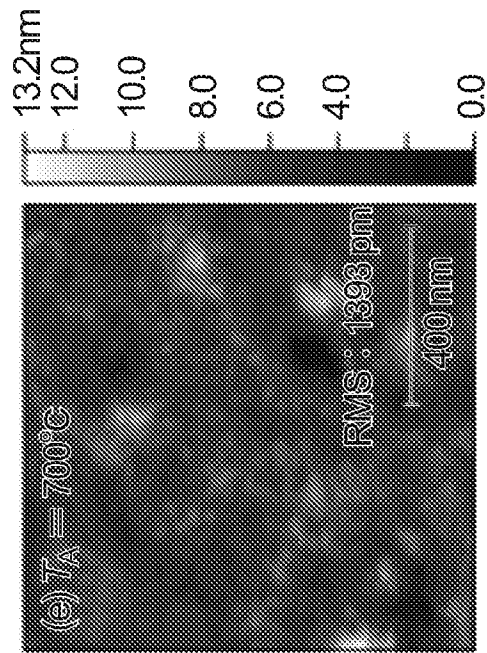
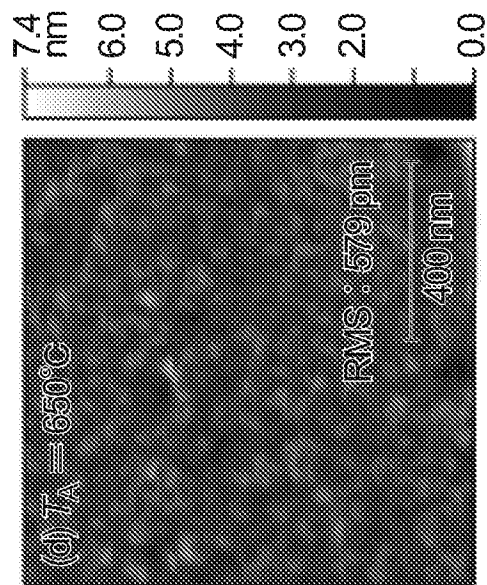
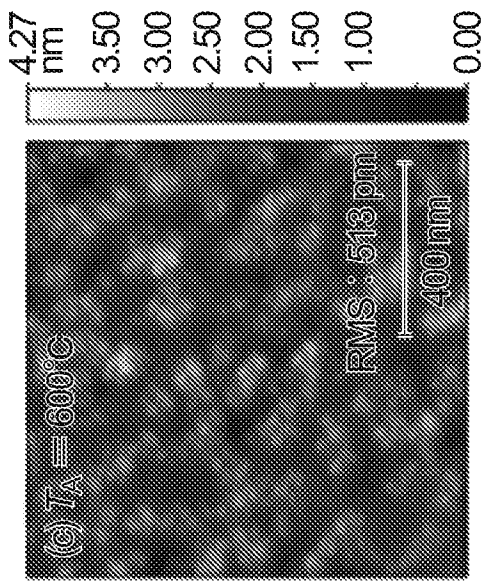
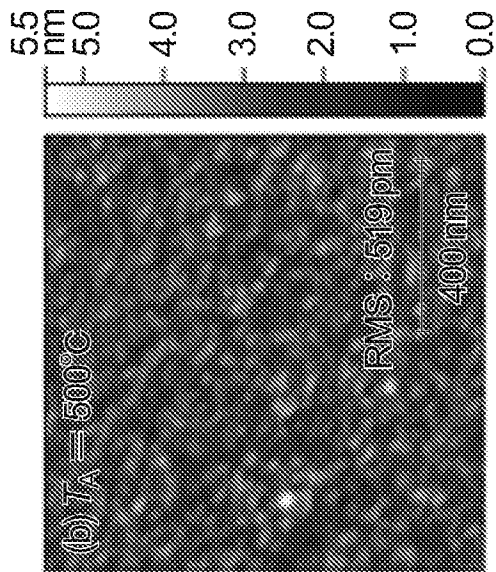
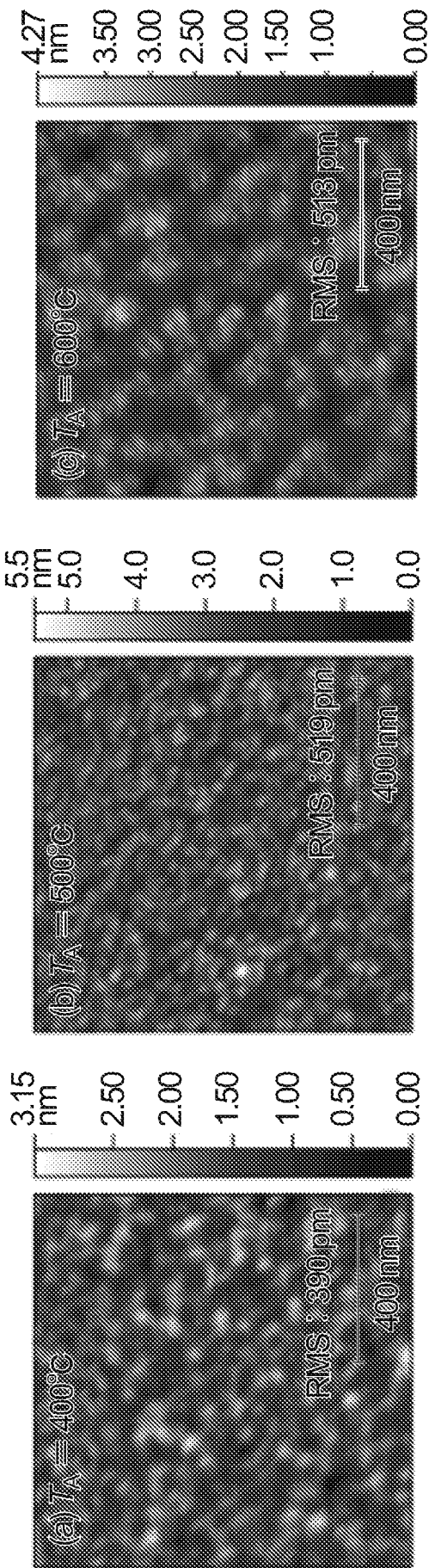
[図7]



