

(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
2024年10月3日(03.10.2024)

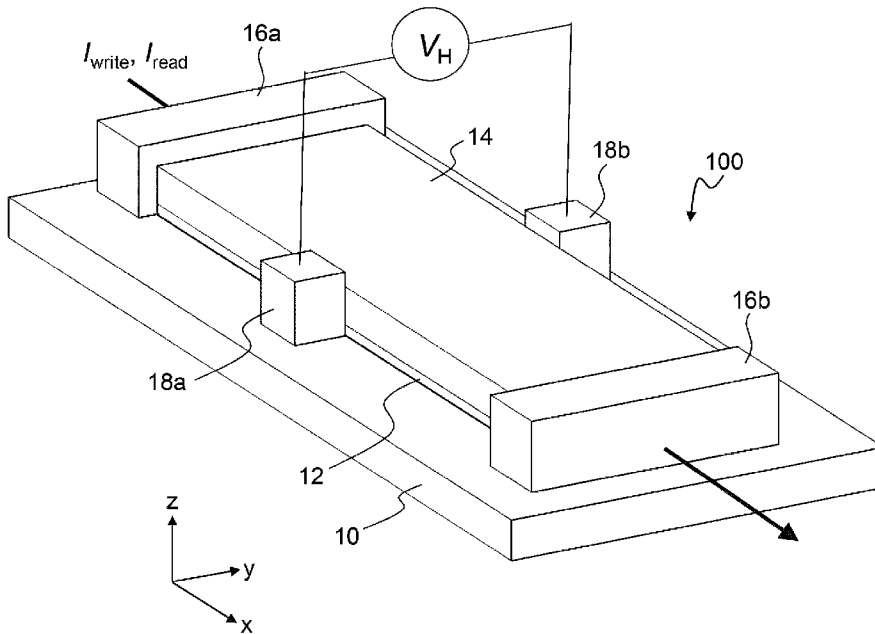


(10) 国際公開番号
WO 2024/204298 A1

- (51) 国際特許分類:
H10B 61/00 (2023.01) *H10N 50/80* (2023.01)
H01L 29/82 (2006.01) *H10N 52/00* (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/012153
- (22) 国際出願日: 2024年3月27日(27.03.2024)
- (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 2023-052021 2023年3月28日(28.03.2023) JP
- (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) Title: MAGNETIC MEMORY ELEMENT, MAGNETIC MEMORY DEVICE, AND PHOTONIC SPIN REGISTER

(54) 発明の名称: 磁気メモリ素子、磁気メモリ装置、及びフォトニックスピンレジスタ



(57) Abstract: A magnetic memory element (100) is provided with an antiferromagnetic layer (14) and a spin Hall layer (12). The antiferromagnetic layer (14) is a polycrystalline thin film which is made of an antiferromagnetic material exhibiting an anomalous Hall effect, and has one or a plurality of first grains having an average particle diameter in the range of 20-200 nm, with a plurality of second grains present inside each of the first grains. The spin Hall layer (12) is in contact with the antiferromagnetic layer (14) and is made of a material



WO 2024/204298 A1

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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).

規則4. 17に規定する申立て :

- 一 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4. 17(v))

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

exhibiting a spin Hall effect, wherein, when a write current I_{write} flows in the in-plane direction, a spin flow is generated in a direction perpendicular to the plane. In the antiferromagnetic layer (14), the spin orbit torque generated by the spin flow acts on the magnetic order of the antiferromagnetic material so that the magnetic order can be reversed.

(57) 要約 : 磁気メモリ素子 (100) は、反強磁性層 (14) とスピホール層 (12) とを備える。反強磁性層 (14) は、異常ホール効果を発現する反強磁性体からなり、平均粒径が $20 \text{ nm} \sim 200 \text{ nm}$ の範囲をとる1又は複数の第1グレインを有し、各第1グレインの内部に複数の第2グレインが存在する多結晶薄膜である。スピホール層 (12) は、反強磁性層 (14) に接触し、スピ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 I_{write} が流れると面直方向にスピ流が発生する。反強磁性層 (14) では、スピ流によって生じたスピ軌道トルクが反強磁性体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。

明 細 書

発明の名称：

磁気メモリ素子、磁気メモリ装置、及びフォトニックスピンレジスタ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気メモリ素子、磁気メモリ装置、及びフォトニックスピンレジスタに関する。

背景技術

[0002] 強磁性体を用いた磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）は、不揮発性であるため、低消費電力の情報処理を実現するメモリとして注目を集めている。実際、様々な半導体メーカーが、スタティックランダムアクセスメモリ（SRAM）などの揮発性メモリの代替としてMRAMを採用している。このようなMRAMの例として、スピントランスファトルク（STT）を用いて強磁性体の磁化を反転させるSTT-MRAM、スピン軌道トルク（SOT）を用いて強磁性体の磁化を反転させるSOT-MRAMなどがある（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第9837602号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、現状のMRAMは強磁性体を用いているため、磁化の反転速度が1ナノ秒程度にとどまっており、特に、光通信の高速化に伴って今後ますます重要になるTHz帯域（ピコ秒）には対応することができないという課題がある。一方、反強磁性体は、スピンの応答速度が強磁性体より速く、高速で動作可能な磁気メモリ素子の材料として期待されている。しかしながら、反強磁性体について、サイズスケールの大きい薄膜でスピントロニクス材料としての可能性は研究されているものの、ナノメートルオーダーの実

際の磁気メモリ素子への適用については未知数であった。

[0005] 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を実現可能とすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1態様に係る磁気メモリ素子は、異常ホール効果を発現する反強磁性体からなり、平均粒径が20nm~200nmの範囲をとる1又は複数の第1グレインを有し、各第1グレインの内部に複数の第2グレインが存在する多結晶の反強磁性層を備え、反強磁性体の磁気秩序は反転可能である。

[0007] 本発明の第2態様に係る磁気メモリ装置は、複数の磁気メモリ素子を備え、複数の磁気メモリ素子の各々は、上述の反強磁性層を備える磁気メモリ素子として定義される。

[0008] 本発明の第3態様に係るフォトニクスピンレジスタは、上述の磁気メモリ素子と、パルス振幅変調された光信号を受光して光電流に変換する受光器と、を備える。スピンホール層に、面内方向に書き込み電流として光電流が流れると面直方向にスピン流が発生する。

[0009] 本発明の第4態様に係るフォトニクスピンレジスタは、上述の磁気メモリ素子と、パルス振幅変調された光信号を反強磁性層に照射する光照射部と、を備える。反強磁性層では、光信号の照射により、反強磁性体の磁気秩序が反転可能である。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、ナノスケールの第1グレインの内部に第2グレインが存在する微小構造を有する反強磁性体を用いて磁気メモリ素子を実現することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A] Mn_3Sn の結晶構造及びスピン構造の斜視図である。

[図1B] Mn_3Sn の結晶構造及びスピン構造の平面図である。

[図2] Mn_3Sn のX線回折スペクトルを表すグラフである。

[図3]膜厚が40 nm、25 nm、20 nm、5 nmの Mn_3Sn 試料の原子間力顕微鏡（AFM）画像a～dと、膜厚が25 nm、20 nmの Mn_3Sn 試料の断面透過電子顕微鏡（TEM）画像e及びfである。

[図4]ホール効果測定の様式図である。

[図5A]膜厚が40 nmの Mn_3Sn 試料のホール抵抗率の磁場依存性を表すグラフである。

[図5B]膜厚が20 nmの Mn_3Sn 試料に膜厚が4 nmのAl層を成膜したときのホール抵抗率の磁場依存性を表すグラフである。

[図5C]膜厚が40 nm、20 nmの Mn_3Sn 試料について、ホール抵抗率をそれぞれの飽和値で割ることによって得られる規格化されたホール抵抗率の磁場依存性を表すグラフである。

[図6A] Mn_3Sn の孤立グレインの間が電氣的に絶縁された状態を表す様式図である。

[図6B]伝導層を介して Mn_3Sn の孤立グレインの間を電氣的に接続した伝導状態を表す様式図である。

[図7]実施例1に係るホールバー構造の磁気メモリ素子の構成を示す様式図である。

[図8]実施例2に係るSOT-MRAMの磁気メモリ素子の構成を示す様式図である。

[図9]実施例3に係るSTT-MRAMの磁気メモリ素子の構成を示す様式図である。

[図10]実施例4に係るフォトニクスピンレジスタの構成を示す様式図である。

[図11]実施例5に係るフォトニクスピンレジスタの構成を示す様式図である。

[図12]実施例6に係るフォトニクスピンレジスタの構成を示す様式図である。

発明を実施するための形態

[0012] 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。

[0013] 本実施形態では、高速で動作可能な不揮発性メモリを実現させるため、強磁性体の代わりに反強磁性体を用いる。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帯域（ピコ秒）であり、磁性体間の相互作用が小さいため、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。

