

(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
2020年8月20日(20.08.2020)



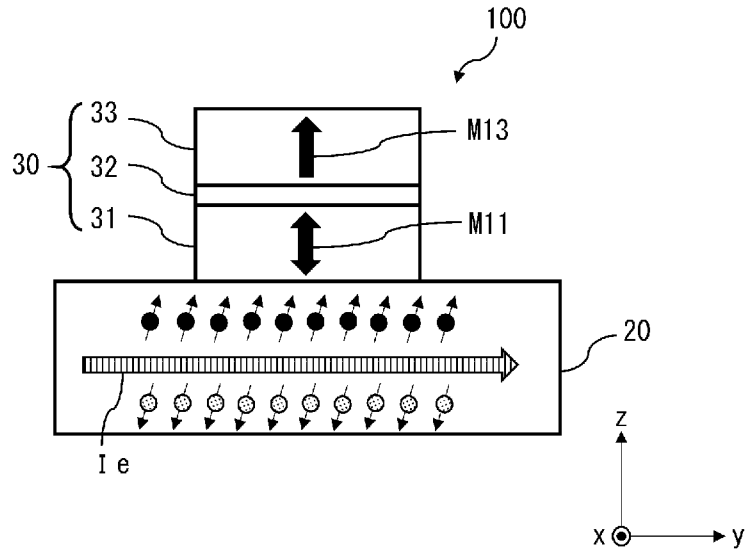
(10) 国際公開番号

WO 2020/166722 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) *H01L 27/105* (2006.01)
H01L 43/10 (2006.01) *H01L 29/82* (2006.01)
H01L 21/8239 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/005901
- (22) 国際出願日: 2020年2月14日(14.02.2020)
- (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 2019-025853 2019年2月15日(15.02.2019) 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). 大谷 義近 (OTANI Yoshichika); 〒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: 特許業務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411号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: SPINTRONICS ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY DEVICE

(54) 発明の名称: スピントロニクス素子及び磁気メモリ装置



(57) Abstract: A spintronics element (100) is provided with an antiferromagnetic layer (20) and an MTJ element (30). The antiferromagnetic layer (20) is made from a canted antiferromagnetic material having a canted magnetic moment and a weak magnetization, and, when a current flows in one direction (y-axis direction) parallel to a plane, generates spin accumulation in which electron spins are polarized in parallel or diagonally to a normal direction (z-axis direction). The MTJ element (30) is stacked on the antiferromagnetic layer (20) and comprises a ferromagnetic material having a magnetization (M11) in the normal direction, which is a stacking direction, wherein the magnetization (M11) can be inverted as a spin orbit torque acts on the magnetization (M11) due to a spin flow generated in the antiferromagnetic layer (20).

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))

(57) 要約: スピントロニクス素子 (100) は、反強磁性層 (20) とMTJ素子 (30) とを備える。反強磁性層 (20) は、磁気モーメントがキャントして微小な磁化を有するキャントした反強磁性体からなり、面内に平行な一方向 (y軸方向) に電流が流れると、電子のスピンの面直方向 (z軸方向) に平行に又は斜めに偏極したスピン蓄積を生成する。MTJ素子 (30) は、反強磁性層 (20) に積層され、積層方向である面直方向の磁化 (M11) を有する強磁性体を含み、反強磁性層 (20) において生成されたスピン流によって磁化 (M11) にスピン軌道トルクが働くことで、磁化 (M11) が反転可能である。

明 細 書

発明の名称：スピントロニクス素子及び磁気メモリ装置

技術分野

[0001] 本発明は、スピントロニクス素子及び磁気メモリ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、不揮発性メモリとして磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）の研究が進んでいる。現在実用化されているMRAMは、スピントランスファートルク（STT）を用いたSTT-MRAMである（例えば、特許文献1参照）。しかしながら、STT-MRAMは、書き込みと読み出しに同一の電流パスを使うため、書き換え耐性に難がある。一方、書き換え耐性の大幅な向上が期待されるスピン軌道トルク（SOT）を用いたMRAM（SOT-MRAM）の研究及び開発が進んでいる（例えば、特許文献2参照）。

[0003] 面内磁化のSOT-MRAMは、形状磁気異方性を利用しているため、メモリセルのサイズが大きい。また、面内の磁化容易軸方向から面内の磁化困難軸方向への異方性磁場は0.1 T程度であるのに対し、面直方向に飽和させるためには、形状磁気異方性のために1 T級の大きなバリアがある。このように、面内磁化のSOT-MRAMは、磁化反転の際に異方的なパスを通過するため、磁化の複雑な歳差運動を起こし、書き込みエラーが起こる可能性が高くなる。また、磁化反転の際に有効的に大きなバリアを感じるため、磁化反転に必要な電流が大きくなる。

[0004] 一方、垂直磁化のSOT-MRAMは、形状磁気異方性を利用しないため、メモリセルの小型化が可能となる。また、界面磁気異方性に起因する一軸異方性磁場は0.1 T程度であるため、磁化反転の際のバリアは小さく、面内磁化のSOT-MRAMよりも、磁化反転に必要な電流は小さくなり、消費電力を抑えることができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許第8981503号明細書

特許文献2：特許第6178451号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、従来の垂直磁化のSOT-MRAMは、磁化の回転方向を定めるため、一方向にバイアス磁場を印加する必要があった。このため、バイアス磁場を発生させる機構を設ける必要があった。

[0007] ここで、隣接する磁気モーメントの向きが互い違いの磁気秩序を有する反強磁性体を強磁性体に隣接させると、交換バイアス(exchange bias)の作用によって、強磁性体に一方向のバイアス磁場が作用することが知られている。交換バイアスにより面内方向のバイアス磁場が発生すると、理論的には、外部磁場を要することなく(すなわち、ゼロ磁場で)、強磁性体においてスピントロニクス素子及び磁気メモリ装置を提供することを目的とする。

[0008] しかしながら、交換バイアスを利用して強磁性体の磁化反転を繰り返すと、トレーニング効果(training effect)によって、反強磁性体と強磁性体との界面に働いている交換バイアス磁場が減少してくるため、磁化反転が起こりにくくなってしまうという問題が生じる。

[0009] 本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、交換バイアスを用いることなくゼロ磁場で、スピントロニクス素子及び磁気メモリ装置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

[0010] 本発明の実施形態に係るスピントロニクス素子は、反強磁性層と磁気抵抗素子とを備える。反強磁性層は、磁気モーメントがキャントして微小な磁化を有するキャントした反強磁性体からなり、面内に平行な一方向に電流が流れると、電子のスピンの面直方向にスピン偏極した、又は面直方向に対して斜めにスピン偏極したスピン蓄積を生成する。磁気抵抗素子は、反強磁性層に積層され、積層方向である面直方向の垂直磁化を有する強磁性体を含み、反強磁性層において生成されたスピン流によって垂直磁化にスピントロニクス素子及び磁気メモリ装置を提供することを目的とする。