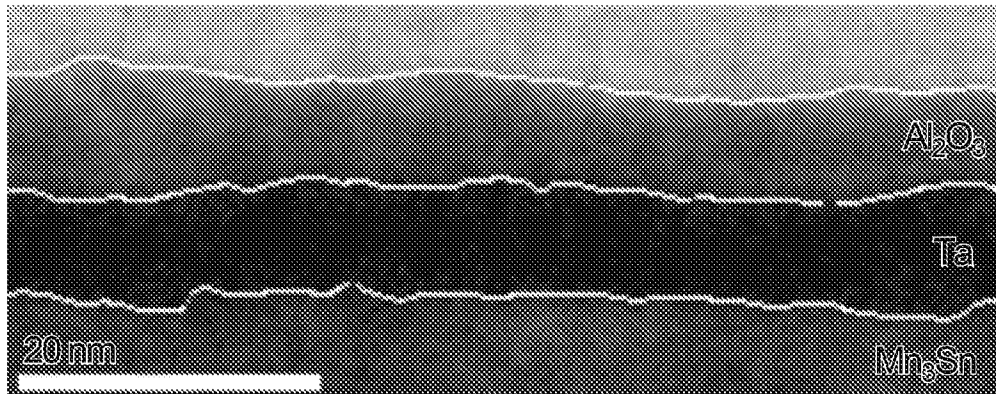
[図8]