[0014] 本実施形態では、特に、時間反転対称性が巨視的に破れた反強磁性秩序を有し、異常ホール効果を発現する反強磁性体を対象とする。そのような反強磁性体の例として、マンガン（Mn）を含む反強磁性体金属や、共線的（collinear）な反強磁性体（例えば、 RuO_2 、 Mn_5Si_3 、 $CrSb$ ）などが挙げられる。Mnを含む反強磁性体金属の例として、 Mn_3X （ $X=Sn$ 、 Ge 、 Ga 、 Rh 、 Pt 、 Ir ）、 Mn_3XN （ $X=Ga$ 、 Sn 、 Ni ）、面心立方格子（fcc）構造のガンマ型Mn合金が挙げられる。ガンマ型Mn合金として、 $Mn_{1-x}Fe_x$ 、 $Mn_{1-x}Rh_x$ 、 $Mn_{1-x}Pd_x$ などが挙げられる。

[0015] 図1A及び図1Bを参照して、異常ホール効果を発現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。

[0016] 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1A及び図1Bに示すように、カゴメ格子がc軸[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（non-collinear）なカイラルスピン構造を有する。二層のカゴメ格子上に配置された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。

- [0017] クラスタ磁気八極子が、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 $100 \sim 1000$ テスラ (T) に相当) の向きと対応しており、クラスタ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。
- [0018] 図 1 A 及び図 1 B 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。
- [0019] Mn_3Sn 試料の作製には、DC マグネトロンスパッタリング法を採用することができる。例えば、ベース圧力が $< 5 \times 10^{-7}$ Pa のチャンバー内で、スパッタリングパワー 60 W、Ar 圧力 0.7 Pa の条件下で、 $Mn_{2.7}Sn$ ターゲットから熱酸化された Si 基板上へ $500^\circ C$ の高温で Mn_3Sn 膜を成膜する。 Mn_3Sn 膜の成膜直後、室温まで冷やす。その後、酸化防止のため、in situ で Mn_3Sn 膜上にアルミニウム (Al) からなるキャップ層 (厚み 2 nm) を室温で成膜する。なお、 Mn_3Sn 試料の作製方法は上述の方法に限定されず、他の作製方法を採用することもできる。
- [0020] Mn_3Sn 膜の結晶構造は、X 線回折を用いて調べることができる。図 2 の上部に、Si/SiO₂ 基板上に $500^\circ C$ で成膜された Mn_3Sn 膜 (膜厚 $t = 40$ nm) に対する室温での $2\theta/\omega$ スキャンの X 線回折スペクトルを示し、図 2 の下部に、ランダムに配向した DO_{19} 型 Mn_3Sn に対するシミュレーションされた回折パターンを示す。
- [0021] $2\theta/\omega$ スキャンで得られる X 線回折スペクトルは、 DO_{19} 型 Mn_3Sn と Si/SiO₂ 基板と同じピークを示していることから、 Mn_3Sn 膜は、 DO_{19} 型 Mn_3Sn の単相であることがわかる。また、ピーク強度の比がシミュ

レーション結果とほぼ一致している。これらの結果は、 Mn_3Sn 膜が、様々な配向の結晶が混在した多結晶であることを示している。ここで、格子定数は、 $a = 5.66 \text{ \AA}$ 、 $c = 4.51 \text{ \AA}$ と見積もられる。

[0022] Mn_3Sn 膜の構造特性を明らかにするため、図3に、 $t = 40 \text{ nm}$ 、 $t = 25 \text{ nm}$ 、 $t = 20 \text{ nm}$ 、 $t = 5 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料の原子間力顕微鏡 (AFM) 画像 a~d と、 $t = 25 \text{ nm}$ 、 $t = 20 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料の断面透過電子顕微鏡 (TEM) 画像 e 及び f を示す。

[0023] TEM画像 e より、 $t = 25 \text{ nm}$ の試料は、表面にわずかな凹凸があるものの連続的な構造を有していることがわかる。一方、TEM画像 f より、 $t = 20 \text{ nm}$ の試料は、表面が不連続で、孤立した島構造となっていることがわかる。すなわち、 $t \geq 25 \text{ nm}$ の試料は、連続的な構造により導電性があり、 $t \leq 20 \text{ nm}$ の試料は、不連続な構造により電氣的に絶縁していると言える。

[0024] また、AFM画像 c より、 $t = 20 \text{ nm}$ の試料では、粒径が相対的に大きな複数のグレイン (以下、「第1グレイン」と呼ぶ。) が存在し、各第1グレインの内部に、粒径が相対的に小さな複数のグレイン (以下、「第2グレイン」と呼ぶ。) が存在していることがわかる。 $t = 20 \text{ nm}$ の試料の第1グレインの平均粒径は約 100 nm である。これに対し、AFM画像 d より、 $t = 5 \text{ nm}$ の試料では、粒径が 20 nm 未満の第1グレインは多数存在するが、その内部に第2グレインが存在していないことがわかる。

[0025] AFM画像 c、d、及びTEM画像 f より、第1グレインの平均粒径は $20 \text{ nm} \sim 200 \text{ nm}$ の範囲をとり、第1グレインの内部に、平均粒径が第1グレインの $1/2$ 以下、より詳細には $1/20 \sim 1/2$ の範囲をとる複数の第2グレインが存在していることがわかる。

[0026] 次に、図4~図6Bを参照して、本実施形態の反強磁性体に対するホール効果測定について説明する。

[0027] 図4に示すように、ホール効果測定では、反強磁性層2の面直方向 (z 方向) に磁場 H を印加し、長手方向 (x 方向) に電流 I を流したときに、電流

l と磁場 H の双方に直交する y 方向に発生するホール電圧 V_y を測定する。反強磁性層 2 の x 方向の長さを l、y 方向の幅を w、z 方向の膜厚を t とし、x 方向における縦電圧を V_x と表記すると、縦抵抗率 ρ_{xx} 及びホール抵抗率 ρ_{yx} は、それぞれ、 $(V_x / l) \cdot (wt / l)$ 、 $(V_y / l) \cdot t$ と定義される。

[0028] 図 5 A に、300 K での $t = 40 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料（反強磁性層 2）のホール抵抗率 ρ_{yx} の磁場依存性を示す。図 5 A より、明確なヒステリシスループが現れ、ゼロ磁場での ρ_{yx} の大きさは約 $1.3 \mu\Omega\text{cm}$ 、保磁力は約 0.6 T であることがわかる。このように、 Mn_3Sn 試料に異常ホール効果が発現している。

[0029] $t = 20 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料は、図 3 の TEM 画像 f に示すように、表面が不連続な構造を有している。この場合、図 6 A に示すように、基板 1 上に、 Mn_3Sn からなる複数の孤立したグレインを有する反強磁性層 2 が積層され、これらの孤立グレインは、厚みが 2 nm の Al のキャップ層で被覆される。このキャップ層は酸化され、酸化膜 3 となることから、孤立グレインの間は電氣的に絶縁された状態となる。このような絶縁状態ではホール効果を測定することができない。

[0030] そこで、図 6 B に示すように、キャップ層の厚みを増やすことで、キャップ層の一部を伝導層 4 として残し、伝導層 4 を介して孤立グレインの間を電氣的に接続するようにする。例えば、Al のキャップ層の厚みを 4 nm にすると、表面の 2 nm は酸化膜 3 になるが、反強磁性層 2 及び基板 1 側の 2 nm は伝導層 4 として残る。

[0031] 図 5 B に、 $t = 20 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料（反強磁性層 2）を厚みが 4 nm の Al のキャップ層で被覆したときの 300 K でのホール抵抗率 ρ_{yx} の磁場依存性を示す。図 6 B の伝導層 4 は、孤立グレインの間を電氣的に接続するだけでなく、大きなシャント効果を引き起こすことから、 $t = 20 \text{ nm}$ の試料のホール電圧 V_y は連続膜の場合よりも小さくなる。実際、図 5 B に示すように、ゼロ磁場での ρ_{yx} の大きさは約 $0.06 \mu\Omega\text{cm}$ となり、 $t = 40 \text{ nm}$

mの試料の ρ_{yx} (図5 A) よりも2桁小さい。また、図5 Bにおける線形の振る舞いは、Alの伝導層4の正常ホール効果が発現していることを示している。

[0032] 図5 Cに、 $t = 40 \text{ nm}$ 、 $t = 20 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料について、300 Kでのホール抵抗率 ρ_{yx} を磁場に線形に比例する成分を差し引いたのち、それぞれの飽和値で割ることによって得られる規格化されたホール抵抗率の磁場依存性を示す。このように規格化すると、正常ホール効果の寄与は差し引かれ、シャント効果と無関係に双方の試料を比較することができる。図5 Cより、双方の試料においてほぼ同じヒステリシスループが現れることがわかる。

