

(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
2017年2月2日(02.02.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号

WO 2017/018391 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/8246 (2006.01) *H01F 10/32* (2006.01)
G11C 11/15 (2006.01) *H01L 27/105* (2006.01)
H01F 10/193 (2006.01) *H01L 29/82* (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2016/071778

(22) 国際出願日:

2016年7月25日(25.07.2016)

(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 2015-147092 2015年7月24日(24.07.2015) JP
 特願 2015-211274 2015年10月27日(27.10.2015) 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).

(74) 代理人: 吉田 正義(YOSHIDA Tadanori); 〒1600023 東京都新宿区西新宿六丁目15番1号 ラ・トゥール新宿304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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

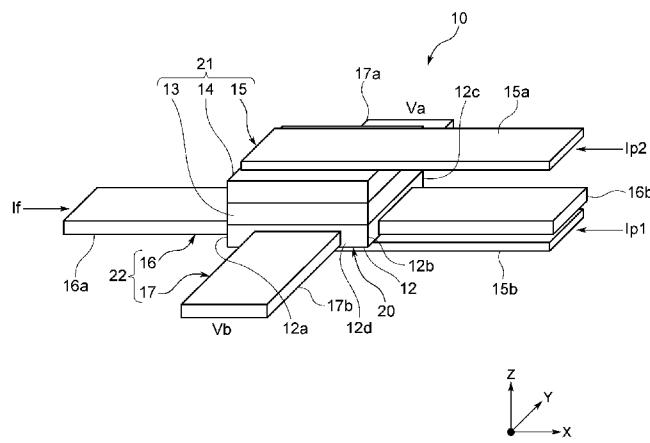
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: MEMORY ELEMENT

(54) 発明の名称: メモリ素子



(57) Abstract: A memory element (10) comprises a magnetization free layer (12) formed in film shape on which a nonmagnetic layer (13) and a magnetization fixed layer (14) are laminated. The magnetization free layer (12) stores one bit of data "0" or "1" depending on magnetization direction, and rewrites data by reversing the magnetization direction. As the magnetization free layer (12), an antiferromagnetic material which expresses an anomalous hall effect and which is capable of magnetization direction reversal is used. Magnetization direction reversal of the magnetization free layer (12) is performed by a spin transfer torque method using the magnetization fixed layer (14). When reading data, a read current (If) is caused to flow in one direction, and a hall voltage generated in the magnetization free layer (12) by the anomalous hall effect is extracted from the magnetization free layer (12). In accordance with the magnetization direction of the magnetization free layer (12), the sign of the hall voltage is reversed.

(57) 要約:

[続葉有]



メモリ素子（10）は、膜状に形成された磁化自由層（12）上に非磁性層（13）、磁化固定層（14）が積層されている。磁化自由層（12）は、磁化方向によって1ビット分のデータ「0」または「1」を格納し、磁化方向の反転することでデータを書き換える。磁化自由層（12）として、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向の反転が可能な反強磁性体が用いられている。磁化自由層（12）の磁化方向反転は、磁化固定層（14）を用いてスピントランスマートルク方式で行う。データの読み出しあは、一方向に読み出し電流（ I_f ）を流して、磁化自由層（12）に異常ホール効果で発生するホール電圧を磁化自由層（12）から取り出す。磁化自由層（12）の磁化方向に応じてホール電圧の正負が反転する。

明 細 書

発明の名称：メモリ素子

技術分野

[0001] 本発明は、メモリ素子に関するものである。

背景技術

[0002] 電子の持つ電荷とスピンの2つの性質を応用したスピントロニクスのデバイスとして、不揮発でありデータの書き換えが可能な磁気抵抗メモリ（以下、MRAM : Magnetoresistive Random Access Memoryと呼ぶ）が知られている（例えば、非特許文献1参照）。

[0003] このようなMRAMは、例えば強磁性層の間に極薄いトンネルバリア（絶縁体層）を挟み込んだ3層構造を持ち、磁気トンネル接合（以下、MTJ : Magnetic Tunnel Junctionと呼ぶ）が形成された磁気トンネル接合素子（以下、MTJ素子と呼ぶ）のトンネル磁気抵抗効果（以下、TMR : Tunnel Magneto Resistance効果と呼ぶ）を利用してデータを記憶している。2層ある強磁性層のうちの一方は、磁化方向が固定された磁化固定層（ピン層）であり、他方は磁化方向が反転可能な磁化自由層（フリー層）となっている。MTJ素子は、磁化固定層と磁化自由層との各磁化方向が互いに反対向きの反平行であるか、同じ方向である平行であるかを、データの「1」と「0」に対応付けており、磁化自由層の磁化方向でデータを記憶する。

[0004] MTJ素子へのデータの書き込みは、磁化自由層の磁化方向の反転によって行われる。磁化方向の反転の手法には、いくつかの方式がある。例えば、磁場印加方式やスピントランスマートトルク方式（スピントランスファーマートトルク方式）（スピントランスマートトルク方式）などが知られている。磁場印加方式では、磁化自由層に所定の磁場を印加することによって磁化自由層の磁化方向を反転させている。一方、スピントランスマートトルク方式では、電子を磁化自由層に入射させることにより、磁化自由層の磁気モーメントにトルクを及ぼし、当該磁化自由層の磁化方向を所望とする方向に反転させている。データの読み出しでは、MTJ素子に電圧を印

加してMTJ素子に電流を流し、当該電流から検出されるMTJ素子の抵抗の大小により、磁化自由層の磁化方向を特定して、データが「1」であるか「0」であるかを判別する。

先行技術文献

非特許文献

- [0005] 非特許文献1：ウィキペディア「磁気抵抗メモリ」（URL：<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A3%81%E6%B0%97%E6%8A%B5%E6%8A%97%E3%83%A1%E3%83%A2%E3%83%AA>）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] ところで、このようなMRAMは、一部で実用化されているが、データ保持動作が必要なDRAM (Dynamic Random Access Memory) などに代わるまでには至っていない。その大きな理由の1つとして、強磁性体を使うことによって大きな漏れ磁場が発生してしまうという点がある。例えばMRAMの集積度を高め、隣接するMTJ素子の間隔が小さくなつたメモリ装置では、MTJ素子からの漏れ磁場が大きいと、一のMTJ素子における磁化自由層の磁化方向が、隣接するMTJ素子からの漏れ磁場の影響を受けて乱れてしまい、データが消失する原因となる。このため、従来のMRAMでは、漏れ磁場が高度な集積化の妨げとなつていた。

- [0007] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、漏れ磁場が小さく、高集積化に有利なメモリ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] 本発明のメモリ素子は、磁化方向が反転可能な反強磁性体により形成された磁化自由層と、書き込むデータに応じて磁化自由層の磁化方向を反転させる磁化反転部と、データを読み出す際に、磁化自由層の磁化方向に応じた電気信号を取り出す読出部とを備えるものである。

- [0009] また、本発明のメモリ素子は、磁化方向が反転可能な磁化自由層と、磁化

自由層の膜面上に積層された非磁性層と、磁化自由層との間に非磁性層を配した状態に積層され、書き込むデータに応じて磁化自由層の磁化方向を反転させる、またはデータを読み出す際に磁化自由層の磁化方向に応じた電気信号を取り出すための磁化固定層とを備え、磁化自由層と磁化固定層との少なくともいずれか一方を反強磁性体としたものである。

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、磁化方向が反転可能な反強磁性体を用いて、データに応じて磁化方向が反転される磁化自由層を形成したことにより、磁化自由層に強磁性体を用いたメモリ素子よりも漏れ磁場を格段的に抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化に有利なメモリ素子を得ることができる。
- [0011] また、本発明によれば、磁化自由層と磁化固定層との少なくともいずれか一方が反強磁性体とすることによって、磁化自由層と磁化固定層とに強磁性体を用いたメモリ素子よりも漏れ磁場を抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化に有利なメモリ素子を得ることができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]非共線性の反強磁性体における異常ホール効果の発現する状態を模式的に示す説明図である。
- [図2]第1実施形態に係るメモリ素子の構成を示す斜視図である。
- [図3] Mn_3Sn の局在するスピンの方向を示す説明図である。
- [図4] Mn と Ni の化合物のうち磁化自由層とができる範囲を示す状態図である。
- [図5] Mn_3Sn についてホール抵抗と磁気抵抗を測定したグラフである。
- [図6] Mn_3Sn について温度を変えてホール抵抗を測定したグラフである。
- [図7] Mn_3Sn についての磁気モーメントと磁場の関係を示すグラフである。

[図8]Mn₃Snについての磁気モーメントと磁場との関係の異方性を示すグラフである。

[図9]第2実施形態に係るメモリ素子の構成を示す斜視図である。

[図10]第3実施形態に係るメモリ素子の構成を示す斜視図である。

[図11]第4実施形態に係るメモリ素子の構成を示す斜視図である。

[図12]第5実施形態に係るメモリ素子の構成を示す斜視図である。

発明を実施するための形態

[0013] [第1実施形態]

先ず初めに、非共線性の反強磁性体を用いて作成した本発明のメモリ素子の構成について説明する。なお、本発明のメモリ素子は、例えば行列状に配置されることにより、多数ビットのデータを記憶可能なメモリ装置を構成するが、ここではメモリ装置全体の説明は省略し、メモリ素子に着目して以下説明する。