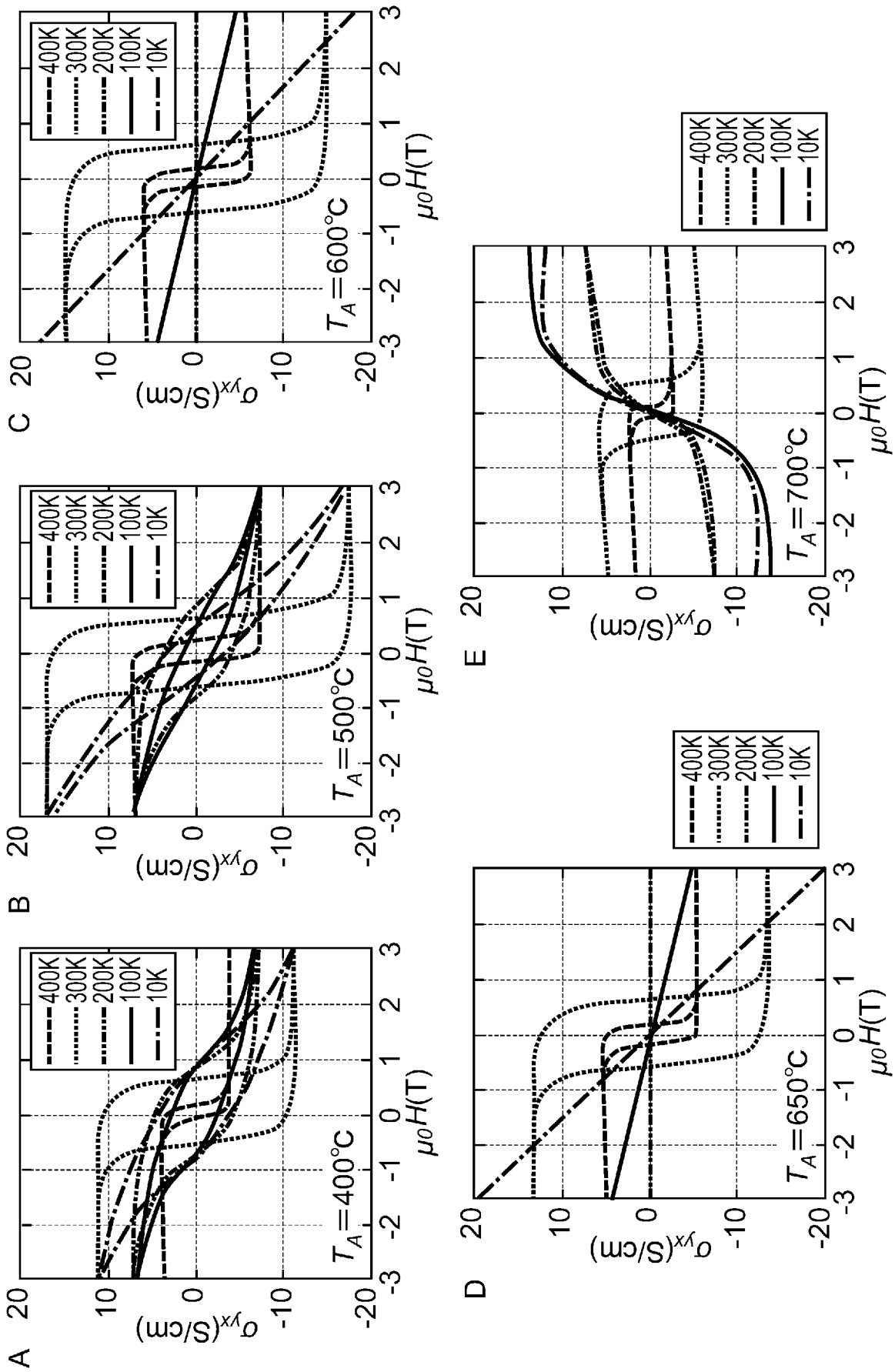
[9]



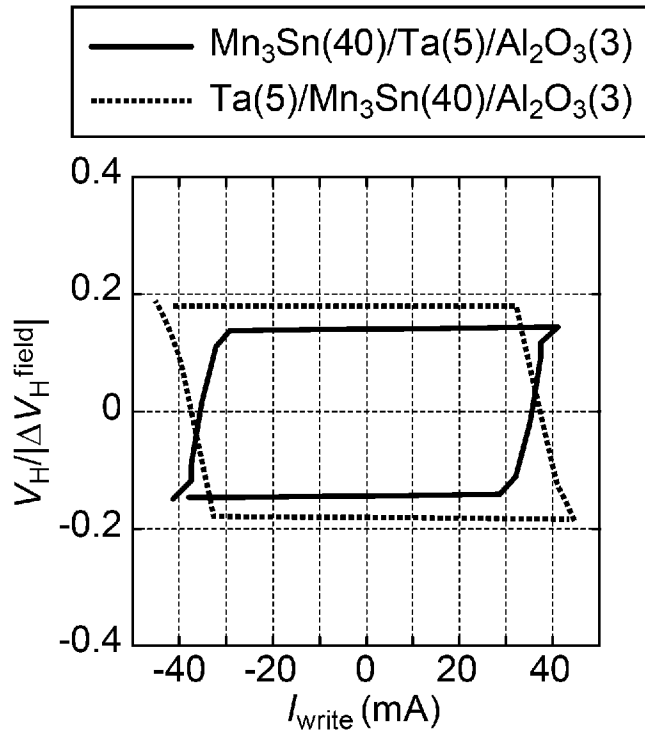
[図10]