[0033] $t = 5 \text{ nm}$ の Mn_3Sn 試料に対するホール効果測定では、正常ホール効果のみが観測されている。すなわち、第2グレインが存在しない $t = 5 \text{ nm}$ の試料では、異常ホール効果は観測されないが、第1グレインの中に第2グレインが存在する $t = 20 \text{ nm}$ の試料では、異常ホール効果が観測されている (図5 B及び図5 C)。このことから、第1グレイン内の第2グレインの存在によって、粒径が $20 \text{ nm} \sim 200 \text{ nm}$ という非常に小さいグレインにおいても、異常ホール効果が発現していると推測することができる。

[0034] このように、本実施形態が対象とする反強磁性体は、ナノスケールの特徴的な微小構造を有しており、安定して磁性効果を発現することから、磁気メモリ素子への適用が可能である。

[0035] 次に、図7～図12を参照して、上述の反強磁性層を備える磁気メモリ素子の実施例1～6を説明する。実施例1では、ホールバー構造の磁気メモリ素子を対象とし (図7参照)、実施例2及び3では、磁気抵抗素子を備える磁気メモリ素子を対象とし (図8及び図9参照)、実施例4～6では、光信号に対応するデータを書き込み可能なフォトニックスピンレジスタを対象とする (図10～図12参照)。いずれの実施例においても、1つ又は2つ以上の第1グレインが1ビットの情報に対応している。

実施例 1

- [0036] 図7に、実施例1に係る磁気メモリ素子100の構成を示す。磁気メモリ素子100は、基板10と、基板10上に積層されたスピホール層12と、スピホール層12に接触する反強磁性層14とを備える。
- [0037] 基板10は、MgO、SiO₂などの絶縁体からなる。スピホール層12は、スピホール効果を示す材料（以下、スピホール材料）からなり、例えば、タンタル（Ta）、タングステン（W）、白金（Pt）などの非磁性重金属、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。反強磁性層14は、上述のように異常ホール効果を発現する反強磁性体の多結晶薄膜であり、平均粒径が20nm～200nmの範囲をとる1又は複数の第1グレインを有し、各第1グレインの内部に、平均粒径が第1グレインの1/2以下の複数の第2グレインが存在する。とりわけ、第2グレインの平均粒径は、第1グレインの1/20～1/2の範囲をとることがより望ましい。
- [0038] 磁気メモリ素子100の長手方向（x方向）の両端部には、電極16a及び16bが配置され、短手方向（y方向）には電極18a及び18bが配置されている。例えば、電極16a及び16bと電極18a及び18bは、Au/Tiからなる。
- [0039] 磁気メモリ素子100にデータを書き込むとき、電極16aと電極16bとの間のスピホール層12に書き込み電流 I_{write} （パルス電流）を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）にスピ流が発生し、スピ軌道トルク（SOT）が反強磁性層14の磁気秩序（磁化）に働くことによって、磁気秩序が反転する。このとき、x方向に弱いバイアス磁場を印加することで、反強磁性層14の磁気秩序がバイアス磁場の影響を受け、磁気秩序の旋回方向が定まる。
- [0040] このようにして、反強磁性層14にデータ（“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14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。

[0041] 反強磁性層14に記憶されたデータを読み出すときは、電極16aと電極16bとの間の反強磁性層14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電極18aと電極18bとの間でホール電圧 V_H が検出される。ホール電圧 V_H の符号は、反強磁性層14の磁気秩序の z 成分によって決まる。例えば、反強磁性層14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。

[0042] なお、図7に示す磁気メモリ素子100の代わりに、反強磁性層14上にスピホール層12を積層する構成（基板／反強磁性層／スピホール層）を採用してもよい。また、反強磁性層14を、異なる符号のスピホール角を有するスピホール材料からなる2つのスピホール層で上下に挟むようにしてもよい。

実施例 2

[0043] 図8に、実施例2に係る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、スピホール層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。

[0044] スピホール層220は、図7のスピホール層12と同様に、スピホール材料からなる。磁気抵抗素子210は、スピホール層220に接触し、磁気秩序（磁化）が反転可能な反強磁性層である自由層212と、自由層212上に積層された非磁性層214と、非磁性層214上に積層され、磁気秩序が面内又は面直方向に固定された参照層216とを備える。図8では、自由層212及び参照層216の磁気秩序が面直方向を向いている場合を示している。

[0045] 自由層212は、上述の図7の反強磁性層14と同様に異常ホール効果を発現する反強磁性体からなる。非磁性層34は、絶縁体（例えば、 MgO 、

AlO_x、又はMgAl₂O₄)からなる。参照層216は、強磁性体(例えば、CoFeB)からなる。なお、参照層216は、自由層212と同じ反強磁性体からなってもよく、この場合、参照層216の反強磁性体は自由層212の反強磁性体よりも保磁力が大きい。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。

[0046] 磁気抵抗素子210には、抵抗状態に応じて“0”及び“1”の1ビットのデータが割り当てられる。例えば、自由層212及び参照層216がMn₃Snからなる場合、参照層216のクラスター磁気八極子の磁気秩序と自由層212のクラスター磁気八極子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。例えば、平行状態のデータを“0”、反平行状態のデータを“1”と割り当てることができる。なお、実験的に、磁気抵抗素子210は、平行状態のときに高抵抗状態、反平行状態のときに低抵抗状態になることもある。

[0047] 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、スピホール層220の一端部に第2端子232が接続され、スピホール層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。

[0048] 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。

[0049] 図8に示すように自由層212及び参照層216の磁気秩序が面直方向を

向いている場合、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Tr1及びTr2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との間でスピホール層220の面内方向に書き込み電流 I_{write} が流れることで面直方向にスピ流が発生し、SOTによって自由層212の磁気秩序が反転され、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。

[0050] 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Tr1及びTr2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、スピホール層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。

実施例 3

[0051] 図9に、実施例3に係る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。

[0052] 磁気抵抗素子310は、磁気秩序が面内又は面直方向に固定された参照層316と、参照層316上に積層された非磁性層314と、非磁性層314上に積層され、磁気秩序が反転可能な反強磁性層である自由層312とを備える。自由層312、非磁性層314、及び参照層316は、それぞれ、図8の自由層212、非磁性層214、及び参照層216と同じ材料からなる。図9では、自由層312及び参照層316の磁気秩序が面直方向を向いて

いる場合を示している。図8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1ビットのデータが割り当てられる。

[0053] 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。

[0054] トランジスタTrは、例えば、NMOSトランジスタである。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。

[0055] 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、スピントランスファトルクによって自由層312の磁気秩序が反転され、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。

[0056] 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。

[0057] なお、実施例2（図8）及び実施例3（図9）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は非磁性金属（導体）からなる。

[0058] また、実施例2（図8）において、自由層212として、反強磁性層に非常に薄い1nm以下の強磁性層（例えば、CoFeB）を積層した構造（反強磁性層／強磁性層）を用い、反強磁性層／強磁性層／非磁性層／参照層から

なる磁気抵抗素子を採用してもよい。この積層構造を上下逆にして、実施例 3（図 9）において、参照層／非磁性層／強磁性層／反強磁性層からなる磁気抵抗素子を採用してもよい。このように、反強磁性層と非常に薄い強磁性層が磁氣的に結合すると、反強磁性体なみの高速制御ができるとともに、強磁性体のスピン偏極を使うことができるので、高速メモリを期待することができる。

実施例 4

[0059] 図 10 に、実施例 4 に係るフォトニックスピンレジスタ 400 の構成を示す。フォトニックスピンレジスタ 400 は、光レシーバ 410 と磁気メモリ素子 420 とを備える。

[0060] 磁気メモリ素子 420 は、スピンホール層 430 と、スピンホール層 430 に接触し、磁気秩序（磁化）が反転可能な反強磁性層 440 とを備える。スピンホール層 430 は、図 7 のスピンホール層 12 と同様に、スピンホール材料からなる。反強磁性層 440 は、図 7 の反強磁性層 14 と同様に、異常ホール効果を発現する反強磁性体からなる。