クが働くことで、垂直磁化が反転可能である。

[0011] 本発明の実施形態に係る磁気メモリ装置は、複数のメモリセルがマトリクス状に配置され、複数のメモリセルの各々が、上記のスピン트로ニクス素子を有し、ビット線及びワード線に接続されている。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、キャントした反強磁性体からなる反強磁性層において、電子のスピンが面直方向に平行に又は斜めにスピン偏極したスピン蓄積が生成されることで、交換バイアスを用いることなくゼロ磁場で、反強磁性層に積層された強磁性体における垂直磁化を反転させることができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1A] Mn_3Sn の実空間における磁気構造及び運動量空間における仮想磁場を示す模式図である。

[図1B] Mn_3Sn の実空間における磁気構造及び運動量空間における仮想磁場を示す模式図である。

[図2] 室温での Mn_3Sn のホール抵抗率及び磁化の磁場依存性を示すグラフである。

[図3] 遷移金属における従来のスピンホール効果を示す模式図である。

[図4A] Mn_3Sn が図1Aの磁気構造を有するときの磁気スピンホール効果を示す模式図である。

[図4B] Mn_3Sn が図1Bの磁気構造を有するときの磁気スピンホール効果を示す模式図である。

[図5] 遷移金属 (Pt 、 $\beta-Ta$ 、 $\beta-W$) と Mn_3Sn における電流からスピン流への変換効率を表すグラフである。

[図6] 従来のスピンホール効果によるスピン軌道トルクを用いた垂直磁化反転を説明する模式図である。

[図7] 本実施形態の磁気スピンホール効果によるスピン軌道トルクを用いた垂直磁化反転を説明する模式図である。

[図8] 本実施形態に係る磁気メモリ装置の回路構成図の一例である。

[図9]図8の磁気メモリ装置を構成するメモリセルの回路構成図の一例である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。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。

[0015] 強磁性体は、磁化を有することから、モータ、発電機、磁気センサ、磁気メモリ等の幅広い分野のデバイスにおいて主要な構成要素として利用されてきた。一方、反強磁性体は、強磁性体とは異なり、磁化が極めて小さく、応答も微小で、制御が困難であることから、応用への展開がほとんどなされていない。

[0016] 近年、スピントロニクス分野において、磁気メモリの微細化と高速処理が求められている。上述のように、反強磁性体は磁化が微小であるため、メモリセルの構成要素として反強磁性体を用いると、漏れ磁場が発生せず、磁気メモリの微細化に適しているといえる。さらに、反強磁性体は、強磁性体よりも数桁も大きい共鳴周波数（ $\sim 1\text{ THz}$ ）を有することから、高速なデータ処理が期待される。

[0017] 本実施形態では、反強磁性体の磁気メモリへの応用例について説明する。まず、反強磁性体の一例として Mn_3Sn の特性について説明する。

[0018] 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、実空間において、カゴメ格子が $[0001]$ 方向（ z 軸方向）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、 420 K 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）スピン構造を示す。二層（ $z=0$ 面と $z=1/2$ 面）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。

[0019] この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 M

n 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ティングしていることから、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ティングして微小な磁化を有する反強磁性体は、キャンティングした反強磁性体 (canted antiferromagnet) と呼ばれる。

[0020] 実際、図 2 に示すように、 Mn_3Sn において、外部磁場の印加によって数 $m\mu_B$ の僅かな磁化が室温で観測されている。この値は、通常の強磁性体の磁化の 1000 分の 1 程度でしかない。しかしながら、 Mn_3Sn において室温でホール効果を測定すると、図 2 に示すように、数百ガウス程度の低磁場によって磁化反転がみられ、これに伴い、ホール抵抗率の符号 (正負) が鋭く変化し、ホール抵抗率が約 $6\mu\Omega cm$ 変化することが観測された。これは、磁化が数 $m\mu_B$ の反強磁性体において、強磁性体に匹敵する巨大な応答を示し、且つ室温において低磁場での制御が実現可能であることを意味する。

[0021] 近年の研究により、反強磁性体における大きな異常ホール効果は、運動量空間における仮想磁場 (ベリー曲率) に由来することが明らかになっている。電磁気学の電荷に関するガウスの法則のように、この仮想磁場の湧き出しと吸い込みが、それぞれ、正の磁荷 (+) と負の磁荷 (-) に対応する。

[0022] 図 1 A において、実空間で外部磁場が x 軸正方向に印加されたとき、実空間では、 Mn_3Sn はスピンの互いにキャンセルするような磁気構造をとるが、運動量空間 (k_x 、 k_y 、 k_z) では、正の磁荷 (+) と負の磁荷 (-) が K 点を挟んで双極子を形成しており、六方晶のブリルアンゾーン境界に双極子が強磁性的に並ぶ。この外部磁場を反転させると、 Mn_3Sn における実空間の磁気構造及び運動量空間の仮想磁場は、図 1 B に示すように反転する。図 1 A 及び図 1 B に示す運動量空間での双極子の配列は、実空間での強磁性体のスピン配列と同様に、 Mn_3Sn の磁気秩序が時間反転対称性を巨視的に破っていることを意味する。

[0023] 最近の研究により、図 1 A 及び図 1 B に示すようなクラスター磁気八極子は、外部磁場の印加により操作可能であり、このクラスター磁気八極子の反

転に伴って、100 T以上もの外部磁場に対応するような大きな仮想磁場が反転し、異常ホール効果等の輸送現象が制御可能であることが明らかになっている。

[0024] 運動量空間における大きな仮想磁場を利用すれば、以下に述べるように、電流をスピン流に変換するスピホール効果が反強磁性体において発現すると考えられる。

[0025] スピホール効果とは、非磁性体等に電流を流したときに、スピン軌道相互作用による散乱により、電流に対して直交する方向にスピン流が発生する現象である。図3は、遷移金属層10における従来のスピホール効果を説明する模式図である。遷移金属層10は、スピン軌道相互作用の強い白金（Pt）、タンタル（Ta）、タングステン（W）等の遷移金属からなり、一方向（y軸方向）に延在してx-y平面に広がる板状をなす。

[0026] 図3に示すように、遷移金属層10にy軸正方向の電子流 I_e （y軸負方向の電流）を流すと、x軸正方向にスピン偏極した電子と、x軸負方向にスピン偏極した電子とが、それぞれ、z軸正方向とz軸負方向に分かれて散乱され、遷移金属層10の上面側（z軸正方向側）と下面側（z軸負方向側）にそれぞれ蓄積する。これをスピン蓄積という。このように、面直方向（z軸方向）にスピン流が生成されると、面内方向にスピン偏極した電子によってスピン軌道トルクを発生させることができる。

[0027] 本実施形態では、反強磁性体において発現するスピホール効果（以下、「磁気スピホール効果」と呼ぶ。）を扱う。

[0028] 図4Aは、 Mn_3Sn が図1Aの磁気構造をとるときの磁気スピホール効果を示し、図4Bは、 Mn_3Sn が図1Bの磁気構造をとるときの磁気スピホール効果を示す。図4A及び図4Bにおいて、反強磁性層20は Mn_3Sn からなり、一方向（y軸方向）に延在してx-y平面に広がる板状をなす。