[0014] ここで、非共線性の反強磁性体とは、周知のように、格子点上の原子の磁気モーメント（局在スピンの方向）が互いに傾いて非平行となったスピン構造を有するものである。非共線性の反強磁性体としては、スピン構造における磁気モーメントが同一平面で互いに傾いて存在する共面性のものと、磁気モーメントの方向が同一平面になく立体的に傾いている非共面性のものがある。いずれの非共線性の反強磁性体においても、磁気モーメントが互いに傾いていることに起因して、電流を流したときに異常ホール効果が発現する。

[0015] 例えば、図1に示すように、非共面性の反強磁性体では、伝導を担う電子すなわち伝導電子Dが、格子点上の原子Aの各磁気モーメントM1が互いに立体的に傾いたスピン構造の各サイトを通り抜ける際には、伝導電子DのスピンDaの方向は、磁気モーメントM1による影響でその磁気モーメントM1の方向に向く。そして、各磁気モーメントM1が互いに傾いて非平行になっているため、図中右側に示すように伝導電子Dが最近接の格子点を一周する際に、伝導電子DのスピンDaの方向が回転運動をする。この伝導電子DのスピンDaの回転運動は、伝導電子Dの軌道運動の回転運動を誘起する。

このように誘起される伝導電子Dの軌道運動の回転運動は、電流が流されると、その電流とカップルすることにより電流に垂直な方向の電場を形成し、異常ホール効果を発現する。共面性を有する非共線の反強磁性体についても同様な原理で異常ホール効果が発現する。

- [0016] 上記異常ホール効果によって生じる電場の向き（ホール電圧の正負）は、スピンD a の軌道運動の回転方向によって決まる。スピンD a の軌道運動の回転方向は、磁気モーメントM 1 の方向を反転させることによって変わる。発明者らは、鋭意研究の結果、磁気モーメントM 1 の方向を反転させることが可能であることを見いだした。
- [0017] 図2に示すように、第1実施形態に係るメモリ素子10は、素子部20を備えており、書込電極部15、読出電極部16、及び出力電極部17が素子部20に設けられた構成を有している。素子部20は、膜状に形成された磁化自由層（フリー層）12、非磁性層13及び磁化固定層（ピン層）14が順に積層された構成を有し、磁化自由層12の磁化方向が変化し得る。
- [0018] この第1実施形態では、非共線性の反強磁性体として、 Mn_3Sn を用いて磁化自由層12を形成した場合について説明する。 Mn_3Sn は、六方晶であり、50K～430Kの間で、図3に示すように、a軸（[2-1-10]）、b軸（[-12-10]）としたab面において、隣接するMn間距離に歪があるカゴメ格子を形成している。 Mn （マンガン）の磁気モーメント（局在スピンの向き）M2は、ゼロ磁場において、ab面に存在し、幾何学的フラストレーションが逆三角形スピン構造として現れる。また、 Mn_3Sn は、通常の120°スピン構造に対して逆のベクトルカイラリティを持つカイラルスピン構造を構成している。
- [0019] Mn_3Sn は、三角形に配列した隣接する3つのMnの磁気モーメントM2のうち、1つの磁気モーメントM2が磁化容易軸に平行となるが、他の2つの磁気モーメントM2がそれぞれ磁化容易軸から傾いた状態になり、各磁気モーメントM2が互いに傾いている。このようにして、非共線反強磁性体である Mn_3Sn では、局在する磁気モーメントM2が互いに傾き、小さな強磁

性モーメントを誘起する。

[0020] この第1実施形態のメモリ素子10では、例えば、図3に示すように、磁化自由層12におけるMnの磁気モーメントM2が所定の方向に向いている状態を第1磁化状態とし、この第1磁化状態にデータ「1」を対応付けてい る。

[0021] ここで、磁化自由層12を形成するMn₃Snは、Mnの磁気モーメントM2が $2.78 \times 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ($3 \mu_B$) 以下である。カイラルスピン構造の3つのMnの磁気モーメントM2は打ち消しあうが、磁気モーメントは部分的に打ち消されないのである。すなわち、カイラルスピン構造における局所的な磁化容易軸に傾いた2つの磁気モーメントM2により、 $2.78 \times 10^{-26} \text{ J T}^{-1} / \text{Mn}$ ($0.003 \mu_B / \text{Mn}$) 以下の弱い磁気モーメントが残り、その方向(磁化方向)に磁化自由層12が磁化された状態になる。このよう に、Mn₃Snにより形成した磁化自由層12は、弱く磁化された状態になるが、それは極めて弱い磁気モーメントによるものであるので従来の強磁性体に比して漏れ磁場を抑制し得る。

[0022] かかる構成に加えて、このMn₃Snは、例えばスピントランスマートルク(スピノ注入)方式や、磁場印加方式などによって、図3に示すような第1磁化状態にあるMnの磁気モーメントM2を反転し、また磁気モーメントM2を反転した状態から第1磁化状態に戻すことができる。これにより、磁気モーメントM2が第1磁化状態とは異なる方向に変化した第2磁化状態と することができる。第2磁化状態においても、第1磁化状態と同様に、カイラルスピン構造の3つのMnの磁気モーメントM2が不完全に打ち消し合い、弱い磁気モーメントが残り、その方向(磁化方向)に磁化自由層12が磁化された状態になるが、その磁化方向は第1磁化状態とは逆向きになる。第1磁化状態と第2磁化状態との間で繰り返し磁気モーメントM2を変えるこ とができる。また、この磁気モーメントM2の反転による第1磁化状態と第2磁化状態との相互間での磁化状態の変化にともない、磁化自由層12の伝導電子Dのスピンドラフトの軌道運動の回転方向が反転する。これにより、異常

ホール効果による電場の向きが磁化方向に応じて変化する。

[0023] 図2において、第1実施形態によるメモリ素子10は、例えば、非磁性層13、磁化固定層14及び書き電極部15により構成された磁化反転部21を備えており、当該磁化反転部21によって、スピントランスマートルク方式で磁化自由層12の磁化方向を反転させている。このメモリ素子10では、例えば、上述のように磁化自由層12の第1磁化状態をデータ「1」に対応付けるとともに、第2磁化状態をデータ「0」に対応付けている。

[0024] なお、この第1実施形態では、磁化自由層12の非共線性の反強磁性材体としてMn₃Snを用いているが、これ以外の非共線性の六法晶系の反強磁性体であっても磁化自由層12とすることができます。このような非共線性の六法晶系の反強磁性体としては、例えばMn₃Ge、Mn₃Gaなどがある。また、非共面性を有し、磁化方向が反転可能、すなわちカイラルスピン構造の磁気モーメントを反転させることができ反強磁性体を磁化自由層12とすることもできる。このような反強磁性体としては、立方晶の物質、化合物を挙げることができる。例えば、γ相(FCC (face-centered cubic) 構造)のMnあるいはFeを含む立方晶合金、例えば、γ-(Fe, Mn)、Mn₃Ir、Mn₃Ptがある。また、図4の状態図にハッチングで示すように、Niを一定の比率以上を含み、反強磁性を示す立方晶となるMnとNiの化合物であってもよい。正方晶となる一部のMnとNiの化合物も用いることができる。

[0025] メモリ素子10は、上記のように磁化自由層12の磁化方向に対して、1ビット分のデータ「1」又は「0」を対応付け、当該磁化自由層12の磁化方向が反転されることによりデータが書き換えられ、その後、書き込まれたデータを読み出し得るように構成されている。本発明を実施したメモリ素子10では、素子部20において、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向の反転が可能な反強磁性体により磁化自由層12を形成したことにより、従来の強磁性体を用いたメモリ素子よりも、漏れ磁場の発生を抑止し得るくなされている。

- [0026] なお、以下の説明では、図2に示すように、素子部20の積層方向に沿った方向をZ方向とし、このZ方向に対して直交し、かつ互い直交する方向をX方向及びY方向として規定し、さらに特に一方向を示す場合には、図に示された矢印の方向を正として符号「+」を付し、逆方向を負として符号「-」を付す。
- [0027] 磁化自由層12は、例えば膜厚が数nm～100nm程度に作成されるが、読み出しの際に磁化自由層12が発生するホール電圧Vは、磁化自由層12の膜厚が薄いほどその電圧が高くなるので、膜厚を薄くすることが好ましい。また、磁化自由層12を形成する場合、Z方向をa b面内が含むように形成される。この磁化自由層12は、例えば反強磁性体の材料を、この例ではMn₃Snの多結晶をターゲットとしたスパッタリングにより形成することができる。磁化自由層12は、上記のようにZ方向、すなわち磁化固定層14等が積層される方向がa b面内にあるように形成されていれば、そのc軸がx y面内のいずれの方向を向いていてもよい。磁化自由層12は、単結晶に限らず多結晶であってもよい。後述する磁化固定層14についても、磁化自由層12と同じく、Z方向がa b面内にあるように形成されていれば、そのc軸がx y面内のいずれの方向を向いていてもよく、単結晶でも多結晶でもよい。
- [0028] 上述のように磁化自由層12の漏れは、強磁性体に比べて非常に弱く(1/1000程度)であり、磁化自由層12からの漏れ磁場はほとんど存在しない。このため、メモリ素子10間での漏れ磁場による干渉がなく、細密化して集積度を高くするのに有利な構造となっている。
- [0029] 磁化反転部21の磁化固定層14は、例えば、磁化自由層12の第1磁化状態と同じ磁化方向に固定されている。磁化固定層14としては、例えば、パーマロイ、CoFeB、FePtなどの強磁性体を用いることができるが、漏れ磁場の影響の観点からは反強磁性体を用いることが好ましい。磁化固定層14に用いる反強磁性体は、磁化自由層12の反強磁性体よりも磁化方向が反転し難い反強磁性体を用いることが好ましく、例えば磁化自由層12