[0061] 光レシーバ 410 は、基板上に設けられた光導波路 412 と、基板上で光導波路 412 に接続された受光器 414 とを備える。受光器 414 は、光電変換素子 416 と、光電変換素子 416 を挟む第 1 金属膜 418 a 及び第 2 金属膜 418 b とを備え、プラズモン導波路を構成する。

[0062] 光電変換素子 416 は、誘電体（半導体又は絶縁体）からなり、光導波路 412 に連続的に接続されている。光電変換素子 416 の幅は光導波路 412 の幅よりも狭く、光導波路 412 は、光電変換素子 416 との接続部分が、光電変換素子 416 に向けて幅が狭くなるテーパ形状となっている。光電変換素子 416 の幅を狭くするほど、光の閉じ込め効果が大きく、光を回折限界以下に集光することが可能となり、光電変換素子 416 と光電界との相互作用が強くなる。

[0063] 第 1 金属膜 418 a 及び第 2 金属膜 418 b は、Au、Ag 等の金属からなる。第 2 金属膜 418 b は、スピンホール層 430 の一端に接続されてい

る。第1金属膜418aは電極としての機能も有しており、バイアス電圧が印加される。スピホール層430の他端には電極450が接続されており、電極450は接地されている。

[0064] 次に、光信号PLに対応するデータを磁気メモリ素子420に書き込む動作を説明する。直列に入力されたパルス振幅変調された光信号PLが光導波路412を介して光電変換素子416に入力されると、光信号PLは、光電変換素子416と第1金属膜418a及び第2金属膜418bとの界面で表面プラズモンポラリトンとなって伝搬し、周辺に強い電場が発生する。このとき、バイアス電圧の印加により、受光器414からスピホール層430にパルス電流である光電流 I_{ph} が流れ、電極450に流れ込む。

[0065] スピホール層430に書き込み電流としての光電流 I_{ph} が面内方向に流れると、スピホール層430において面直方向にスピ流が発生し、反強磁性層440の磁気秩序にSOTが働くことで、磁気秩序が反転する。このようにして、光信号PLに対応するデータを反強磁性層440に書き込むことができる。ここで、光電流 I_{ph} は、光信号PLに応じたパルス電流であるため、所定値以上の電流密度の電流が流れるパルス幅の期間に磁気秩序が反転し、それ以外の期間は、磁気秩序の反転は起こらない。

[0066] 反強磁性層440に記憶されたデータを読み出すときは、反強磁性層440に光電流 I_{ph} と同じ方向の読み出し電流（直流）を流す。これにより、異常ホール効果によって、読み出し電流と直交する方向にホール電圧が発生し、反強磁性層440の端子442aと端子442bとの間のホール電圧が検出される。

[0067] このように、フォトニックスピンレジスタ400は、受光器414からの光電流 I_{ph} で反強磁性層440の磁気秩序を反転させることができ、スピントロニクスを利用した高速の光電インターフェースを実現することができる。

実施例 5

[0068] 図11に、実施例5に係るフォトニックスピンレジスタ500の構成を示

す。フォトニックスピンレジスタ500は、光レシーバ410と磁気メモリ素子520とを備える。フォトニックスピンレジスタ500は、図10に示すフォトニックスピンレジスタ400の磁気メモリ素子420を磁気メモリ素子520に置き換えた構成と同等である。

- [0069] 磁気メモリ素子520は、スピホール層530と、スピホール層530上に積層された磁気抵抗素子540とを備える。
- [0070] スピホール層530は、図7のスピホール層12と同様に、スピホール材料からなる。スピホール層530の一端は、受光器414の第2金属膜418bに接続され、他端は電極450に接続されている。
- [0071] 磁気抵抗素子540は、スピホール層530に接触し、磁気秩序（磁化）が反転可能な反強磁性層である自由層542と、自由層542上に積層された非磁性層544と、非磁性層544上に積層され、磁気秩序が面内又は面直方向に固定された参照層546とを備える。自由層542、非磁性層544、及び参照層546は、それぞれ、図8の自由層212、非磁性層214、及び参照層216と同じ材料からなる。参照層546は端子551に接続されている。
- [0072] パルス振幅変調された光信号PLに対応するデータを磁気メモリ素子520に書き込むとき、光信号PLに対応する光電流 I_{ph} がスピホール層530の面内方向に流れることで面直方向にスピ流が発生し、SOTによって自由層542の磁気秩序が反転される。これにより、光信号PLに対応するデータを磁気抵抗素子540に書き込むことができる。
- [0073] 磁気抵抗素子540に記憶されたデータを読み出すときは、スピホール層530側から磁気抵抗素子540に向けて面直方向に読み出し電流を流す。端子551を介して読み出し電流の大きさを計測することで、磁気抵抗素子540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。
- [0074] このように、フォトニックスピンレジスタ500は、受光器414からの光電流 I_{ph} で自由層542の磁気秩序を反転させることができ、スピントロ

ニクスを利用した高速の光電インターフェースを実現することができる。

実施例 6

[0075] 実施例 6 は、光信号を反強磁性層に照射して磁気秩序（磁化）を反転させる全光型磁化反転（All-Optical magnetization Switching: AOS）を利用したフォトニクスピンレジスタを対象とする。

[0076] 図 12 に、実施例 6 に係るフォトニクスピンレジスタ 600 の構成を示す。フォトニクスピンレジスタ 600 は、光照射部 610 と、磁気メモリ素子としての反強磁性層 620 とを備える。

[0077] 反強磁性層 620 は、図 7 の反強磁性層 14 と同様に、異常ホール効果を発現する反強磁性体からなる。

[0078] 光照射部 610 は、光出力部 612 とレンズ 614 とを備える。光出力部 612 は、パルス振幅変調された超短パルス光である光信号 PL を出射する。光出力部 612 から出射された光信号 PL は、レンズ 614 によって反強磁性層 620 内に集光される。ここで、光信号 PL はパルス光であるため、閾値以上の強度の光が照射されたときに反強磁性層 620 の磁気秩序が反転し、閾値未満の強度の光が照射されたときは、磁気秩序の反転は起こらない。このようにして、光信号 PL に対応するデータを反強磁性層 620 に書き込むことができる。反強磁性層 620 に記憶されたデータを読み出すときは、例えば、実施例 1 及び 4（図 7 及び図 10）と同様に、異常ホール効果を用いることができる。

[0079] フォトニクスピンレジスタ 600 は、実施例 4 及び 5（図 10 及び図 11）とは異なり、受光器を必要とせず（すなわち、光信号 PL を光電流に変換する必要がなく）、光で直接、反強磁性層 620 の磁気秩序の方向を制御することができる。したがって、光電流による消費電力を完全に抑えることができる。

[0080] なお、実施例 1（図 7）において、複数の磁気メモリ素子 100 を備えた磁気メモリ装置を構成してもよい。また、実施例 2（図 8）において、複数の磁気メモリ素子 200 をマトリクス状に配列した磁気メモリ装置を構成し

てもよい。同様に、実施例3（図9）においても、複数の磁気メモリ素子300をマトリクス状に配列した磁気メモリ装置を構成するようにしてもよい。さらに、実施例1～3の磁気メモリ素子又は実施例4～6のフォトニックスピンレジスタを備えたコンピュータシステム又は情報処理システムを構成するようにしてもよい。

[0081] また、実施例1及び2（図7及び図8）、実施例4及び5（図10及び図11）では、反強磁性層（自由層）にスピホール層を接触させ、SOTによって反強磁性層の磁気秩序を反転させたが、これらの実施例において、スピホール層を設けずに反強磁性層の単膜でも磁気秩序の反転を期待することができる。

[0082] 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。

符号の説明

- [0083] 1、10 基板
2、14、440、620 反強磁性層
12、220、430、530 スピホール層
100、200、300、420、520 磁気メモリ素子
210、310、540 磁気抵抗素子
212、312 自由層
214、314 非磁性層
216、316 参照層
400、500、600 フォトニックスピンレジスタ
410 光レシーバ
412 光導波路
414 受光器
416 光電変換素子
610 光照射部