[0029] Mn_3Sn が図1Aの磁気構造をとるとき、図4Aに示すように、反強磁性層20にy軸正方向の電子流 I_e （y軸負方向の電流）を流すと、反強磁性層20の面直方向（z軸方向）においてゼロではないスピン偏極成分が現れ

る。具体的には、反強磁性層 20 の面直方向に平行に又は斜めにスピン偏極した電子が、反強磁性層 20 の上面側（z 軸正方向側）と下面側（z 軸負方向側）に散乱され、表面に垂直成分を持つスピン蓄積が生成される。反強磁性層 20 の上面側におけるスピン蓄積のスピン偏極方向と下面側におけるスピン蓄積のスピン偏極方向は互いに逆である。

[0030] 上述のように、図 1 A に示す Mn_3Sn に対して印加された外部磁場を反転させると、図 1 B に示すように、実空間における磁気構造及び運動量空間における仮想磁場が反転する。 Mn_3Sn が図 1 B の磁気構造をとる反強磁性層 20 に対して、図 4 A と同一方向に電流を流すと、図 4 B に示すように、反強磁性層 20 の上面と下面のスピン偏極方向が反転する。

[0031] このように、外部磁場によって Mn_3Sn のスピン配列を変えることにより、表面のスピン蓄積におけるスピン偏極方向を制御することができるため、スピン軌道トルクの方角及び大きさも変化させることができる。あるいは、反強磁性層 20 に流す電流の方角を逆にすることによっても（y 軸負方角から y 軸正方角に変えることによつて、又はその逆によつて）、スピン偏極方角を反転させ、スピン軌道トルクの方角を変えることができる。

[0032] Mn_3Sn における磁気スピンホール効果によつて生成したスピン流を計測したところ、図 5 に示すように、電流からスピン流への変換効率（スピンホール角）が、スピン軌道相互作用の強い Pt、 $\beta-Ta$ 、及び $\beta-W$ よりも高いことがわかつた。

[0033] 以上より、 Mn_3Sn ではスピン軌道トルクの方角及び大きさが可変であり、且つ高い変換効率を示すことから、以下に述べるように、遷移金属における従来のスピン軌道トルクとは異なる、新しいタイプのスピン軌道トルクを発生させることができる。

[0034] 次に、図 6 及び図 7 を参照し、SOT-MRAM における垂直磁化反転について説明する。

[0035] 従来の SOT-MRAM を構成する各メモリセルは、図 6 に示すように、遷移金属層 10 に、磁気抵抗素子としての磁気トンネル接合素子（MTJ 素

子) 30が積層されたスピントロニクス素子を備える。MTJ素子30は、CoFeB等の強磁性体からなり、面直方向(z軸方向)の磁化M11が反転可能なフリー層31と、MgO等の絶縁体からなるバリア層32と、CoFeB等の強磁性体からなり、磁化M13の方向が面直方向(図6ではz軸正方向)に固定された固定層33とを有する。遷移金属層10上には、フリー層31、バリア層32及び固定層33がこの順で積層されており、積層方向が面直方向に対応する。固定層33の磁化M13とフリー層31の磁化M11が同じ向きするとき(平行状態)、MTJ素子30は低抵抗状態にあり、固定層33の磁化M13とフリー層31の磁化M11が互いに逆向きするとき(反平行状態)、MTJ素子30は高抵抗状態にある。

[0036] 上述のように、遷移金属層10に長手方向(y軸方向)の電流を流すと、面内方向(x軸方向)にスピン偏極したスピン流が面直方向(z軸方向)に生成される。ここで、フリー層31の磁化M11の回転方向を定めるため、一方向にバイアス磁場Hyを印加して、磁化M11をバイアス磁場Hyの方向に少し傾ける必要がある。図6では、y軸正方向にバイアス磁場Hyが印加された例を示している。バイアス磁場Hyは、磁石による磁場、又は電氣的に生成された外部磁場である。MTJ素子30との界面で面内方向にスピン偏極した電子は、フリー層31の磁化M11にスピン軌道トルクを及ぼす。これにより、磁化M11が、バイアス磁場Hyで定まる方向に回転することで、磁化反転が起こる。

[0037] 本実施形態のSOT-MRAMを構成するメモリセルは、図7に示すスピントロニクス素子100を備える。スピントロニクス素子100は、図7に示すように、反強磁性層20にMTJ素子30が積層された構造を有する。上述のように、反強磁性層20に長手方向(y軸方向)の電流を流すと、反強磁性層20の面直方向(z軸方向)に平行に又は斜めにスピン偏極した電子が、反強磁性層20の上面側(z軸正方向側)と下面側(z軸負方向側)に散乱され、それぞれの面でスピン蓄積が生成される。

[0038] MTJ素子30との界面において面直方向に平行に又は斜めにスピン偏極

した電子は、フリー層31の磁化M11にスピン軌道トルクを及ぼす。スピン偏極方向が面直方向を向いているか、又は面直方向に対して斜めに傾いているため、磁化M11がスピン偏極によるトルクを受けて回転することで、磁化反転が可能となる。反強磁性層20に流す電流の向きを逆にすると、スピン偏極方向が反転するため、スピン軌道トルクの向きが変わる。

[0039] 具体的には、磁化M11がz軸負方向を向いているとき、反強磁性層20の界面（上面）でz軸正方向にゼロではないスピン偏極成分を有するスピンの流が生じた場合、磁化M11はそのスピン蓄積に基づくトルクを受けて回転することで、z軸正方向に反転する。磁化M11がz軸正方向を向いているとき、反強磁性層20の界面（上面）でz軸負方向にゼロではないスピン偏極成分を有するスピンの流が生じた場合、磁化M11はそのスピン蓄積に基づくトルクを受けて回転することで、z軸負方向に反転する。

[0040] このように、本実施形態のスピン트로ニクス素子100では、磁気スピンホール効果により、面直方向に平行に又は斜めにスピン偏極したスピン蓄積を生成するため、従来のようなバイアス磁場H_yを要することなく、スピン流と磁化M11（垂直磁化）とをカップルさせることができる。すなわち、スピン流のみでMTJ素子30の垂直磁化反転が可能となる。よって、交換バイアスを必要とせず、ゼロ磁場での垂直磁化反転を実現することができることから、誤書込み耐性及び書換え耐性に優れたSOT-MRAMを提供することができる。

[0041] 次に、図8及び図9を参照して、本実施形態のSOT-MRAMに対応する磁気メモリ装置200について説明する。

[0042] 磁気メモリ装置200は、図8に示すように、メモリセルアレイ110と、Xドライバ120と、Yドライバ130と、コントローラ140とを備え、メモリセルアレイ110にXドライバ120及びYドライバ130が接続され、Xドライバ120及びYドライバ130にコントローラ140が接続されている。

[0043] メモリセルアレイ110では、複数のメモリセルMCがm×nのマトリク

ス状に配置され、各メモリセルMCは、第1ビット線 BL_i_1 及び第2ビット線 BL_i_2 ($i = 1, 2, \dots, m$) に接続されるとともに、ワード線 WL_j 及びグランド線 GND_j ($j = 1, 2, \dots, n$) に接続されている。