で用いたMn₃Snよりも磁化方向を反転するために大きな磁場が必要となるMn₃Geを用いることができる。磁化固定層14は、例えば、その厚みを大きくすることで磁化方向を固定することができる。また、磁化固定層14の非磁性層13と反対側の面に、例えばIrMnやPtMnなどの反強磁性層を積層した構造として、磁化固定層14の磁化方向を安定的に固定してもよい。

[0030] 非磁性層13は、例えば膜厚が数nm程度に形成されている。非磁性層13としては、絶縁膜でも導体膜でもよいが、磁化自由層12の磁化方向を反転させる際の発熱の抑制や効率を高くする観点からは導体膜とすることが好ましい。

[0031] 書込電極部15は、一对の電極15a、15bで構成されており、磁化固定層14の上面（非磁性層13との接合面と反対側の面）に一の電極15aが接続され、磁化自由層12の下面（（非磁性層13との接合面と反対側の面）に他の電極15bが接続され、これら電極15a、15bが素子部20を挟み込むように設けられている。電極15a、15bには、書込制御部（図示省略）が接続されており、データを書き換える際には、この書込制御部によって書き込み電流I_{p1}、I_{p2}のうちいずれか一方が供給される。電極15a、15bは、書き込み電流I_{p1}、I_{p2}の一方を素子部20に対して貫通するように供給することで、磁化自由層12の磁化方向を所望とする方向に変化させて、磁化自由層12を第1磁化状態と第2磁化状態とのいずれかにし得る。

[0032] 例えば、磁化自由層12を第2磁化状態から第1磁化状態にして、データ「1」を書き込む場合には、書込制御部によって、例えば電極15bから電極15aに向けて書き込み電流I_{p1}が供給される。これにより電子は、電極15aから磁化固定層14に伝導し、その電子が磁化固定層14の磁化方向に応じてスピン偏極する。このスピン偏極した電子が磁化自由層12に入射し、磁化自由層12の電子のスピンにトルクを及ぼすことによって、磁化自由層12が第1磁化状態になる。

- [0033] 一方、例えば、磁化自由層 12 を第 1 磁化状態から第 2 磁化状態に反転させ、データ「0」を書き込む場合には、書き制御部によって、電極 15a から電極 15b に向けて書き込み電流 Ip2 が供給される。これにより電子は、電極 15b から磁化自由層 12 に伝導するが、薄い磁化自由層 12 ではほとんど影響を受けることなく通り抜け、非磁性層 13 を介して磁化固定層 14 に入射する。磁化固定層 14 に入射した電子のうち第 1 磁化状態に応じた向きにスピン偏極している電子は、磁化固定層 14 を通り抜けるが、逆向きにスピン偏極している電子は、磁化固定層 14 で反射されて磁化自由層 12 に再入射する。磁化固定層 14 で反射されて磁化自由層 12 に再入射するスピン偏極している電子が磁化自由層 12 の電子のスピンにトルクを及ぼすことによって、磁化自由層 12 の磁化方向が反転して第 2 磁化状態になる。
- [0034] 後述するように、磁化自由層 12 の磁気モーメントは、強磁性体に比べて非常に弱いにも関わらず、磁化方向を反転させるための書き込み電流 Ip1、Ip2 は強磁性体と同程度にすることが可能である。
- [0035] 読出電極部 16 と出力電極部 17 とは、磁化自由層 12 の磁化方向を読み出す読出部 22 を構成している。読出電極部 16 は、例えば長手方向が X 方向に延びる電極 16a、16b を有し、これら電極 16a、16b が磁化自由層 12 に接続されている。磁化自由層 12 には、X 方向に対向した側面 12a、12b のうち、一の側面 12a に一の電極 16a が接続され、他の側面 12b に他の電極 16b が接続されている。
- [0036] 読出電極部 16 には、読出制御部（図示せず）が接続されており、データ読み出しの際には、当該読出制御部によって読み出し電流 If が供給される。これにより、読出電極部 16 は、電極 16a、16b によって、磁化自由層 12 の膜面（X 方向及び Y 方向に直交する XY 平面）に平行な方向（以下、面内方向という）において +X 方向に読み出し電流 If を流す。
- [0037] 出力電極部 17 には、読み出し電流 If を磁化自由層 12 に流したときに磁化自由層 12 に生じる異常ホール効果によるホール電圧 V が印加される。この例では、出力電極部 17 は、例えば長手方向が Y 方向に延びる電極 17

a、17bを有し、これら電極17a、17bが磁化自由層12に接続されている。この例では、磁化自由層12には、Y方向に対向した側面12c、12dのうち、一の側面12cに一の電極17aが接続され、他の側面12dに他の電極17bが接続されている。

[0038] これにより出力電極部17は、磁化自由層12において、面内方向において、読み出し電流I_fが流れるX方向と直交するY方向に発生するホール電圧Vを取り出す。この例では、出力電極部17は、磁化自由層12の一の側面12cに接続された電極17a側の電位V_aと、当該磁化自由層12の他の側面12dに接続された電極17b側の電位V_bとの差をホール電圧V（=V_a-V_b）として出力する。この例においては、ホール電圧Vが磁化自由層12の磁化方向に応じた電気信号となる。

[0039] この実施形態における磁化自由層12では、読出電極部16により+X方向の読み出し電流I_fが流されると、第1磁化状態に磁化されている場合には、異常ホール効果によって例えば正のホール電圧V（V_a<V_b）が発生し、第2磁化状態に磁化されている場合、異常ホール効果によって負のホール電圧V（V_a>V_b）が発生する。このようにして、出力電極部17は、磁化自由層12に発生した異常ホール効果による正または負のホール電圧Vを電極17a、17bにより出力する。メモリ素子10は、ホール電圧Vの正負に対して予めデータ「1」又は「0」が対応付けられており、データの読み出し動作時に出力電極部17から得られたホール電圧Vの正負に基づいてデータ「1」又は「0」を判別できる。

[0040] なお、磁化自由層12を形成する際の反強磁性体の結晶構造や結晶軸の方向、読み出し電流I_fを流す方向を適宜選定することによって、ホール電圧Vの向き、すなわち磁化自由層12に発生する異常ホール効果による電場の向きを所望とする方向にすることができる。

[0041] このように、本発明を実施したメモリ素子10では、磁化自由層12に電流を流す電極16a、16bと、磁化自由層12のホール電圧Vを取り出す電極17a、17bとを設けるだけで、磁化自由層12からのデータの読み

出しを行えることから、従来のM R A Mでは磁気抵抗の大小を判定するために設けられている基準となる磁気抵抗値を示す参照メモリ素子が不要となり、その分、構造が簡素化し得、従来よりも小型化を図り得る。

[0042] 以下に、反強磁性体の一例であるMn₃Snの特性を調べた結果について説明する。磁化自由層12として用いたMn₃Snについて、300Kにおける磁場（B）に対するホール抵抗率ρ_Hと磁気抵抗率ρの関係を調べたところ、図5に示すような結果が得られた。この検証試験では、Mn₃Snに対し、Mn₃Snのa軸（[2-1-10]）と平行に電流（I）を流し、Mn₃Snの[01-10]と平行に磁場（B）を印加した。図5の結果から、Mn₃Snは、印加される磁場の変化に対して、ホール抵抗率ρ_Hがおよそ6（μΩcm）の幅（+3（μΩcm）～-3（μΩcm））で変化するヒステリシスが得られた。このホール抵抗率ρ_Hの変化幅は、反強磁性体としては極めて大きく、また鉄や、コバルト、ニッケルといった遷移金属強磁性体で見られるホール抵抗率の変化幅よりも大きいことが確認できた。また、Mn₃Snのホール抵抗率ρ_Hは、0.03T（300ガウス）以下の磁場の範囲で、ホール抵抗率ρ_Hが変化していた。なお、本明細書では、ミラー指数の表記において、“-”はその直後の指数につくバーを意味している。

[0043] 次に、100K～400Kの温度範囲内において、Mn₃Snについて、磁場（B）に対するホール抵抗率ρ_Hの関係を調べたところ、図6に示すような結果が得られた。図6に示すように、図5に示した同じようなヒステリシスが、100K～400Kの温度範囲内においても確認できた。なお、図6に示したホール抵抗率ρ_Hは、Mn₃Snに対し、Mn₃Snの[0001]と平行に電流（I）を流し、Mn₃Snの[2-1-10]と平行に磁界（B）を印加したときの値である。

[0044] 上記のホール抵抗率ρ_Hの測定結果より、Mn₃Snは、室温などの通常の使用環境の温度において、強磁性体を上回る異常ホール効果が発現することが確認できた。Mn₃Snの膜厚を100nmとした場合には、異常ホール効果によるホール抵抗率ρ_Hが500（mΩ）程度となったことを確認しており

、さらに膜厚を5 nm程度とすればホール抵抗率 ρ_H を1.0(Ω)程度まで高くできることが確認できている。すなわち、磁化自由層12に用いるMn₃Snは、十分な大きさの異常ホール効果によって、大きな電圧が得られることが分かった。なお、磁気抵抗率 ρ は、ホール抵抗率 ρ_H が急激に変化する磁場の範囲において、スパイク状に変化する他は、ほぼ一定である。このため、通常のホール効果（正常ホール効果などとも呼ばれる）の成分を除いた、Mn₃Snの異常ホール効果の大きさを容易に知ることができる。