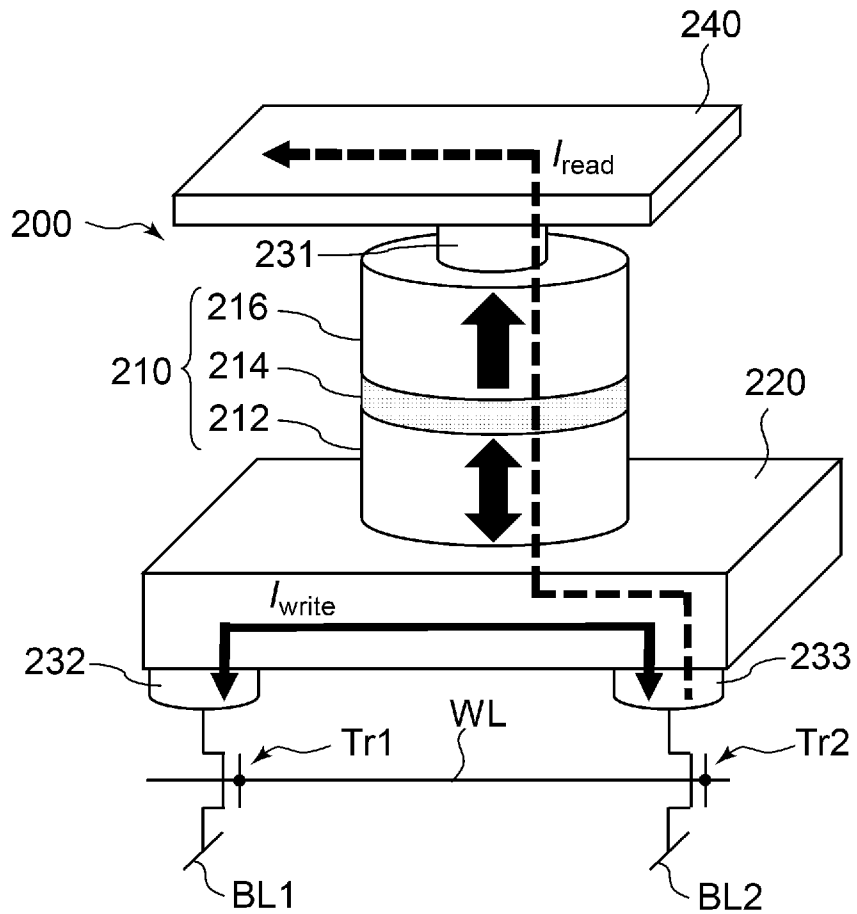
[図11]



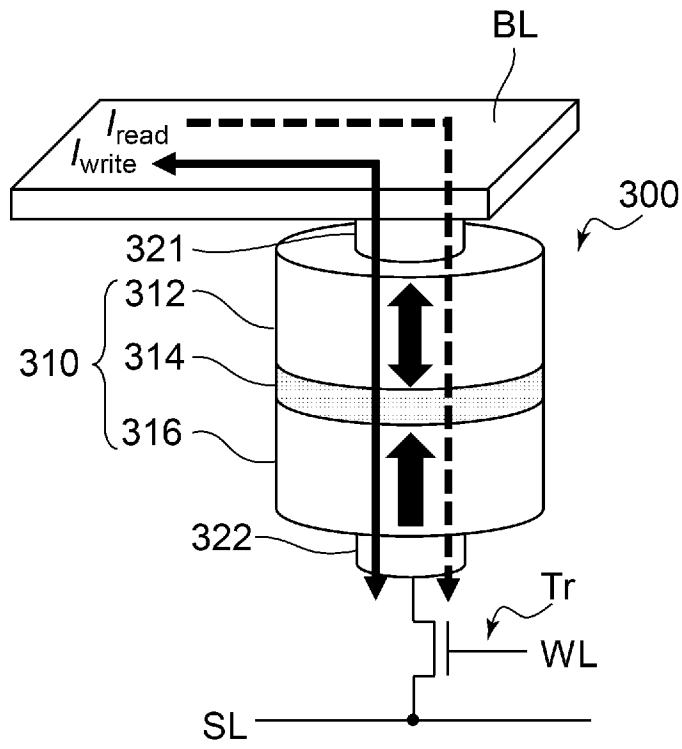
[圖12]



[圖13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/017647

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 43/08</i> (2006.01)i; <i>H01L 43/10</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/8239</i> (2006.01)i; <i>H01L 27/105</i> (2006.01)i FI: H01L27/105 447; H01L43/08 M; H01L43/10		
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; H01L43/10; H01L21/8239; H01L27/105		
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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2017/018391 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 02 February 2017 (2017-02-02) paragraphs [0007], [0018]-[0019], [0031], [0058]-[0064], [0092], fig. 9, 12	1-7
Y	WO 2019/045055 A1 (TDK CORPORATION) 07 March 2019 (2019-03-07) paragraphs [0012]-[0013], [0026], [0030], [0036], [0042], [0062], [0069], [0090], fig. 1	1-7
Y	WO 2020/166722 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 20 August 2020 (2020-08-20) paragraphs [0009], [0017]-[0019], [0037]	3, 7
A		1-2, 4-6
A	JP 2019-110326 A (TDK CORPORATION) 04 July 2019 (2019-07-04) entire text, all drawings	1-7
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 01 July 2022		Date of mailing of the international search report 12 July 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/017647