[0044] Xドライバ120は、複数のワード線 WL_j ($j = 1, 2, \dots, n$) に接続され、コントローラ140の制御のもとで、アクセス対象のワード線 WL_j をアクティブレベル（例えばHレベル）に駆動する。グランド線 GND_j はグランド電圧に設定されている。なお、グランド線 GND_j には、グランド電圧以外の基準電圧を設定してもよい。

[0045] Yドライバ130は、複数の一対のビット線（第1ビット線 BL_i_1 及び第2ビット線 BL_i_2 ） ($i = 1, 2, \dots, m$) に接続され、コントローラ140の制御のもとで、アクセス対象の第1ビット線 BL_i_1 及び第2ビット線 BL_i_2 の電圧レベル（Hレベル又はLレベル）を設定する。

[0046] 各メモリセルMCは、図9に示すように、MTJ素子30の固定層33に第1端子41が接続され、反強磁性層20の一端部に第2端子42が接続され、反強磁性層20の他端部に第3端子43が接続された3端子デバイスである。第2端子42にはトランジスタ Tr_1 が接続され、第3端子43にはトランジスタ Tr_2 が接続されている。本実施形態において、トランジスタ Tr_1 及び Tr_2 は、NMOS (N-channel metal oxide semiconductor) トランジスタであるものとする。

[0047] 第1端子41はグランド線 GND_j に接続され、第2端子42はトランジスタ Tr_1 のドレインに接続され、第3端子43はトランジスタ Tr_2 のドレインに接続されている。トランジスタ Tr_1 のゲート及びトランジスタ Tr_2 のゲートはワード線 WL_j に接続されている。トランジスタ Tr_1 のソースは第1ビット線 BL_i_1 に接続され、トランジスタ Tr_2 のソースは第2ビット線 BL_i_2 に接続されている。

[0048] 次に、MTJ素子30へのデータの書き込み及びMTJ素子30からのデータの読み出しについて説明する。

[0049] MTJ素子30には、抵抗状態に応じて“0”と“1”の1ビットのデー

タが割り当てられる。本実施形態では、MTJ素子30の低抵抗状態及び高抵抗状態が、それぞれ、“0”及び“1”を表すものとする。なお、MTJ素子30へのデータの割り当ては逆であってもよい。

[0050] i行j列に位置するメモリセルMCのMTJ素子30がデータ“0”を記憶している低抵抗状態、すなわち、固定層33の磁化M13とフリー層31の磁化M11が同じ向きにあるとする。この低抵抗状態で当該メモリセルMCにデータ“1”を書き込むとき、ワード線WLjがHレベルに設定され、第1ビット線BLi__1がHレベルに設定され、第2ビット線BLi__2がLレベルに設定される。これにより、トランジスタTr1及びTr2がオンとなり、反強磁性層20において書き込み電流が第1ビット線BLi__1側から第2ビット線BLi__2側へ流れ、磁気スピンホール効果により面直方向にスピン流が生成され、磁化M11にスピン軌道トルクが働くことで磁化M11が反転し、データ“1”が書き込まれる。

[0051] i行j列に位置するメモリセルMCのMTJ素子30がデータ“1”を記憶している高抵抗状態、すなわち、固定層33の磁化M13とフリー層31の磁化M11が互いに逆向きにあるとする。この高抵抗状態で当該メモリセルMCにデータ“0”を書き込むとき、ワード線WLjがHレベルに設定され、第1ビット線BLi__1がLレベルに設定され、第2ビット線BLi__2がHレベルに設定される。これにより、トランジスタTr1及びTr2がオンとなり、反強磁性層20において書き込み電流が第2ビット線BLi__2側から第1ビット線BLi__1側へ流れ、磁気スピンホール効果により面直方向にスピン流が生成され、磁化M11にスピン軌道トルクが働くことで磁化M11が反転し、データ“0”が書き込まれる。

[0052] なお、MTJ素子30がデータ“0”を記憶している状態でデータ“0”を書き込む電流を反強磁性層20に流した場合と、MTJ素子30がデータ“1”を記憶している状態でデータ“1”を書き込む電流を反強磁性層20に流した場合は、磁化M11の方向と、反強磁性層20の界面におけるスピン偏極方向とのなす角度が小さく、磁化M11に働くスピン軌道トルクが小

さくなるため、磁化 M_{11} は反転せず、データの書き換えは起こらない。

[0053] i 行 j 列に位置するメモリセル MC に記憶されたデータを読み出すときは、ワード線 WL_j をHレベルに設定し、第1ビット線 BL_{i_1} 及び第2ビット線 BL_{i_2} の一方をHレベルに設定し、他方を開放状態とする。これにより、トランジスタ Tr_1 及び Tr_2 がオンとなり、Hレベルの第1ビット線 BL_{i_1} 又は第2ビット線 BL_{i_2} から、反強磁性層20、フリー層31、バリア層32、固定層33、第1端子41、及びグランド線 GND_j へと読み出し電流が流れる。この読み出し電流の大きさを計測することにより、MTJ素子30の抵抗状態、すなわち、メモリセル MC に記憶されたデータが得られる。

[0054] なお、本発明は、上述の実施の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。

[0055] 例えば、本実施形態では、磁気スピホール効果が発現する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 ($X=Sn$ 、 Ge 、 Ga 、 Rh 、 Pt 、 Ir 等)の大きな異常ホール効果を示すキャントした反強磁性体において、本実施形態が適用可能である。また、磁気スピホール効果を示す他の反強磁性体の候補物質として、 $Mn_{1-x}Tr_x\gamma$ 相 (gamma-phase) ($Tr=Ni$ 、 Fe 、 Cu 、 Ru 、 Pd 、 Ir 、 Rh 、 Pd 、 Pt)がある。

[0056] また、本実施形態では、反強磁性層20に、磁気抵抗素子としてMTJ素子30が積層された構造を示したが、MTJ素子30以外の磁気抵抗素子を採用してもよい。

符号の説明

[0057] 20 反強磁性層
30 MTJ素子
31 フリー層
32 バリア層
33 固定層

1 0 0 スピントロニクス素子
1 1 0 メモリセルアレイ
1 2 0 Xドライバ
1 3 0 Yドライバ
1 4 0 コントローラ
2 0 0 磁気メモリ装置
B L i _ 1 第1ビット線
B L i _ 2 第2ビット線
G N D j グランド線
M C メモリセル
T r 1、T r 2 トランジスタ
W L j ワード線