[0045] また、上記測定結果からは、Mn₃Snの磁化方向を反転させることが可能であることも確認できた。さらに0.03T(300ガウス)程度の磁場でMn₃Snの磁化方向を反転させることができることも確認できた。そして、別の検証試験によって、磁化方向を反転させるために、Mn₃Snの正規組成量に対するMnの過剰量を増減にすることによって、0.02T(200ガウス)程度の磁場でMn₃Snの磁化方向を反転させることができることも確認し、さらには0.01T(100ガウス)程度の磁場でMn₃Snの磁化方向を反転させることができることも確認した。

[0046] 図7は、Mn₃Snに対し、そのa軸([2-1-10])と平行に磁場を印加したときに、当該Mn₃Snの試料に現れる強磁性の磁気モーメントを測定した結果を示している。この測定結果から、100K~400Kの温度範囲内では、Mn₃Snの試料に現れる強磁性の磁気モーメントが極めて弱いことが分かる。このMn₃Snの試料に現れる磁気モーメントは、上述のように強磁性体の1/1000程度であることが確認できた。これにより、Mn₃Snは、従来のメモリ素子に用いられる強磁性体よりも漏れ磁場が小さいことが分かる。

[0047] 以上の結果から、Mn₃Snの磁気モーメントは、極めて弱い(4~7(m $\mu_B/f.u.$)が、0.01T(100ガウス)~0.03T(300ガウス)程度の磁場で反転できることができた。したがって、Mn₃Snは、強磁性体と同様に外部磁場の影響を受けにくいことも分かる。

[0048] なお、Mn₃Snは、低温側として50Kまで異常ホール効果があることが

確認されている。また、図7に示した温度に対する磁気モーメントと磁場との比（M/B）の関係から、Mn₃Snのネール温度が430Kであることが確認できた。したがって、50K～430Kの範囲で磁化自由層12として動作可能であることが確認できた。また、図8に示すように、300Kにおいて、Mn₃Snに対し、その[01-10]と平行に磁場を印加した場合も、上述したMn₃Snに対し、その[2-1-10]と平行に磁場を印加した場合と同じ結果となり、Mn₃Snの磁気モーメントに関して面内ではほぼ等方性であることが分かった。一方、Mn₃Snに対し、その[0001]（c軸）と平行に磁場を印加した場合は、100Kから450Kの間に測られたすべての温度で磁気モーメントは、直線的な変化となった。

- [0049] 上記Mn₃Snの試料は、次のように作製したものである。なお、以下の作製方法は、試料の作製として示すものであり、磁化自由層12を作製する手法を限定するものではない。ここでは、MnとSnの混合物を清浄なアルゴン雰囲気中でアーク溶解することにより、複数の多結晶質サンプルを準備した。Mnは、アーク溶解中の損失と結晶の成長とを考慮して、正規組成量を超えた過剰量（10モル%）を加えた。得られた多結晶質材料は、テトラアーケ炉を用いるチョクラルスキ法での結晶成長に用いた。得られた単結晶及び粉末のX線回折測定では、格子定数a = 5.66 (1) Å、c = 4.53 (1) Åの六方晶のMn₃Snの単相を示唆した。また、走査型電子顕微鏡及びエネルギー分散型X線分析装置（SEM-EDX, Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Detector）による分析では、Mn₃Snがバルク相であることが確認された。また、誘導結合プラズマ（ICP, inductively coupled plasma）分光法によると、複数の単結晶の組成は、Mn_{3.02}Sn_{0.98}であることが確認された。すなわち、結晶格子当たりのMnが3.02個、Snが0.98個であり、Mnが過剰になっていた。抵抗率と磁化の測定のために、成長した状態の複数の単結晶を、ラウエ回折計を用いて配列した後、棒状の試料を作製した。

- [0050] ホール抵抗率ρ_Hと磁気抵抗率ρは、物理特性測定装置（PPMS, Quantu

m Design社製)を用い、標準4-プローブ法により測定した。また、磁気モーメントは、SQUID磁化測定装置(MPPS, Quantum Design社製)を用いて測定した。

- [0051] 次に上記構成の作用について説明する。メモリ素子10では、データを書き換える場合、書き込むデータに応じて書き込み電極部15から素子部20に対し、+Z方向の書き込み電流Ip1、又は-Z方向の書き込み電流Ip2を流す。例えばデータを「0」から「1」に書き変える場合には、電極15bから素子部20を介して電極15aに向けて書き込み電流Ip1が流される。これにより電極15aから磁化固定層14に伝導した電子は、磁化固定層14の第1磁化状態の磁化方向に沿った方向にスピン偏極して、磁化自由層12に入射する。メモリ素子10では、このようにスpin偏極した電子が磁化自由層12に入射することによって、その電子が磁化自由層12にトルクを及ぼし、磁化自由層12の磁化方向が反転して、磁化自由層12が第1磁化状態になる。結果として、データ「1」が書き込まれた状態になる。
- [0052] 一方、データを「1」から「0」に書き変える場合には、書き込み電極部が電極15aから素子部20を介して電極15bに向けて書き込み電流Ip2を流す。この場合には、電極15bから磁化自由層12に伝導した電子は、磁化自由層12にほとんど影響を受けることなく通り抜け、非磁性層13を介して磁化固定層14に入射する。そして、磁化固定層14に入射した電子のうち第2磁化状態の磁化方向に応じた向きにスpin偏極している電子は、磁化固定層14で反射されて磁化自由層12に再入射する。そして、この再入射した電子が磁化自由層12の電子のスpinにトルクを及ぼすことによって、磁化自由層12の磁化方向が反転して、磁化自由層12が第2磁化状態になる。結果として、データ「0」が書き込まれた状態になる。
- [0053] 書き込み電流Ip1またはIp2を停止しても、磁化自由層12は、上記のように磁化された第1または第2磁化状態を保持している。また、別のメモリ素子10が近接して配されていても、メモリ素子10からの漏れ磁場がほとんどないので、磁化自由層12の磁化方向が変化してデータが消失する

ことはない。

- [0054] データを読み出す場合には、読み出制御部によって電極 16 a から電極 16 b に向けて読み出し電流 I_f を流す。これにより、読み出し電流 I_f が磁化自由層 12 に流れると、上述したように、局在するスピンが互いに傾いているスピン構造を磁化自由層 12 が持っているから、それによって伝導電子の軌道運動の回転運動が誘起されており、異常ホール効果が生じる。
- [0055] この実施形態では、磁化自由層 12 が第 1 磁化状態になっている場合、+X 方向に読み出し電流 I_f を流すと、異常ホール効果によって例えば +Y 方向の電場が磁化自由層 12 に生じる。これにより、電極 17 a、17 b から正のホール電圧 V が取り出される。一方、磁化自由層 12 が第 2 磁化状態に磁化されている場合、+X 方向に読み出し電流 I_f を流すと、異常ホール効果によって -Y 方向の電場が磁化自由層 12 に生じる。これにより、電極 17 a、17 b から負のホール電圧 V が取り出される。
- [0056] 上記のようにして取り出されたホール電圧 V の正負を調べることで、データ「1」または「0」のいずれかが格納されていることが判断できる。
- [0057] 磁化自由層 12 の反強磁性体は、繰り返し磁化方向を反転させることができる。したがって、繰り返し、データの書き換えが可能であり、もちろんデータの読み出しも繰り返し可能である。
- [0058] [第 2 実施形態]

図 2 との対応部分に同一符号を付して示す図 9 に、第 2 実施形態に係るメモリ素子 30 を示す。このメモリ素子 30 は、スピンホール効果を利用して、電流によってスピン流を発生させ磁化自由層 12 における反強磁性体の磁化方向を制御するものである。メモリ素子 30 は、磁化自由層 12 と、読み出電極部 16 及び出力電極部 17 からなる読み出部 22 と、磁化反転部 31 とを備えている。この第 2 実施形態によるメモリ素子 30 は、上述した第 1 実施形態のメモリ素子 10 (図 2) の構成とは磁化反転部 31 の構成が異なっており、磁化自由層 12 の反強磁性体を反転させる手法が相違している。なお、磁化自由層 12 は、上述した第 1 実施形態と同じであり、非共線性の反強

磁性体で形成されており、異常ホール効果を発生し、かつ磁化方向の反転が可能になっている。また、読出部22の構成、さらにこれら磁化自由層12及び読出部22による読み出し手順については、上述した第1実施形態と同じであるため、ここではそれらの詳細な説明は省略する。

- [0059] スピンホール効果は、非磁性体の金属や半導体に電流を流したときに、その非磁性体や半導体内において、スピン軌道相互作用によって、電流方向と直交する方向で上向きスピンの電子と下向きスピンの電子とが互い逆向きに曲げられ、スピンの向きと電流方向のなす平面の法線方向にスピン流が発生し、非磁性体や半導体の端にスピン蓄積をもたらすものである。
- [0060] 磁化反転部31は、スピンホール効果層32と書き電極部33とから構成されている。スピンホール効果層32は、磁化自由層12の膜面上に膜状に形成されている。このスピンホール効果層32は、例えばPt(白金)やTa(タンタル)などのように、大きなスピンホール効果を持つ非磁性体により形成されている。X方向に流す電流の向きを制御することによって、スピンホール効果によってスピンホール効果層32内で、上向きスピンの電子あるいは下向きスピンの電子を磁化自由層12側に曲げ、Z方向にスピン流を発生させる。
- [0061] 書き電極部33は、例えば長手方向がX方向に延びる電極33a、33bからなり、これら電極33a、33bがスピンホール効果層32に接続されている。スピンホール効果層32には、X方向で対向した側面のうち、一の側面に一の電極33aが接続され、他の側面に他の電極33bが接続されている。これにより書き電極部33は、スピンホール効果層32に対してX方向に書き込み電流Ip1、Ip2を流す。なお、書き込み電流Ip1は、-X方向に流れる電流であり、書き込み電流Ip2は、書き込み電流Ip1と逆向きの+X方向に流れる電流である。
- [0062] 例えば、データ「1」に対応させて磁化自由層12の磁化方向を反転させ、磁化自由層12を第2磁化状態から第1磁化状態に変化させる場合には、書き電極部33によってスピンホール効果層32に書き込み電流Ip1を流