請求の範囲

- [請求項1] 異常ホール効果を発現する反強磁性体からなり、平均粒径が20nm～200nmの範囲をとる1又は複数の第1グレインを有し、各第1グレインの内部に複数の第2グレインが存在する多結晶の反強磁性層を備え、
前記反強磁性体の磁気秩序は反転可能である、磁気メモリ素子。
- [請求項2] 各第2グレインの平均粒径は、各第1グレインの平均粒径の1/2以下である、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項3] 各第2グレインの平均粒径は、各第1グレインの平均粒径の1/20～1/2の範囲をとる、請求項2に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項4] 前記反強磁性体は時間反転対称性を巨視的に破るスピン構造を有する、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項5] 前記反強磁性体はキャントした反強磁性体である、請求項1に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項6] 前記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7] 前記反強磁性層に接触し、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面直方向にスピン流が発生するスピンホール層を備え、
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反強磁性体の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1～6の何れか1項に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項8] 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面直方向にスピン流が発生するスピンホール層と、
前記スピンホール層に接触し、前記スピン流によって生じたスピン軌道トルクが前記反強磁性体の磁気秩序に働くことによって前記磁気秩序が反転可能な前記反強磁性層である自由層と、
磁性体からなり、前記磁性体の磁気秩序が固定された参照層と、

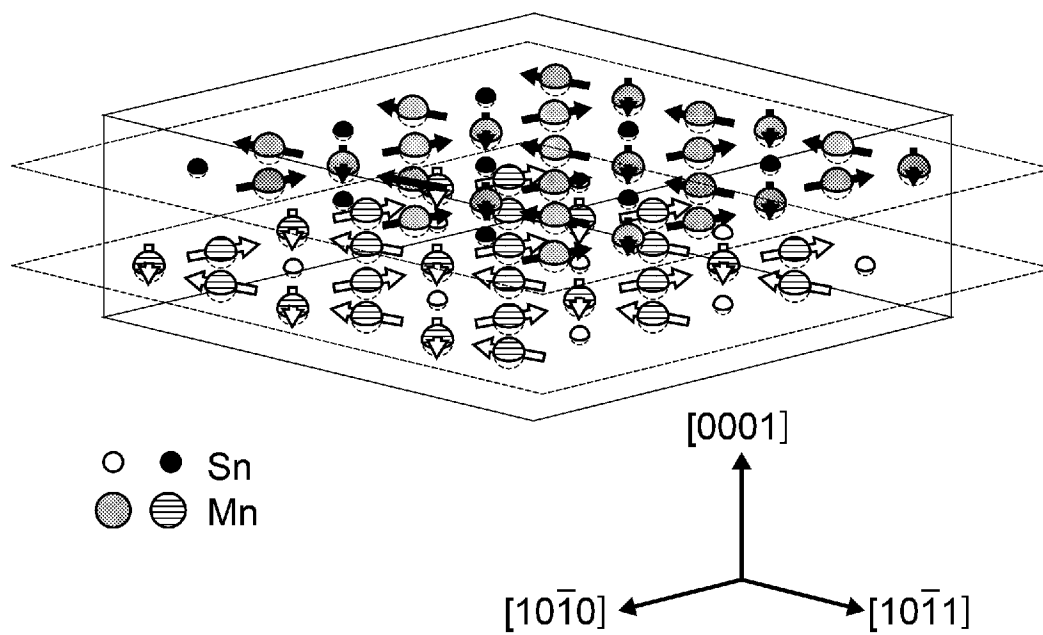
- 前記自由層と前記参照層との間に設けられた非磁性層と、
を備える、請求項 1～6 の何れか 1 項に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項9] 磁性体からなり、前記磁性体の磁気秩序が固定された参照層と、
面直方向に書き込み電流が流れると、スピントランスファトルクによって前記反強磁性体の磁気秩序が反転可能な前記反強磁性層である自由層と、
前記参照層と前記自由層との間に設けられた非磁性層と、
を備える、請求項 1～6 の何れか 1 項に記載の磁気メモリ素子。
- [請求項10] 複数の磁気メモリ素子を備えた磁気メモリ装置であって、
前記複数の磁気メモリ素子の各々は、請求項 7 に記載の磁気メモリ素子として定義される、磁気メモリ装置。
- [請求項11] 複数の磁気メモリ素子を備えた磁気メモリ装置であって、
前記複数の磁気メモリ素子の各々は、請求項 8 に記載の磁気メモリ素子として定義される、磁気メモリ装置。
- [請求項12] 複数の磁気メモリ素子を備えた磁気メモリ装置であって、
前記複数の磁気メモリ素子の各々は、請求項 9 に記載の磁気メモリ素子として定義される、磁気メモリ装置。
- [請求項13] 請求項 7 に記載の磁気メモリ素子と、
パルス振幅変調された光信号を受光して光電流に変換する受光器と、
を備え、
前記スピホール層に、面内方向に前記書き込み電流として前記光電流が流れると面直方向に前記スピ流が発生する、フォトニックスピンレジスタ。
- [請求項14] 請求項 8 に記載の磁気メモリ素子と、
パルス振幅変調された光信号を受光して光電流に変換する受光器と、
を備え、
前記スピホール層に、面内方向に前記書き込み電流として前記光電流が流れると面直方向に前記スピ流が発生する、フォトニックス

ピンレジスタ。

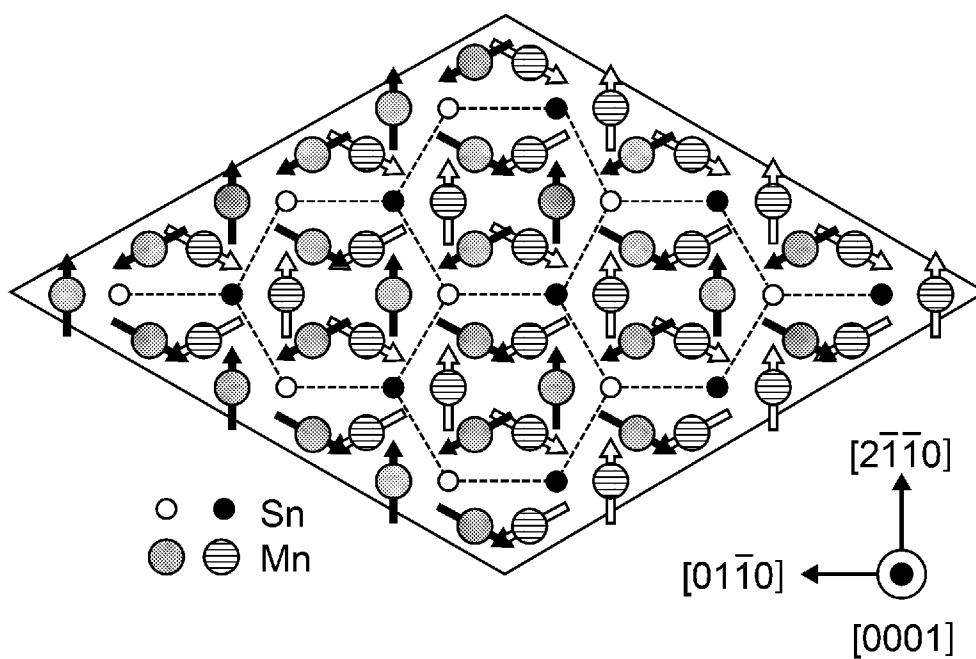
[請求項15]

請求項1～6の何れか1項に記載の磁気メモリ素子と、
パルス振幅変調された光信号を前記反強磁性層に照射する光照射部
と、を備え、
前記反強磁性層では、前記光信号の照射により、前記反強磁性体の
磁気秩序が反転可能である、フォトニックスピントリスタ。

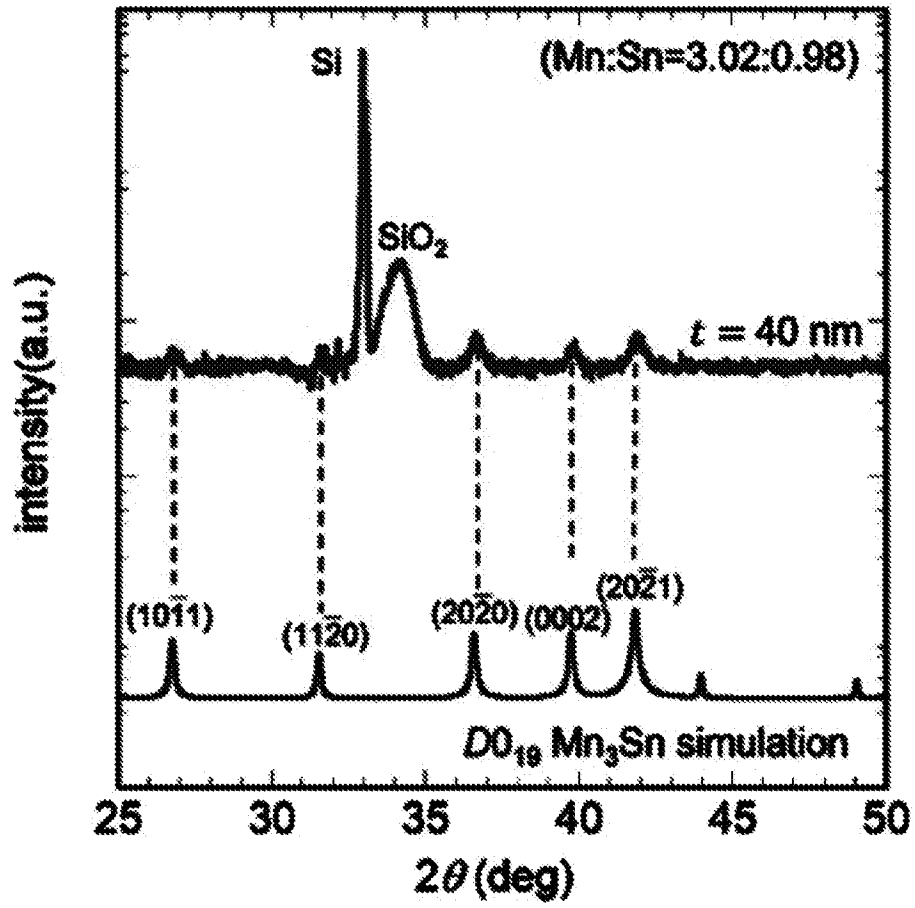
[図1A]