請求の範囲

- [請求項1] 磁気モーメントがキャントして微小な磁化を有するキャントした反強磁性体からなり、面内に平行な一方向に電流が流れると、電子のスピンが面直方向に平行に又は斜めに偏極したスピン蓄積を生成する反強磁性層と、
- 前記反強磁性層に積層され、積層方向である前記面直方向の垂直磁化を有する強磁性体を含み、前記反強磁性層において生成されたスピン流によって前記垂直磁化にスピン軌道トルクが働くことで、前記垂直磁化が反転可能な磁気抵抗素子と、
- を備えるスピントロニクス素子。
- [請求項2] 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に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項3] 前記反強磁性層は、磁場の印加によって、前記キャントした反強磁性体の磁気構造が変化し、前記スピン流におけるスピンの偏極方向が変化する、請求項1又は2に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項4] 前記反強磁性層は、前記面内に平行に流す電流の向きによって、前記スピン流におけるスピンの偏極方向が変化する、請求項1～3の何れか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項5] 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1～4の何れか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項6] 前記キャントした反強磁性体は、組成式が Mn_3X で表され、
- 前記Xは、Sn、Ge、Ga、Rh、Pt、又はIrである、請求項1～5の何れか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項7] 前記磁気抵抗素子は、
- 前記反強磁性層に積層され、強磁性体からなり、前記垂直磁化が反転可能なフリー層と、
- 前記フリー層に積層され、絶縁体からなるバリア層と、
- 前記バリア層に積層され、強磁性体からなり、前記面直方向に磁化

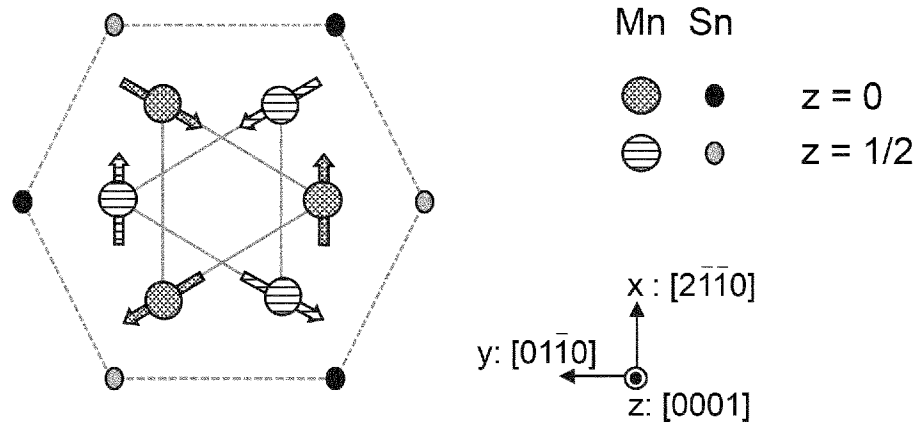
が固定された固定層と、を有する、請求項 1 ～ 6 の何れか 1 項に記載のスピントロニクス素子。

[請求項 8] 複数のメモリセルがマトリクス状に配置された磁気メモリ装置であって、

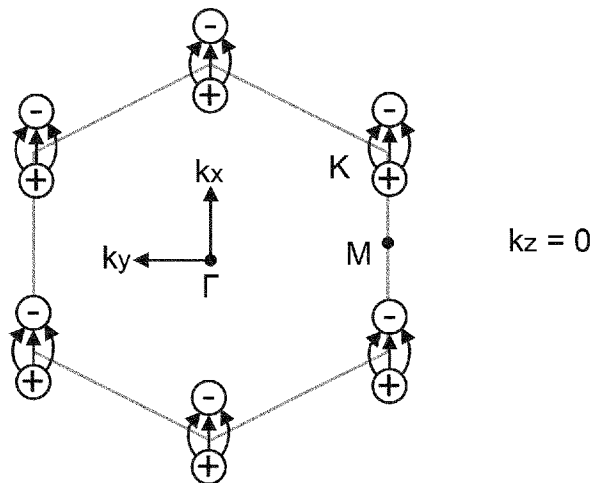
前記複数のメモリセルの各々が、請求項 1 ～ 7 の何れか 1 項に記載のスピントロニクス素子を有し、ビット線及びワード線に接続されている、磁気メモリ装置。

[図1A]

[実空間]

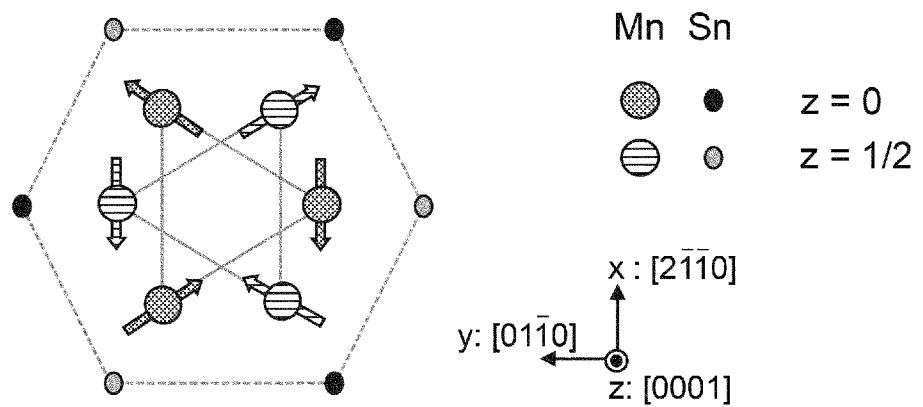


[運動量空間]

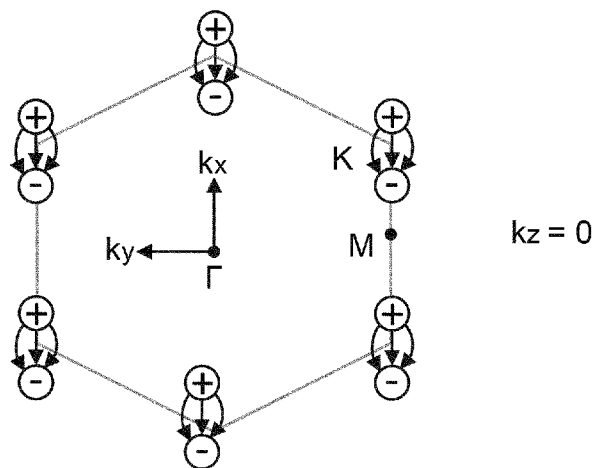


[図1B]

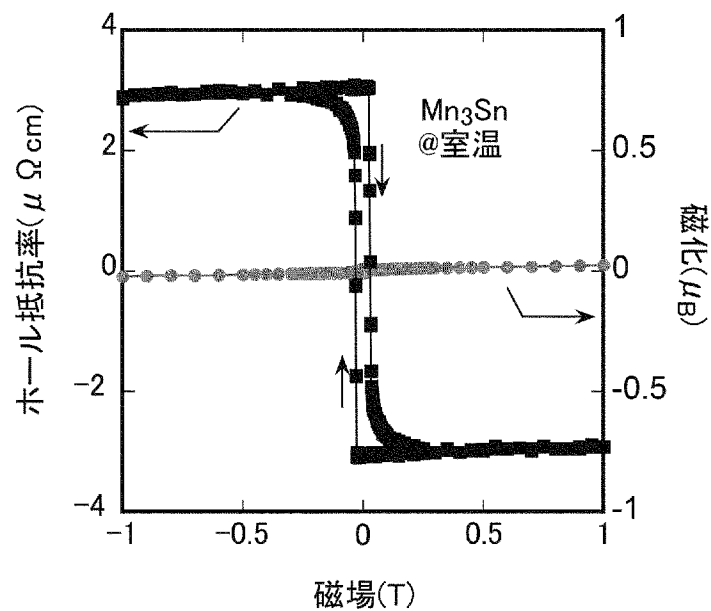
[実空間]