し、スピンドルホール効果層32において+X方向に電子を流す。この際、電子は、スピンドルホール効果により、そのスピンドルの向きと電子の流れる方向とに直交する方向に曲げられる。これにより、例えば上向き(+Y方向)スピンドルの電子が+Z方向に曲げられ、下向き(-Y方向)スピンドルの電子が-Z方向に曲げられる。-Z方向に曲げられた下向きスピンドルの電子は、スピンドルホール効果層32から磁化自由層12に流入し、磁化自由層12の磁化にトルクを及ぼす。これにより、磁化自由層12は、第2磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が反転して第1磁化状態に磁化される。

[0063] 一方、データ「0」に対応させて磁化自由層12の磁化方向を反転させ、磁化自由層12を第1磁化状態から第2磁化状態に変化させる場合には、書き込み電極部33によってスピンドルホール効果層32に書き込み電流Ip2を流し、スピンドルホール効果層32において-X方向に電子を流す。この際、電子は、スピンドルホール効果によってスピンドルの向きと電子の流れる方向とに直交する方向に曲げられる。これにより、例えば上向き(+Y方向)スピンドルの電子が-Z方向に曲げられ、下向き(-Y方向)スピンドルの電子が+Z方向に曲げられる。この結果、上向きスピンドルの電子は、スピンドルホール効果層32から磁化自由層12に流入して、磁化自由層12の磁化にトルクを及ぼす。これにより、磁化自由層12は、第1磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が反転して第2磁化状態に磁化される。

[0064] 以上の構成において、この第2実施形態によるメモリ素子30でも、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向が反転可能な反強磁性体を用いて、データに応じて磁化方向が反転する磁化自由層12を形成したことにより、強磁性体を用いた従来のメモリ素子よりも漏れ磁場を格段的に抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化を図ることができる。

[0065] また、データの書き込みには、スピンドルホール効果層32と書き込み電極部33とを設ければよく、従来のMRAMに設けられている磁化固定層もが不要となり、その分、構造が簡素化し得、従来よりも小型化を図り得る。

[0066] [第3実施形態]

図2との対応部分に同一符号を付して示す図10に、第3実施形態に係るメモリ素子40を示す。このメモリ素子40は、異常ホール効果を利用して磁化自由層12における反強磁性体の磁化方向を制御するものである。メモリ素子40は、磁化自由層12と、読出電極部16及び出力電極部17からなる読出部22と、磁化反転部41とを備えている。この第3実施形態のメモリ素子40は、第1実施形態によるメモリ素子10とは磁化反転部41の構成が異なっており、磁化自由層12の反強磁性体を反転させる手法が相違している。なお、磁化自由層12は、上述した第1実施形態と同じであり、非共線性の反強磁性体で形成されており、異常ホール効果を発生し、かつ磁化方向の反転が可能になっている。また、読出部22の構成、さらにこれら磁化自由層12及び読出部22による読み出し手順については、上述した第1実施形態と同じであるため、ここではそれらの詳細な説明は省略する。

[0067] 磁化反転部41は、磁化固定層42と、非磁性層43と、書き電極部44とから構成されている。非磁性層43は、磁化自由層12の膜面上に形成されており、磁化自由層12と磁化固定層42とに挟まれるように配置されている。磁化固定層42は、大きな異常ホール効果を有する強磁性体または反強磁性体である。大きな異常ホール効果を有する強磁性体としては、NiFe、CoFeB、FePtなどが挙げられる。また、大きな異常ホール効果を有する反強磁性体としては、Mn₃Sn、Mn₃Ge、Mn₃Ga、Mn₃Ir、Mn₃Ptなどが挙げられる。さらに、磁化固定層42は、強磁性体により形成されている場合、磁化方向が所定の一方向に向けて固定されている。一方、磁化固定層42を反強磁性体により形成した場合には、磁化自由層12よりも反転し難い反強磁性体を用いることが好ましく、当該反強磁性体が所定の磁化状態に固定された構成とする。なお、非磁性層43は、例えば膜厚が数nm程度に形成されており、第1実施形態の非磁性層13と同様に絶縁膜でも導体膜でもよい。

[0068] 書き電極部44は、例えば長手方向がX方向に延びる電極44a、44b

からなり、これら電極44a、44bが磁化固定層42に接続されている。磁化固定42には、X方向で対向した側面のうち、一の側面に一の電極44aが接続され、他の側面に他の電極44bが接続されている。これにより書き電極部44は、磁化固定層42に対して、X方向に書き込み電流Ip1、Ip2を流す。なお、書き込み電流Ip1は、-X方向に流れる電流であり、書き込み電流Ip2は、書き込み電流Ip1と逆向きの+X方向に流れる電流である。

[0069] 例えば、データ「1」に対応させて磁化自由層12の磁化方向を反転させ、磁化自由層12を第2磁化状態から第1磁化状態に変化させる場合には、磁化固定層42に書き込み電流Ip1を流し、Z方向にスピン偏極電流（電流をともなうスピン流）を異常ホール効果により発生させる。これにより、所定方向の電子のスピンが磁化自由層12における反強磁性体の磁化にトルクを及ぼし、磁化自由層12は、第2磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が第1磁化状態に磁化される。

[0070] 一方、データ「0」に対応させて磁化自由層12の磁化方向を反転させ、磁化自由層12を第1磁化状態から第2磁化状態に変化させる場合には、磁化固定層42に書き込み電流Ip2を流し、Z方向にスpin偏極電流を異常ホール効果により発生させる。これにより、書き込み電流Ip1を流した場合と逆向きの電子のスpinが磁化自由層12における反強磁性体の磁化にトルクを及ぼし、磁化自由層12は、第1磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が第2磁化状態に磁化される。

[0071] なお、磁化固定層42は、第1実施形態の磁化固定層14と同様に、非磁性層43と反対側の強磁性体の面に反強磁性層を積層した構造としてもよい。また、この第3実施形態及び後述の第4、第5実施形態についても、漏れ磁場の影響の観点からは、磁化固定層14として強磁性体よりも反強磁性体を用いることが好ましい。

[0072] 以上の構成において、この第3実施形態によるメモリ素子40でも、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向が反転可能な反強磁性体を用いて、デー

タに応じて磁化方向が反転する磁化自由層12を形成したことにより、強磁性体を用いた従来のメモリ素子よりも漏れ磁場を格段的に抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化を図ることができる。

[0073] [第4実施形態]

図2との対応部分に同一符号を付して示す図11に、第4実施形態に係るメモリ素子50を示す。このメモリ素子50は、磁場の印加によって磁化自由層12における反強磁性体の磁化方向を制御するものである。メモリ素子50は、磁化自由層12と、読出電極部16及び出力電極部17からなる読出部22と、磁化反転部51とを備えている。この第4実施形態のメモリ素子50は、上述した第1実施形態のメモリ素子10とは磁化反転部51の構成が異なっており、磁化自由層12の反強磁性体を反転させる手法が相違している。なお、磁化自由層12は、上述した第1実施形態と同じであり、非共線性の反強磁性体で形成されており、異常ホール効果を発生し、かつ磁化方向の反転が可能になっている。また、読出部22の構成、さらに磁化自由層12及び読出部22による読み出し手順については、上述した第1実施形態と同じであるため、ここではそれらの詳細な説明は省略する。

[0074] 磁化反転部51は、ワード線52とビット線53とから構成される。ワード線52は、例えば長手方向がY方向に延びており、ビット線53は、例えば長手方向がX方向に延びている。磁化自由層12は、これらワード線52とビット線53とが交差した位置に設けられ、かつZ方向においてワード線52とビット線53との間に挟まれるようにして配置されている。ワード線52には、書き込み制御部（図示省略）によって、+Y方向に書き込み電流Iwが流される。一方、ビット線53には、書き込み制御部（図示省略）によって、書き込み電流Ib1、Ib2のいずれか一方が流される。ビット線53に流れる電流のうち一の書き込み電流Ib1は、+X方向に流れ、ビット線53に流れる電流のうち他の書き込み電流Ib2は、-X方向に流れる。

[0075] 例えば、データ「1」に対応させて磁化自由層12の磁化方向を反転させ

、磁化自由層 1 2 を第 2 磁化状態から第 1 磁化状態に変化させる場合には、ワード線 5 2 に書き込み電流 I_w を流すとともに、ビット線 5 3 に書き込み電流 $I_b 1$ を流す。これにより、ワード線 5 2 とビット線 5 3 とが交差する位置に配置された磁化自由層 1 2 には、書き込み電流 I_w が流れることより発生する磁場と、書き込み電流 $I_b 1$ が流れることにより発生する磁場との合成磁場が印加される。かくして、磁化自由層 1 2 は、第 2 磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が第 1 磁化状態に磁化される。