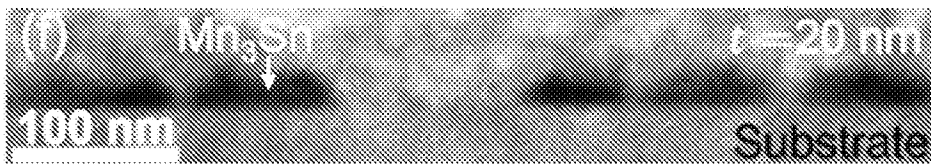
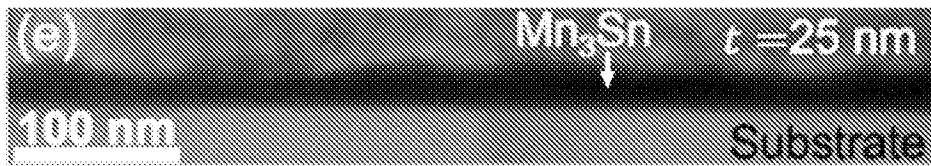
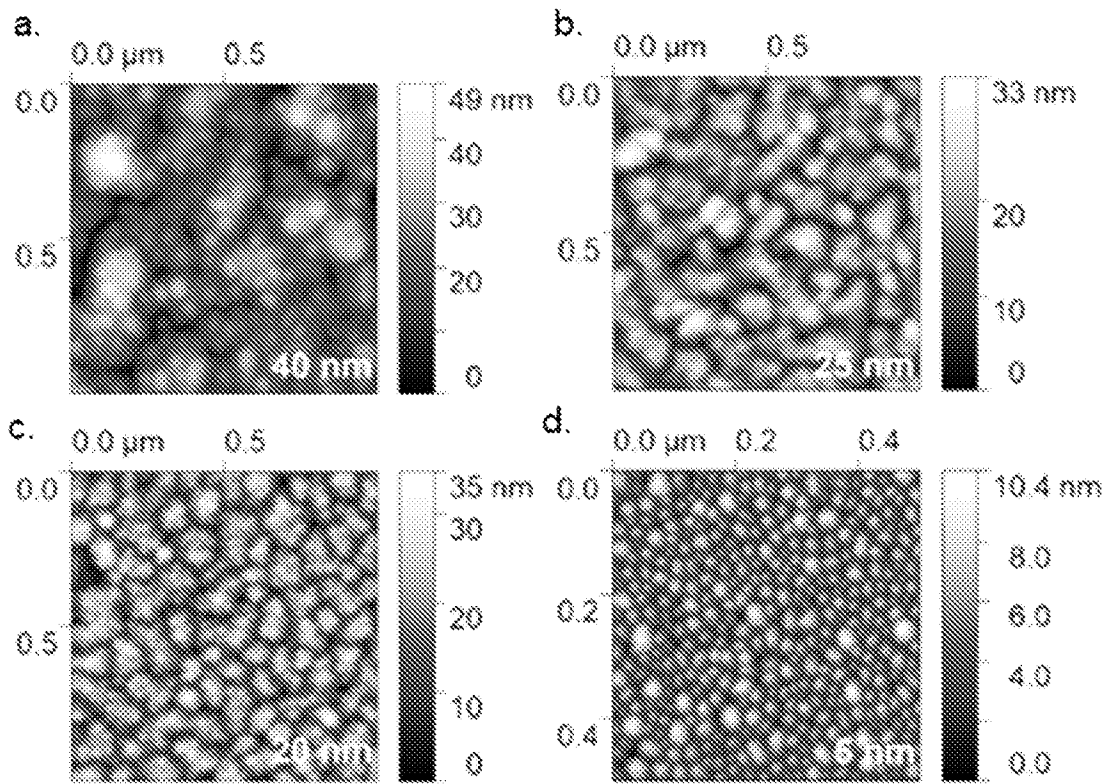
[図1B]



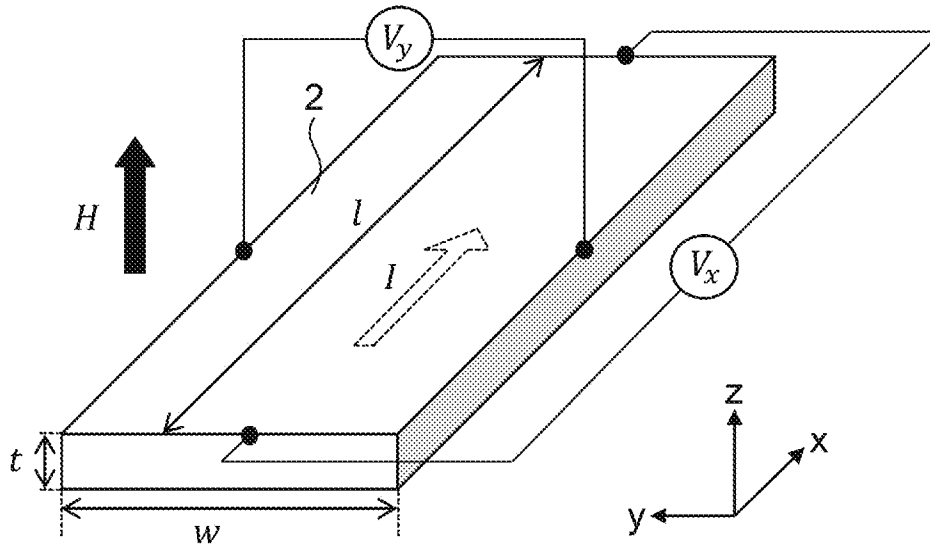
[図2]



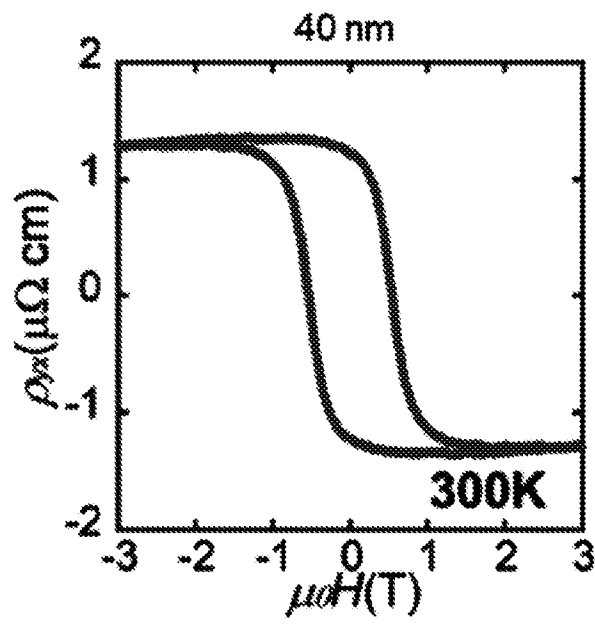
[図3]