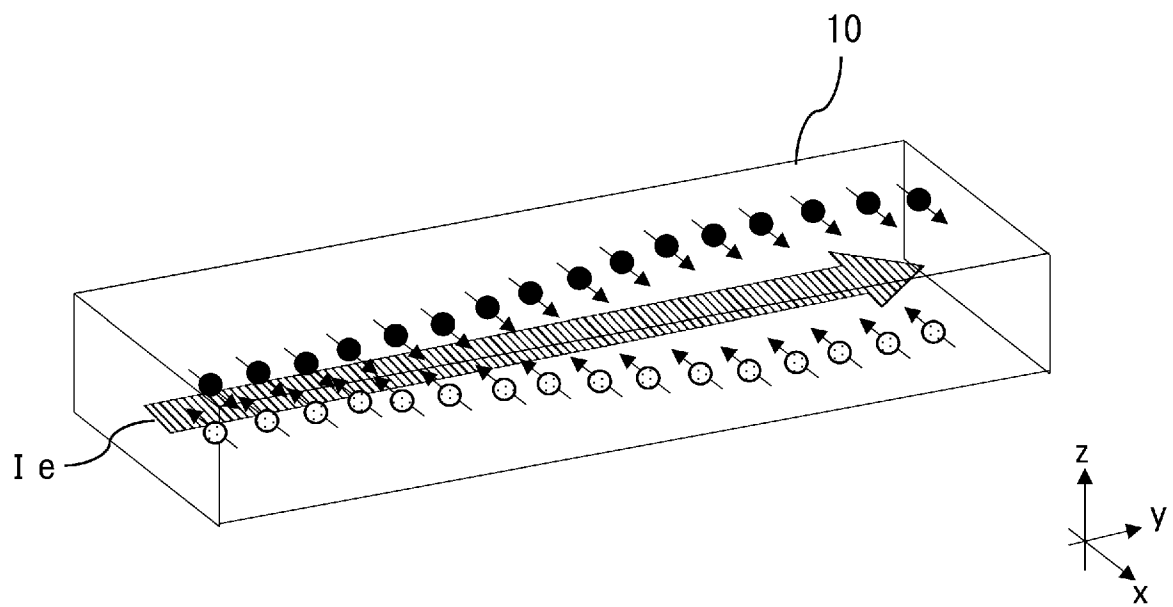
[運動量空間]



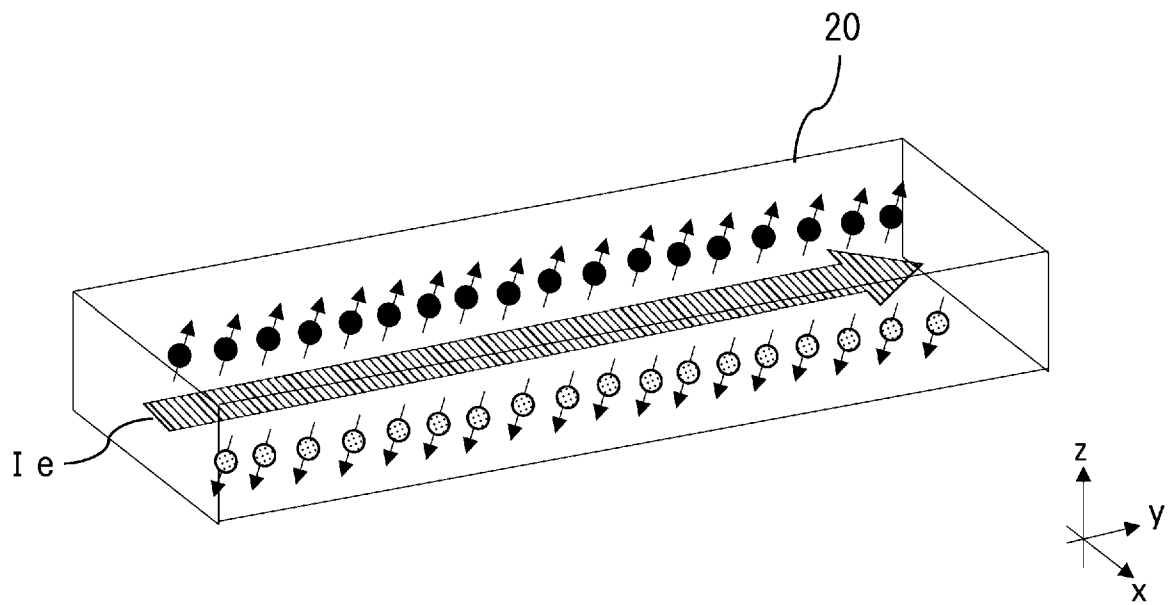
[図2]



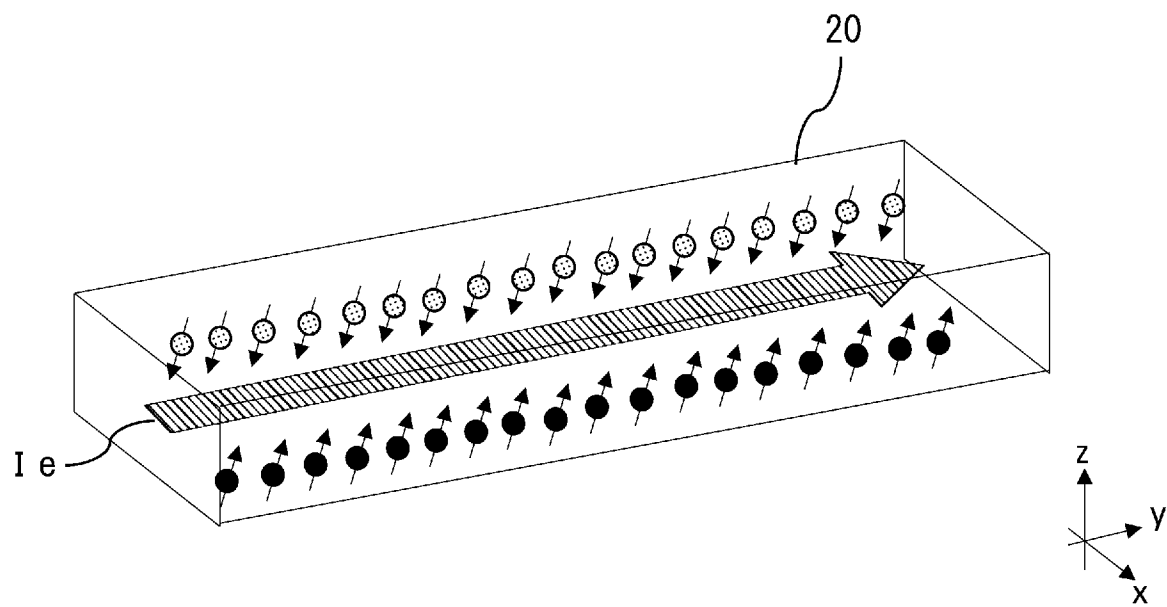
[図3]