[0076] 一方、データ「0」に対応させて磁化自由層 1 2 の磁化方向を反転させ、磁化自由層 1 2 を第 1 磁化状態から第 2 磁化状態に変化させる場合には、ワード線 5 2 に書き込み電流 I_w を流すとともに、ビット線 5 3 に書き込み電流 $I_b 2$ を流す。これにより、磁化自由層 1 2 には、書き込み電流 I_w が流れることより発生する磁場と、書き込み電流 $I_b 2$ が流れることにより発生する磁場との合成磁場が印加される。かくして、磁化自由層 1 2 は、第 1 磁化状態にある反強磁性体の磁化方向が第 2 磁化状態に磁化される。

[0077] 以上の構成において、この第 4 実施形態によるメモリ素子 5 0 でも、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向が反転可能な反強磁性体を用いて、データに応じて磁化方向が反転する磁化自由層 1 2 を形成したことにより、強磁性体を用いた従来のメモリ素子よりも漏れ磁場を格段的に抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化を図ることができる。

[0078] また、このメモリ素子 5 0 では、磁化自由層 1 2 として非共線の反強磁性体を用いているため、強磁性体でなる磁化自由層を用いた従来のメモリ素子に比べて、同程度の磁場で磁化自由層 1 2 の磁化方向を反転させることができ。例えば、MRAMを構成する強磁性体を用いたMTJ素子では、その磁化自由層の磁化方向を反転するには 0. 0 1 ~ 0. 1 T (1 0 0 ~ 1 0 0 0 ガウス) の磁場の印加が必要である。これに対して、第 4 実施形態によるメモリ素子 5 0 では、磁化自由層 1 2 では、0. 0 1 T ~ 0. 0 3 T (1 0 0 ~ 3 0 0 ガウス) 程度の磁場の印加で磁化自由層 1 2 の磁化方向を反転さ

せることができる。

[0079] なお、多数の磁化自由層12を設ける場合には、複数のワード線52をX方向に並べて配置するとともに、複数のビット線53をY方向に並べて配置し、ワード線52とビット線53とが交差した各位置に磁化自由層12を設ける。磁化を反転したい磁化自由層12の位置で交差するワード線52とビット線53とを選択して、上記のように書き込み電流Iwと、書き込み電流Ib1またはIb2を流せばよい。

[0080] 上記各実施形態では、磁化自由層を形成する材料として、非共線性の反強磁性体を用いているが、異常ホール効果を発現し、かつ磁化方向が反転可能な反強磁性体であるならば非共線性の反強磁性体以外の反強磁性体を用いて磁化自由層を形成してもよい。

[0081] [第5実施形態]

第5実施形態に係るメモリ素子60を図12に示す。このメモリ素子60では、磁気抵抗効果による電気抵抗の変化を基に、磁化自由層12における反強磁性体の磁化方向（すなわちデータ）を読み出すものである。磁気抵抗効果としては、トンネル磁気抵抗効果と巨大磁気抵抗効果とがあるが、この例ではトンネル磁気抵抗効果を利用している。なお、この第5実施形態のメモリ素子60は、上述した第1実施形態のメモリ素子10とは磁化反転部71及び読出部72の構成が異なっており、磁化自由層12の反強磁性体を反転させる手法及びデータの読み出し手法が相違している。

[0082] メモリ素子60は、素子部70、磁化反転部71、及び読出部72を備えている。素子部70は、磁化自由層12、非磁性層13、及び磁化固定層14を積層した構成である。磁化自由層12は、上述した第1実施形態と同様に、磁化方向が反転可能な反強磁性体により形成されているが、異常ホール効果を発現する反強磁性体である必要はない。非磁性層13及び磁化固定層14は、メモリ素子60を磁気トンネル接合素子として機能させるために設けられている。このため、非磁性層13は、絶縁体で形成されている。磁化固定層14は、第1実施形態と同様であり、磁化方向が固定されて、例えば

第1磁化状態とされた反強磁性体あるいは強磁性体で形成されている。なお、磁化自由層12、磁化固定層14は、単結晶でも多結晶でもよい。また、磁化自由層12、磁化固定層14における各結晶軸の向きは、第1実施形態のように特に限定されない。

[0083] この実施形態では、データ読み出し時に、トンネル磁気抵抗効果を用いた磁気トンネル接合素子としてメモリ素子60を機能させるが、巨大磁気抵抗効果を利用したGMR (Giant Magneto Resistive) 素子としてメモリ素子60を機能させることもできる。この場合には、非磁性層13が金属(導体)で形成されている。

[0084] 磁化反転部71は、ワード線74と、当該ワード線74と所定距離を設けて対向配置されたビット線75とから構成される。例えばワード線74は、その長手方向がY方向に延びており、ビット線75は、Y方向と直交するX方向に長手方向が延びている。上記素子部70は、これらワード線74とビット線75とが交差した位置に設けられ、かつX方向及びY方向と直交するZ方向において対向配置されたワード線74とビット線75との間に挟まれるように配置されている。ワード線74とビット線75は、第4実施形態のワード線52とビット線53(図11)と同じであり、ワード線74とビット線75とが交差する位置にある素子部70の磁化自由層12に合成磁場が印加して、磁化自由層12の磁化方向を反転させるものである。データ書き込み時、書き制御部(図示省略)によって、ワード線74には、+Y方向に書き込み電流Iwが流され、ビット線75には、書き込み電流Ib1、Ib2のいずれか一方が流される。ここで、ビット線75に流れる一の書き込み電流Ib1は、+X方向に流れ、他の書き込み電流Ib2は、一の書き込み電流Ib1とは逆方向の-X方向に流れる。

[0085] 読出部72は、上記ビット線75と読出電極77とによって構成されている。なお、ビット線75は、上記のように磁化反転部71の電極としても機能する。したがって、ビット線75は、磁化反転部71を形成する構成の一部であるとともに、読出部72の読み出し用の電極としても機能して読出部

7 2を形成する構成の一部であって、これら磁化反転部7 1及び読出部7 2の両方の構成に含まれるものである。もちろん、読出部7 2の読み出し用の電極として、磁化反転部7 1の電極としても機能するビット線7 5とは別の電極を読出電極7 7とともに設けてもよい。素子部7 0の磁化固定層1 4には、非磁性層1 3が設けられた面と対向した逆側の面に読出電極7 7が固定されている。また、素子部7 0の磁化自由層1 2には、非磁性層1 3が設けられた面と対向した逆側の面にプラグ（配線）7 8が設けられており、当該プラグ7 8にビット線7 5が固定されている。これにより、読出電極7 7は、素子部7 0に電気的に接続され、ビット線7 5は、プラグ7 8を介して素子部7 0に電気的に接続されている。なお、ワード線7 4は、読出電極7 7の下方側に、当該読出電極7 7から所定距離を離して対向配置されている。

[0086] 読み出し用の電極となる、これらビット線7 5及び読出電極7 7は、読出制御部（図示省略）に接続されている。読出電極7 7と読出制御部との間には、トランジスタ7 9が設けられている。データを読み出す際に、読出制御部は、トランジスタ7 9をオンとして、ビット線7 5及び読出電極7 7間の素子部7 0に所定の電圧を印加する。読出制御部は、この電圧の印加によって、読出電極7 7から素子部7 0を介してビット線7 5に読み出し電流 I_R を流す。所定の電圧を印加した際に素子部7 0に流れる読み出し電流 I_R は、磁気抵抗効果によって生じる素子部7 0での電気抵抗の大小によって変化する。読出制御部は、磁気抵抗効果によって生じる素子部7 0での電気抵抗に応じた読み出し電流 I_R の大小を判別して、データ「1」又は「0」を判断する。したがって、この例においては、読み出し電流 I_R が磁化自由層1 2の磁化方向に応じた電気信号となる。

[0087] 上記メモリ素子6 0において、データ書き込みの手順は、第4実施形態のメモリ素子5 0と同様である。すなわち、例えば、データ「1」に対応させて磁化自由層1 2を第1磁化状態に変化させる場合には、ワード線7 4に書き込み電流 I_w を流すとともに、ビット線7 5に書き込み電流 I_b を流す。これにより、ワード線7 4とビット線7 5とが交差する位置に配された素

子部70では、直交する書き込み電流Iwと書き込み電流Ib1とによって生じる合成磁場が磁化自由層12に印加されて、当該磁化自由層12の磁化方向が反転して第2磁化状態から第1磁化状態に変化する。

[0088] 一方、データ「0」に対応させて、磁化自由層12を第2磁化状態に変化させる場合には、ワード線74に書き込み電流Iwを流すとともに、一の書き込み電流Ib1とは逆方向に向けてビット線75に他の書き込み電流Ib2を流す。これにより、ワード線74とビット線75とが交差する位置に配された素子部70では、直交する書き込み電流Iwと書き込み電流Ib2とによって生じる合成磁場が磁化自由層12に印加されて、当該磁化自由層12の磁化方向が反転して、第1磁化状態から第2磁化状態に変化する。

[0089] データを読み出す際には、読出制御部は、トランジスタ79をオンとして、読出電極77とビット線75とを介して、素子部70に所定の電圧を印加する。すなわち、素子部70には、磁化自由層12及び非磁性層13の接合面と、非磁性層13及び磁化固定層14の接合面とに垂直に電圧を印加する。この電圧の印加によって、素子部70には、磁化固定層14から非磁性層13を介して磁化自由層12に読み出し電流Irが流れる。磁化自由層12と磁化固定層14との磁化方向が同じである場合には、トンネル磁気抵抗効果によって素子部70での電気抵抗が小さくなり、素子部70に大きな読み出し電流Irが流れる。一方、磁化自由層12と磁化固定層14との磁化方向が互いに異なる場合には、トンネル磁気抵抗効果によって、素子部70での電気抵抗が、磁化自由層12及び磁化固定層14の磁化方向が同じである場合に比べて大きくなり、磁化自由層12及び磁化固定層14の磁化方向が同じである場合に素子部70に流れる読み出し電流Irよりも小さな読み出し電流Irが流れる。この例では、磁化固定層14が第1磁化状態になっていることから、磁化自由層12が第1磁化状態である場合に、読み出し電流Irが大きくなり、一方、磁化自由層12が第2磁化状態である場合に、読み出し電流Irが小さくなる。そして、読出制御部は、素子部70に流れる読み出し電流Irの大小に基づいてメモリ素子60に格納されているデータの「1」又は「