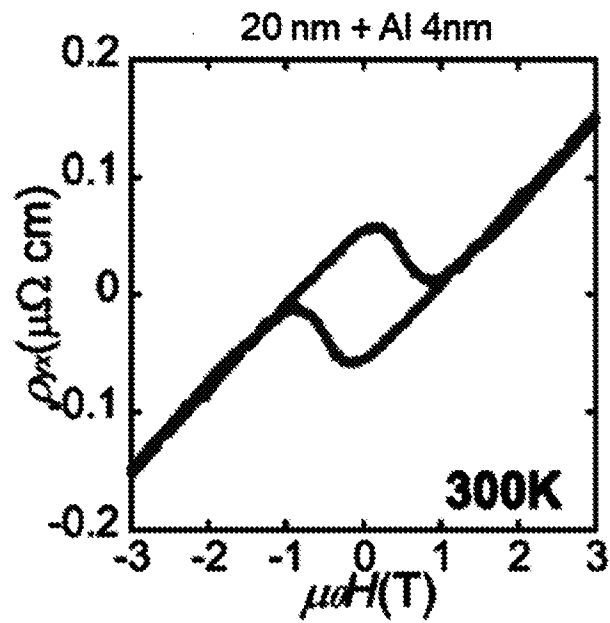
[図4]



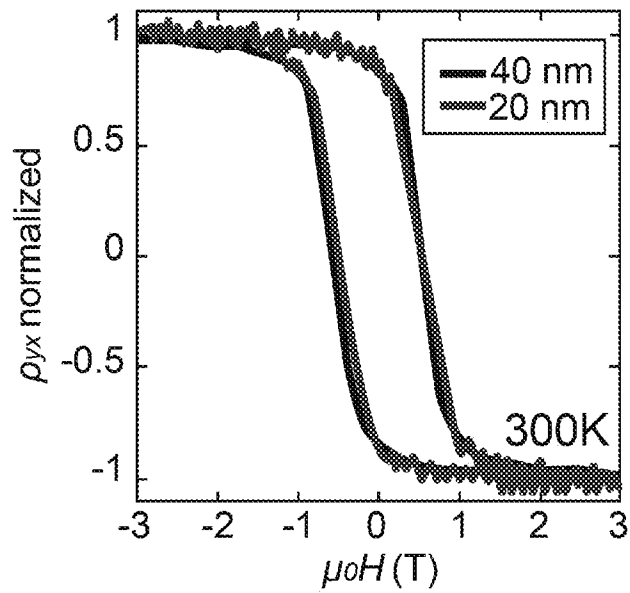
[図5A]



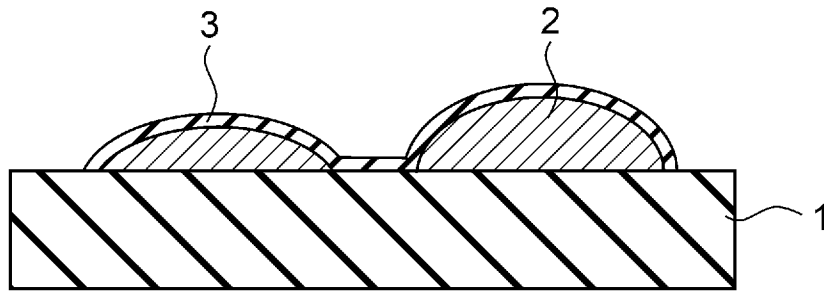
[圖5B]



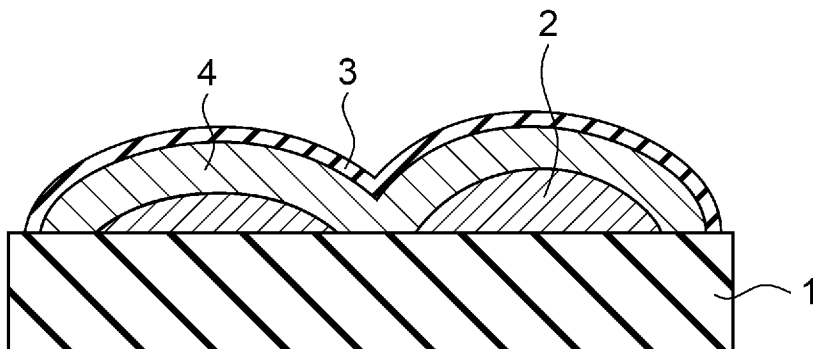
[圖5C]



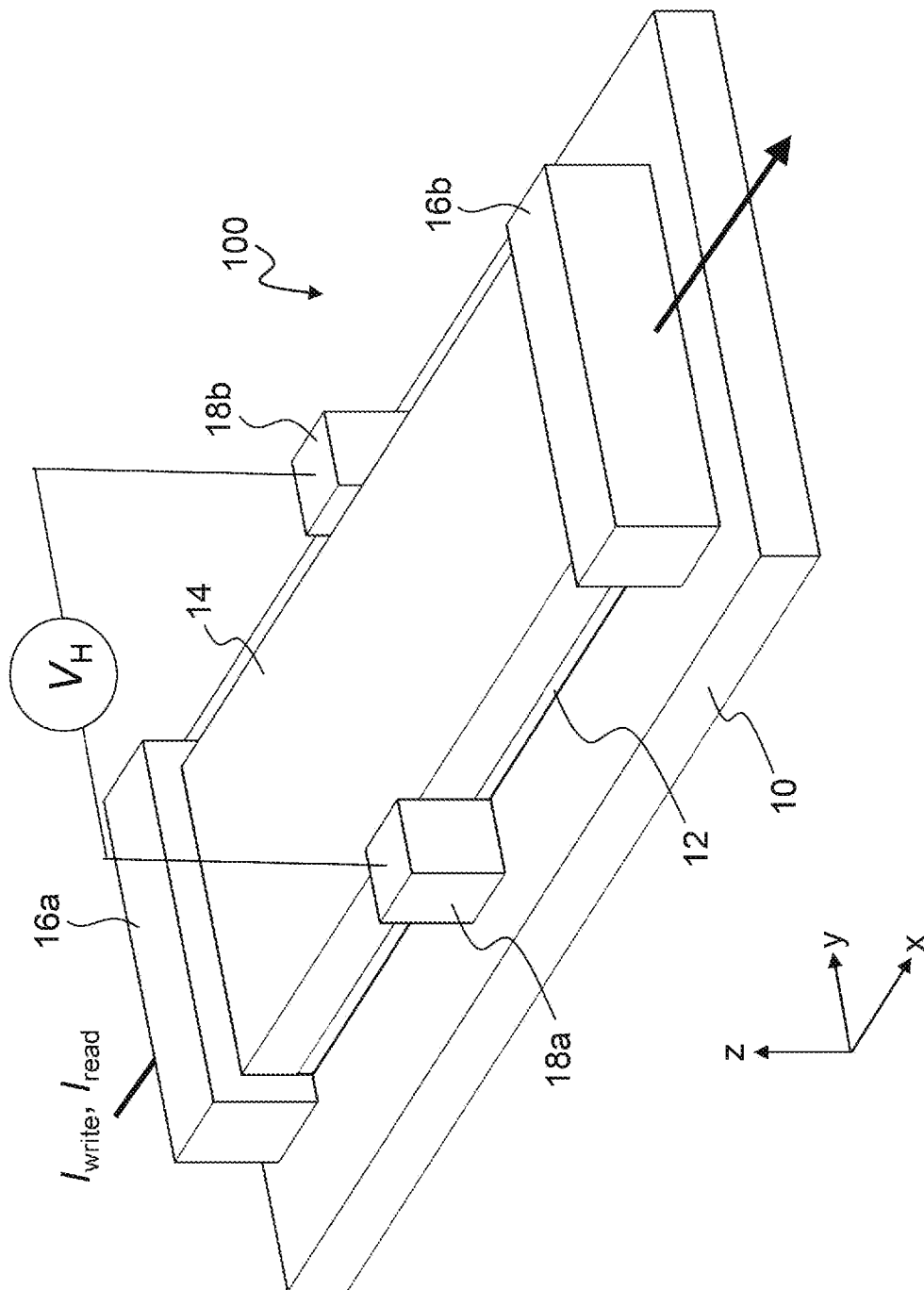
[図6A]