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2017/018391	A1	02 February 2017	US 2018/0301177 A1 paragraphs [0007], [0029]- [0030], [0042], [0069]-[0075], [0103], fig. 9, 12	
WO	2019/045055	A1	07 March 2019	JP 2019-47001 A US 2021/0083175 A1 paragraphs [0015]-[0016], [0040], [0046], [0052], [0061], [0083], [0095], [0116], fig. 1 CN 111052398 A	
WO	2020/166722	A1	20 August 2020	(Family: none)	
JP	2019-110326	A	04 July 2019	US 2019/0348329 A1 entire text, all drawings US 2021/0375682 A1 WO 2018/180701 A1 EP 3608971 A1 CN 109417100 A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 43/08(2006.01)i; H01L 43/10(2006.01)i; H01L 21/8239(2006.01)i; H01L 27/105(2006.01)i FI: H01L27/105 447; H01L43/08 M; H01L43/10</p>																	
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01L43/08; H01L43/10; H01L21/8239; H01L27/105</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年							
日本国実用新案公報	1922 - 1996年																
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年																
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年																
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年																
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2017/018391 A1 (国立大学法人東京大学) 02.02.2017 (2017-02-02) [0007], [0018] - [0019], [0031], [0058] - [0064], [0092], 図9, 12</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2019/045055 A1 (TDK株式会社) 07.03.2019 (2019-03-07) [0012] - [0013], [0026], [0030], [0036], [0042], [0062], [0069], [0090], 図1</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>WO 2020/166722 A1 (国立大学法人東京大学) 20.08.2020 (2020-08-20) [0009], [0017] - [0019], [0037]</td> <td>3, 7 1-2, 4-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2019-110326 A (TDK株式会社) 04.07.2019 (2019-07-04) 全文, 全図</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			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	WO 2017/018391 A1 (国立大学法人東京大学) 02.02.2017 (2017-02-02) [0007], [0018] - [0019], [0031], [0058] - [0064], [0092], 図9, 12	1-7	Y	WO 2019/045055 A1 (TDK株式会社) 07.03.2019 (2019-03-07) [0012] - [0013], [0026], [0030], [0036], [0042], [0062], [0069], [0090], 図1	1-7	Y A	WO 2020/166722 A1 (国立大学法人東京大学) 20.08.2020 (2020-08-20) [0009], [0017] - [0019], [0037]	3, 7 1-2, 4-6	A	JP 2019-110326 A (TDK株式会社) 04.07.2019 (2019-07-04) 全文, 全図	1-7
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	WO 2017/018391 A1 (国立大学法人東京大学) 02.02.2017 (2017-02-02) [0007], [0018] - [0019], [0031], [0058] - [0064], [0092], 図9, 12	1-7															
Y	WO 2019/045055 A1 (TDK株式会社) 07.03.2019 (2019-03-07) [0012] - [0013], [0026], [0030], [0036], [0042], [0062], [0069], [0090], 図1	1-7															
Y A	WO 2020/166722 A1 (国立大学法人東京大学) 20.08.2020 (2020-08-20) [0009], [0017] - [0019], [0037]	3, 7 1-2, 4-6															
A	JP 2019-110326 A (TDK株式会社) 04.07.2019 (2019-07-04) 全文, 全図	1-7															
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>																	
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>																	
<p>国際調査を完了した日</p> <p>01.07.2022</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>12.07.2022</p>																
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>宮本 博司 5F 6313</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>																

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/JP2022/017647

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2017/018391 A1	02.02.2017	US 2018/0301177 A1 [0007], [0029] - [0030], [0042], [0069] - [0075], [0103], 図9, 12	
WO 2019/045055 A1	07.03.2019	JP 2019-47001 A US 2021/0083175 A1 [0015] - [0016], [0040], [0046], [0052], [0061], [0083], [0095], [0116], 図1 CN 111052398 A	
WO 2020/166722 A1	20.08.2020	(ファミリーなし)	
JP 2019-110326 A	04.07.2019	US 2019/0348329 A1 全文, 全図 US 2021/0375682 A1 WO 2018/180701 A1 EP 3608971 A1 CN 109417100 A	