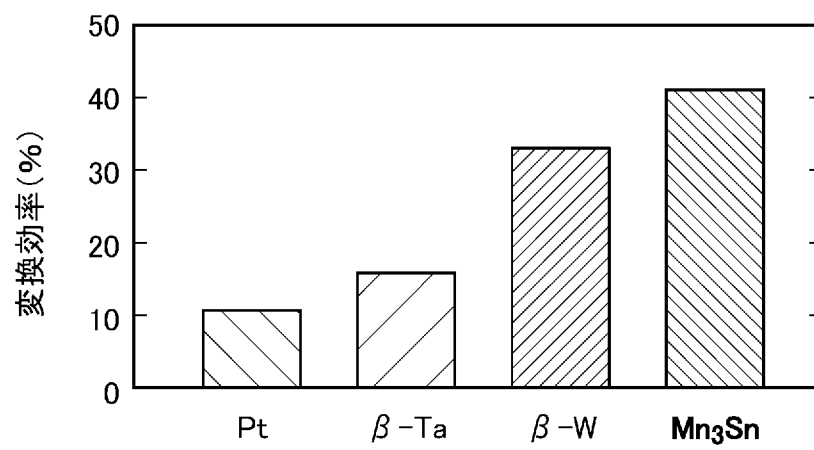
[図4A]



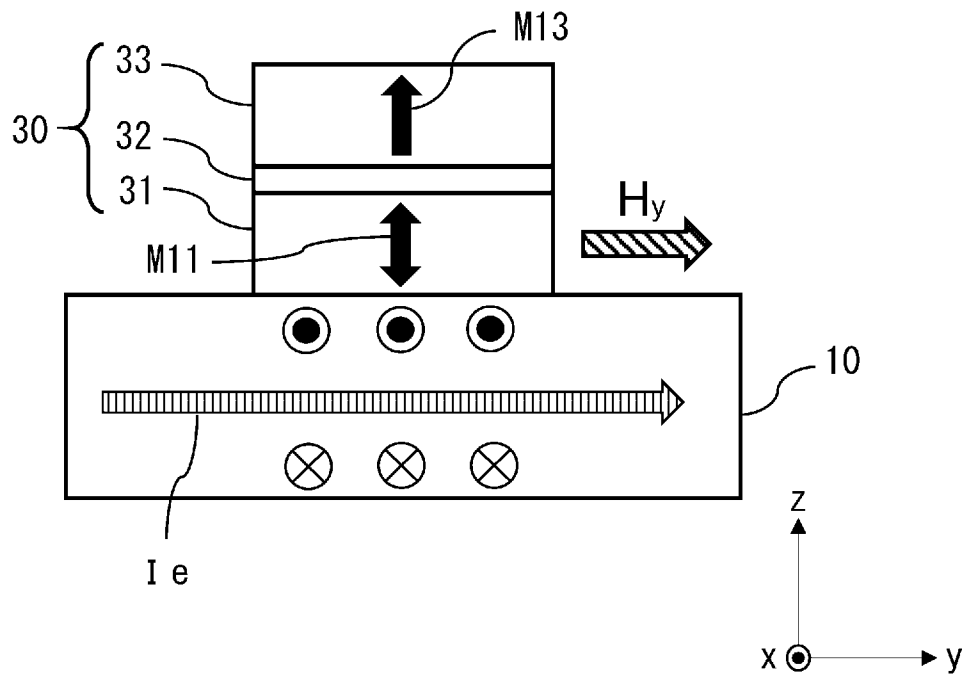
[図4B]



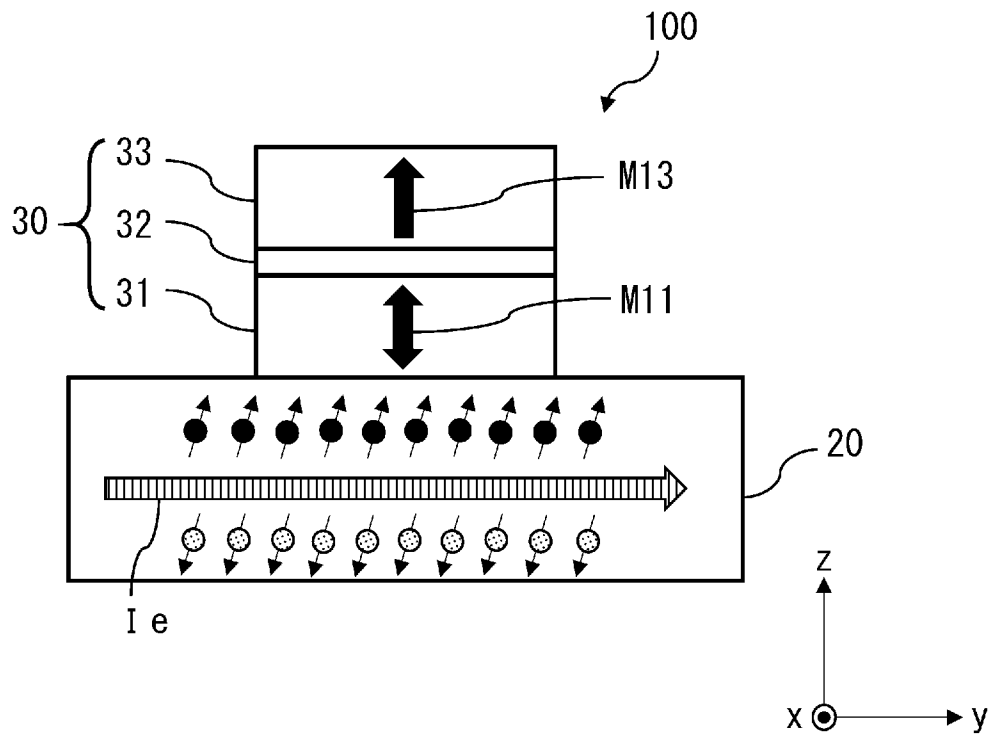
[図5]