0」を判定する。

- [0090] 素子部70では、磁化自由層12に対して、0.01T(100ガウス)程度の磁場を印加することによって、磁化自由層12の磁化方向の反転が可能であることを確認した。また素子部70では、磁化固定層14に対する磁化自由層12の磁化方向を判別するために、1~5mA程度の読み出し電流I_Rが流れても磁化自由層12の磁化方向が変化しないことを確認している。
- [0091] 以上の構成において、この第5実施形態によるメモリ素子60では、磁化方向が反転可能な反強磁性体を用いて、データに応じて磁化方向が反転する磁化自由層12を形成したことにより、強磁性体を用いた従来のメモリ素子よりも漏れ磁場を格段的に抑制でき、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化を図ることができる。
- [0092] 上記第5実施形態では、データを書き込む際に、磁化自由層12に磁場を印加することによって磁化自由層12の磁化方向を反転しているが、データを書き込む構成は、これに限定されない。例えば第1実施形態と同様に、スピントランスマートトルク方式で磁化自由層12の磁化方向を反転させることもできる。この場合には、データ書き込みの際に、素子部70を貫通するように、Z方向で向きの異なる書き込み電流I_{p1}、I_{p2}のうちいずれか一方を、書き込むデータに応じて流せばよい。また、第5実施形態では、第2実施形態のように、スピントラベル効果を利用して磁化自由層12の磁化方向を反転することもできる。この場合には、非磁性層13と反対側の磁化自由層12の面にスピントラベル効果層を設け、このスピントラベル効果層にX方向で向きの異なる書き込み電流I_{p1}、I_{p2}のうちのいずれか一方を書き込むデータに応じて流す。さらに、第5実施形態では、第3実施形態のようにスピントラベル電流を利用してもよい。この場合には、素子部70の磁化固定層14として、大きな異常ホール効果を有する強磁性体または反強磁性体を用い、この磁化固定層14にX方向で向きの異なる書き込み電流I_{p1}、I_{p2}のうちのいずれか一方を書き込むデータに応じて流す。

[0093] なお、上記第5実施形態では、磁化方向に応じた電気信号を読み出し電流 I_R として、読出制御部が読み出し電流 I_R の大小でデータ「1」又は「0」を判断しているが、読み出し電流 I_R に代えて電圧の大小でデータ「1」又は「0」を判断することもできる。この場合には、読出制御部は、ビット線75及び読出電極77を通して素子部70に一定の電流を流し、その際に素子部70に生じる電圧降下、すなわちビット線75と読出電極77との間の電位差の大小を判別して、データ「1」又は「0」を判断する。電圧降下の大小は、素子部70に印加した電圧の大小として判別できる。

[0094] 上記第1、第3、第5実施形態では、磁化自由層12を反強磁性体としているが、磁化自由層12と磁化固定層14との少なくともいずれか一方を反強磁性体とすることも好ましい態様である。上記第1、第3実施形態では、書き込むデータに応じて磁化自由層12の磁化方向を反転させるために磁化固定層14を用いており、第5実施形態では、データを読み出す際に磁化自由層12の磁化方向に応じた電気信号を取り出すために磁化固定層14を用いている。また、第5実施形態において、例えばスピントランスマートルク方式で磁化自由層12の磁化方向を反転させるように構成した場合では、磁化固定層14は、書き込むデータに応じて磁化自由層12の磁化方向を反転させるとともに、データを読み出す際に磁化自由層12の磁化方向に応じた電気信号を取り出すために用いている。このような、磁化固定層14として反強磁性体を用い、例えば磁化自由層12に強磁性体を用いた構成としてもよい。この場合、他の構成は同じであってよい。なお、磁化自由層12と磁化固定層14とに反強磁性体を用いることができる的是上述の通りである。このように、磁化自由層12と磁化固定層14との少なくともいずれか一方に反強磁性体を用いれば、その両方に強磁性体を用いた構成に比べて漏れ磁場を抑制できる。したがって、このようにしても、高集積化した際に、隣接する他のメモリ素子に与える漏れ磁場による影響を低減でき、かくして、漏れ磁場が小さく、高集積化を図ることができる。

[0095] [磁化自由層の磁化方向について]

磁化自由層 1 2 に用いる反強磁性体のうち、例えば上記 Mn_3Sn は、三角形に配列した隣接する 3 つの Mn の各磁気モーメント M_2 の方向の組み合わせにより、異なる 6 つの磁化方向を有した状態に変化すると推測される。そのため、磁化自由層 1 2 の異常ホール効果を利用する第 1 ~ 第 4 実施形態では、第 1 磁化状態と第 2 磁化状態における磁化方向の反転は、磁化方向が必ずしも 180 度回転したものである必要はなく、一方向の読み出し電流 I_f を磁化自由層 1 2 に流した際に、磁化自由層 1 2 の伝導電子 D のスピン D_a の軌道運動の回転方向が反転し、異常ホール効果によって生じるホール電圧の正負が逆となる変化であればよい。したがって、第 1 磁化状態から第 2 磁化状態になる際、第 1 磁化状態での磁化方向が 180 度以外の所定角度に回転した第 2 磁化状態に変化してもよい。また、第 5 実施形態でも、磁気抵抗効果による電気抵抗が変化すれば、第 1 磁化状態と第 2 磁化状態における磁化方向の反転が必ずしも 180 度回転したものである必要はない。上記第 1 ~ 第 5 実施形態では、説明の便宜上、図 3 に示す磁化自由層 1 2 における Mn の磁気モーメント M_2 の状態を第 1 磁化状態とし、この第 1 磁化方向から磁気モーメント M_2 が反転（180 度回転）したものを第 2 磁化状態としているが、磁化方向が特定されていなくてもよい。 Mn_3Sn 以外の反強磁性体を磁化自由層 1 2 とした場合も同様である。

[0096] 上記各実施形態における磁化反転部 21、31、41 の書き電極部 15、33、44 や、読み出電極部 16、出力電極部 17、及び読み出部 72 を構成する各電極は、電圧を取り出す部材、電圧を印加する部材、又は電流を流す部材であれば、他の機能を持つ部材であってもよい。例えば、磁化自由層に他の素子の一部が直接に接続されて電圧が与えられる場合には、その他の素子の一部が電極となる。

符号の説明

[0097] 10, 30, 40, 50, 60 メモリ素子

12 磁化自由層

13, 43 非磁性層

- 14, 42 磁化固定層
15 書込電極部
16 読出電極部
17 出力電極部
21, 31, 41, 51, 71 磁化反転部
22, 72 読出部
32 スピンホール効果層

請求の範囲

- [請求項1] 磁化方向が反転可能な反強磁性体により形成された磁化自由層と、書き込むデータに応じて前記磁化自由層の磁化方向を反転させる磁化反転部と、
データを読み出す際に、前記磁化自由層の磁化方向に応じた電気信号を取り出す読出部と
を備えていることを特徴とするメモリ素子。
- [請求項2] 前記磁化自由層は、異常ホール効果を発現する反強磁性体により形成され、
前記読出部は、
データを読み出す際に、前記磁化自由層の面内方向に沿った一方向に読み出し電流を流す読出電極部と、
前記磁化自由層に前記読み出し電流が流れることにより前記磁化自由層の前記反強磁性体によって異常ホール効果を発現させ、該異常ホール効果により発生したホール電圧を取り出す出力電極部と
を備えていることを特徴とする請求項1に記載のメモリ素子。
- [請求項3] 前記磁化自由層は、非共線性の反強磁性体で形成されていることを特徴とする請求項2に記載のメモリ素子。
- [請求項4] 前記非共線性の反強磁性体は、Mn₃Sn、Mn₃Ge、Mn₃Gaのいずれかの反強磁性体であることを特徴とする請求項3に記載のメモリ素子。
- [請求項5] 前記非共線性の反強磁性体は、立方晶または正方晶となるMn及びNiの化合物と、γ相のMnあるいはFeを含む立方晶合金とのいずれかであることを特徴とする請求項3に記載のメモリ素子。
- [請求項6] 前記磁化反転部は、
前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層と、
磁化方向が固定された磁化固定層とを有し、
前記磁化自由層と前記磁化固定層との間に前記非磁性層が配置され

ており、

書き込むデータに応じて、前記磁化自由層及び前記磁化固定層間に流す書き込み電流の方向を変え、該書き込み電流の方向に応じて前記磁化自由層における前記反強磁性体の磁化方向が反転することを特徴とする請求項2～5のいずれか1項に記載のメモリ素子。

[請求項7]

前記磁化反転部は、

前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層を有し、

書き込むデータに応じて、前記磁化自由層の膜面と平行な方向で前記非磁性層に流す書き込み電流の方向を変えることにより、前記非磁性層内で発生する спин流によって前記磁化自由層に流入させる電子のスピニの方向を変え、該電子のスピニの方向に応じて前記磁化自由層における前記反強磁性体の磁化方向が反転することを特徴とする請求項2～5のいずれか1項に記載のメモリ素子。