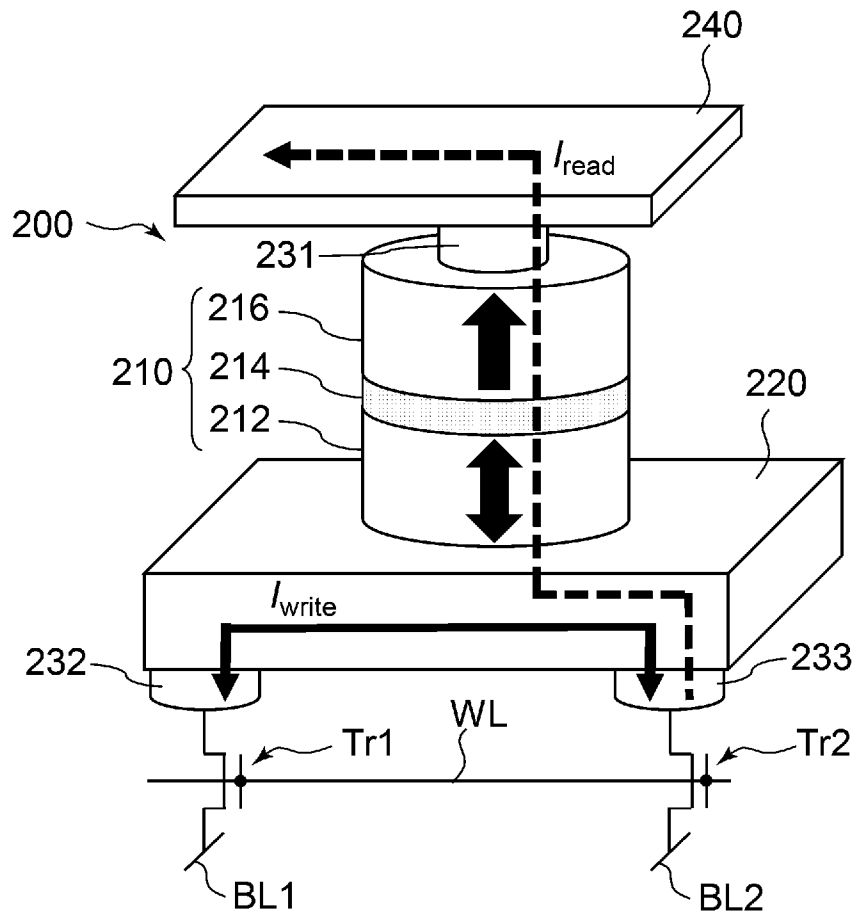
[図6B]



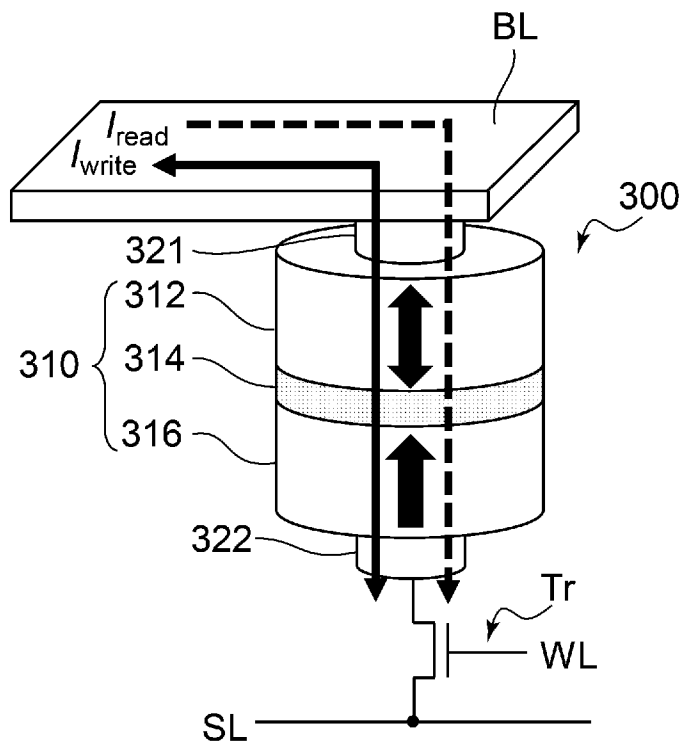
[図7]



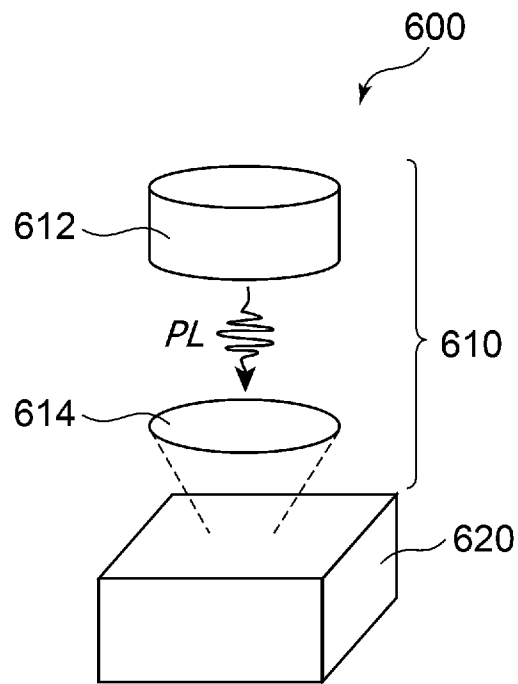
[図8]



[図9]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/012153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H10B 61/00</i> (2023.01)i; <i>H01L 29/82</i> (2006.01)i; <i>H10N 50/80</i> (2023.01)i; <i>H10N 52/00</i> (2023.01)i FI: H10B61/00; H01L29/82 Z; H10N52/00 Z; H10N50/80 Z		
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) H10B61/00; H01L29/82; H10N50/80; H10N52/00		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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 2022/220251 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 20 October 2022 (2022-10-20) paragraphs [0006], [0034]-[0038], [0057]-[0059], [0065], [0068]-[0070], [0075], fig. 4A, 4B, 13, 14	1-15
Y	JP 10-284321 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 23 October 1998 (1998-10-23) paragraphs [0010], [0025], [0027], [0030], [0031], [0051], fig. 3	1-15
Y	WO 2022/158545 A1 (THE UNIV. OF TOKYO) 28 July 2022 (2022-07-28) paragraphs [0006], [0026]-[0028], [0067]-[0071], fig. 1, 8	13-15
A		1-12
A	WO 2020/166722 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 20 August 2020 (2020-08-20) entire text, all drawings	1-15
<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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 07 June 2024		Date of mailing of the international search report 18 June 2024
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/JP2024/012153

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2022/220251	A1	20 October 2022	CN	117356199	A	
JP	10-284321	A	23 October 1998	US	5976713	A	column 3, lines 3-20, column 6, line 66 to column 7, line 19, column 7, line 61 to column 8, line 27, column 8, line 64 to column 9, line 20, column 13, lines 24-33, fig. 3
				CN	1206175	A	
				CN	1523575	A	
WO	2022/158545	A1	28 July 2022	US	2023/0368854	A1	paragraphs [0006], [0050]-[0052], [0091]-[0095], fig. 1, 8
				CN	116889116	A	
WO	2020/166722	A1	20 August 2020	US	2022/0149269	A1	entire text, all drawings

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H10B 61/00(2023.01)i; H01L 29/82(2006.01)i; H10N 50/80(2023.01)i; H10N 52/00(2023.01)i FI: H10B61/00; H01L29/82 Z; H10N52/00 Z; H10N50/80 Z		
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）） H10B61/00; H01L29/82; H10N50/80; H10N52/00 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 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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
Y	WO 2022/220251 A1 (国立大学法人東京大学) 20.10.2022 (2022 - 10 - 20) [0006], [0034] - [0038], [0057] - [0059], [0065], [0068] - [0070], [0075], 図4A - 4B, 13 - 14	1-15
Y	JP 10-284321 A (株式会社東芝) 23.10.1998 (1998 - 10 - 23) [0010], [0025], [0027], [0030] - [0031], [0051], 図3	1-15
Y A	WO 2022/158545 A1 (国立大学法人東京大学) 28.07.2022 (2022 - 07 - 28) [0006], [0026] - [0028], [0067] - [0071], 図1, 8	13-15 1-12
A	WO 2020/166722 A1 (国立大学法人東京大学) 20.08.2020 (2020 - 08 - 20) 全文, 全図	1-15
<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。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 07.06.2024	国際調査報告の発送日 18.06.2024	
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） 宮本 博司 5F 6313 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/JP2024/012153

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/220251	A1	20.10.2022	CN	117356199	A	
JP	10-284321	A	23.10.1998	US	5976713	A	
					第3欄第3 - 20行, 第6欄第66行 - 第7欄第19行, 第7欄第61行 - 第8欄第27行, 第8欄第64行 - 第9欄第20行, 第13欄第24 - 33行, 図3		
				CN	1206175	A	
				CN	1523575	A	
WO	2022/158545	A1	28.07.2022	US	2023/0368854	A1	
					[0006], [0050] - [0052], [0091] - [0095], 図1, 8		
				CN	116889116	A	
WO	2020/166722	A1	20.08.2020	US	2022/0149269	A1	
					全文, 全図		