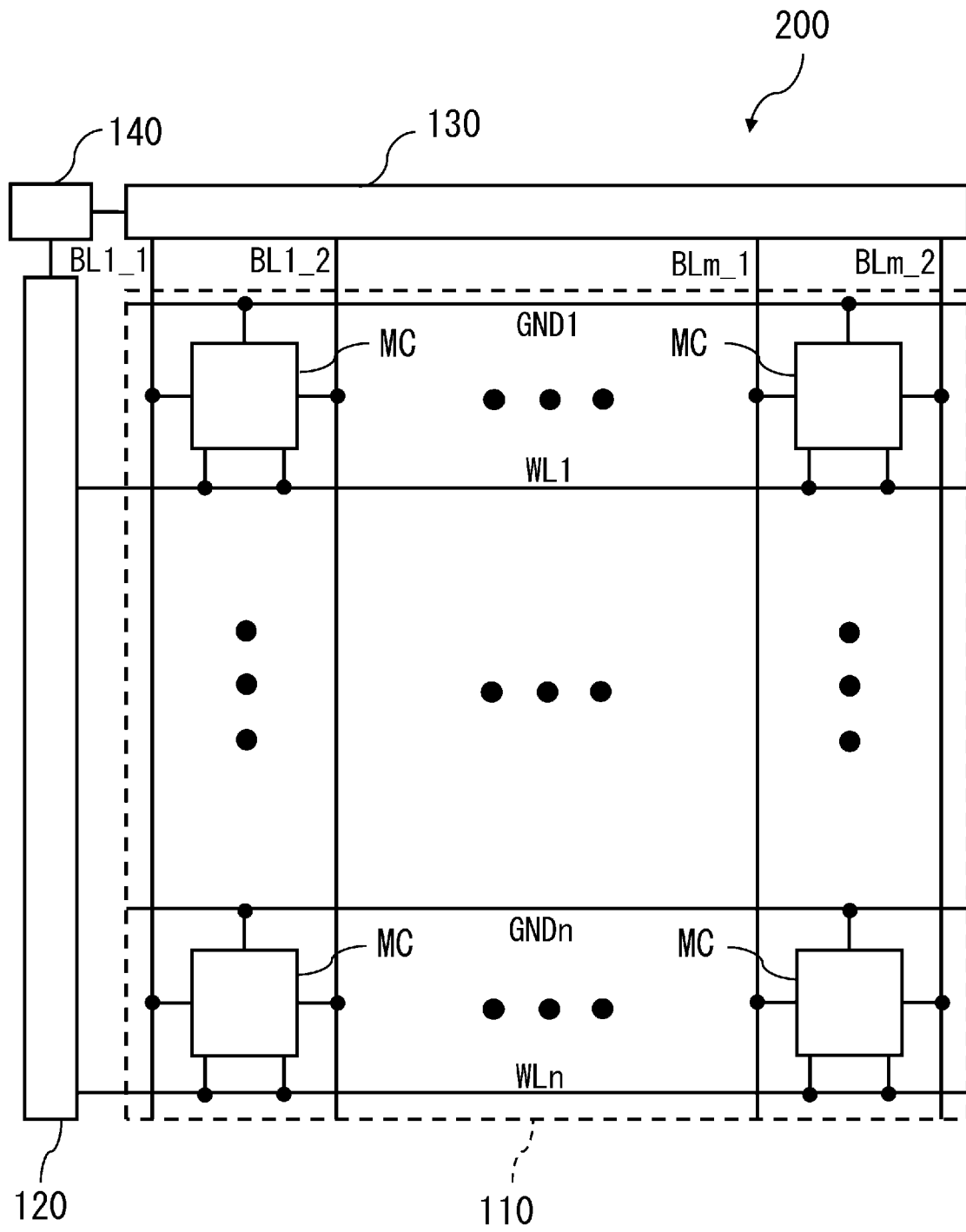
[図6]



[図7]



[図8]



The diagram illustrates a memory cell (100) within a grid defined by word lines (WLj) and bit lines (BLi_1, BLi_2). The cell structure includes a stack of layers (30, 41, 42, 43) and a central region (20) with a vertical arrow indicating a signal path. The cell is connected to word lines (WLj) and bit lines (BLi_1, BLi_2) via access transistors (Tr1, Tr2).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/005901

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L43/08 (2006.01) i, H01L43/10 (2006.01) i, H01L21/8239 (2006.01) i, H01L27/105 (2006.01) i, H01L29/82 (2006.01) i

FI: H01L27/105447, H01L29/82Z, H01L43/08P, H01L43/08Z, 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)

Int.Cl. H01L43/08, H01L43/10, H01L21/8239, H01L27/105, H01L29/82

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2016/159017 A1 (TOHOKU UNIVERSITY) 06.10.2016 (2016-10-06), paragraphs [0031]-[0039], [0053], [0054], [0060], [0072], [0073], [0080], [0081], fig. 1, 4, 5, 9, 10	1, 4-8 2, 3
Y	WO 2017/018391 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 02.02.2017 (2017-02-02), paragraphs [0007], [0014], [0015], [0017], [0018], [0067], fig. 1, 2	1, 4-8
Y A	JP 2018-505555 A (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 22.02.2018 (2018-02-22), paragraphs [0047]-[0063], fig. 3	1, 5-7 2-4, 8
A	WO 2017/213261 A1 (TDK CORPORATION) 14.12.2017 (2017-12-14), entire text, all drawings	1-8

☐ 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
18.03.2020

Date of mailing of the international search report
31.03.2020

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/005901

WO 2016/159017 A1	06.10.2016	US 2018/0019388 A1 paragraphs [0038]-[0046], [0077], [0078], [0085], [0097], [0098], [0107], [0108], fig. 1A, 4A-5C, 9, 10
WO 2017/018391 A1	02.02.2017	US 2018/0301177 A1 paragraphs [0007], [0025], [0026], [0028], [0029], [0078], fig. 1, 2
JP 2018-505555 A	22.02.2018	US 2017/0316813 A1 paragraphs [0051]-[0067], fig. 3 WO 2016/182354 A1 EP 3297049 A1 KR 10-2016-0133821 A
WO 2017/213261 A1	14.12.2017	US 2019/0035446 A1 entire text, all drawings CN 108780779 A

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; H01L 29/82(2006.01)i FI: H01L27/105 447; H01L29/82 Z; H01L43/08 P; H01L43/08 Z; H01L43/10		
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）） H01L43/08; H01L43/10; H01L21/8239; H01L27/105; H01L29/82		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
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 2016/159017 A1 (国立大学法人東北大学) 06.10.2016 (2016-10-06) [0031] - [0039], [0053], [0054], [0060], [0072], [0073], [0080], [0081], 図1, 4, 5, 9, 10	1, 4-8
A		2, 3
Y	WO 2017/018391 A1 (国立大学法人東京大学) 02.02.2017 (2017-02-02) [0007], [0014], [0015], [0017], [0018], [0067], 図1, 2	1, 4-8
Y	JP 2018-505555 A (コリア ユニバーシティ リサーチ アンド ビジネス ファウン デーション) 22.02.2018 (2018-02-22) [0047] - [0063], 図3	1, 5-7
A		2-4, 8
A	WO 2017/213261 A1 (TDK株式会社) 14.12.2017 (2017-12-14) 全文, 全図	1-8
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に 公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若し くは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を 付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の 後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵 触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引 用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性 又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献 との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がな いと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 18.03.2020		国際調査報告の発送日 31.03.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 宮本 博司 5F 6313 電話番号 03-3581-1101 内線 3516

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/005901

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2016/159017	A1	06.10.2016	US 2018/0019388 A1 [0038] - [0046], [0077], [0078], [0085], [0097], [0098], [0107], [0108], 図1A, 4A - 5C, 9, 10	
WO	2017/018391	A1	02.02.2017	US 2018/0301177 A1 [0007], [0025], [0026], [0028], [0029], [0078], 図1, 2	
JP	2018-505555	A	22.02.2018	US 2017/0316813 A1 [0051] - [0067], 図3 WO 2016/182354 A1 EP 3297049 A1 KR 10-2016-0133821 A	
WO	2017/213261	A1	14.12.2017	US 2019/0035446 A1 全文, 全図 CN 108780779 A	