[請求項8]

前記磁化反転部は、

前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層と、

磁化方向が固定され異常ホール効果を発現する磁化固定層とを有し、

前記磁化自由層と前記磁化固定層との間に前記非磁性層が配置されており、

書き込むデータに応じて、前記磁化自由層の膜面と平行な方向で前記磁化固定層に流す書き込み電流の方向を変えることにより、前記磁化固定層で発生するスピニ偏極電流によって、前記磁化自由層における反強磁性体の磁化にトルクを及ぼす電子のスピニの方向を変え、該電子のスピニの方向に応じて前記磁化自由層における前記反強磁性体の磁化方向が反転することを特徴とする請求項2～5のいずれか1項に記載のメモリ素子。

[請求項9]

前記磁化反転部は、ワード線及びビット線を有し、

前記ワード線には、一方向に電流が流れ、前記ビット線は、書き

込むデータに応じて電流の方向が変わり、

前記磁化自由層は、前記ワード線及び前記ビット線が交差する位置に配置され、前記ビット線に流れる電流の方向に応じて前記反強磁性体の磁化方向が反転する

ことを特徴とする請求項2～5のいずれか1項に記載のメモリ素子

。

[請求項10] 前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層と、

磁化方向が固定された磁化固定層とを有し、

前記磁化自由層と前記磁化固定層との間に前記非磁性層が配置されており、

前記読出部には、前記磁化固定層、前記非磁性層、及び前記磁化自由層に所定の電圧が印加されることで、前記磁化固定層の磁化方向に対する前記磁化自由層の磁化方向に応じた電流が流れる

ことを特徴とする請求項1に記載のメモリ素子。

[請求項11] 前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層と、

磁化方向が固定された磁化固定層とを有し、

前記磁化自由層と前記磁化固定層との間に前記非磁性層が配置されており、

前記読出部には、前記磁化固定層、前記非磁性層、及び前記磁化自由層に所定の電流が流されることで、前記磁化固定層の磁化方向に対する前記磁化自由層の磁化方向に応じた電位差が生じる

ことを特徴とする請求項1に記載のメモリ素子。

[請求項12] 磁化方向が反転可能な磁化自由層と、

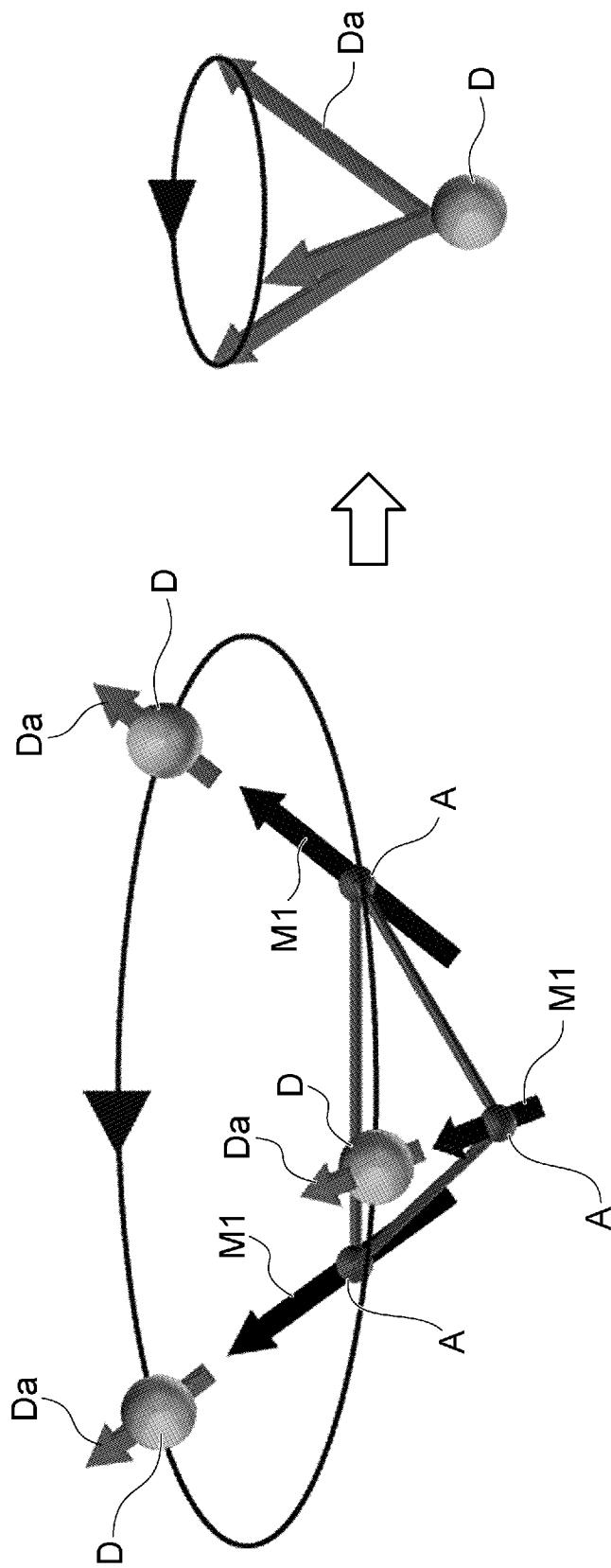
前記磁化自由層の膜面上に積層された非磁性層と、

前記磁化自由層との間に前記非磁性層を配した状態に積層され、書き込むデータに応じて前記磁化自由層の磁化方向を反転させる、またはデータを読み出す際に前記磁化自由層の磁化方向に応じた電気信号を取り出すための磁化固定層と

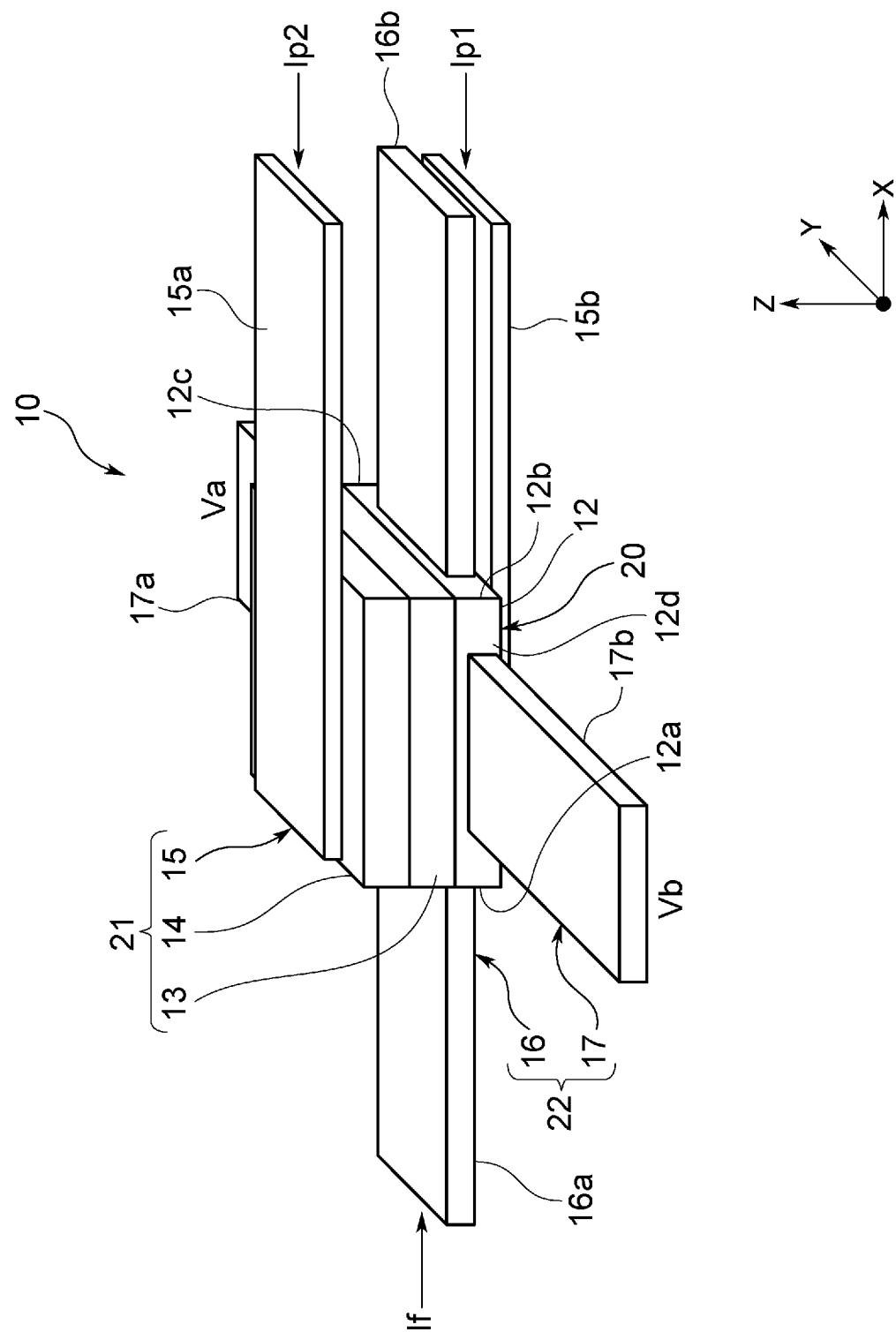
を備え、

前記磁化自由層と前記磁化固定層との少なくともいずれか一方が反強磁性体であることを特徴とするメモリ素子。

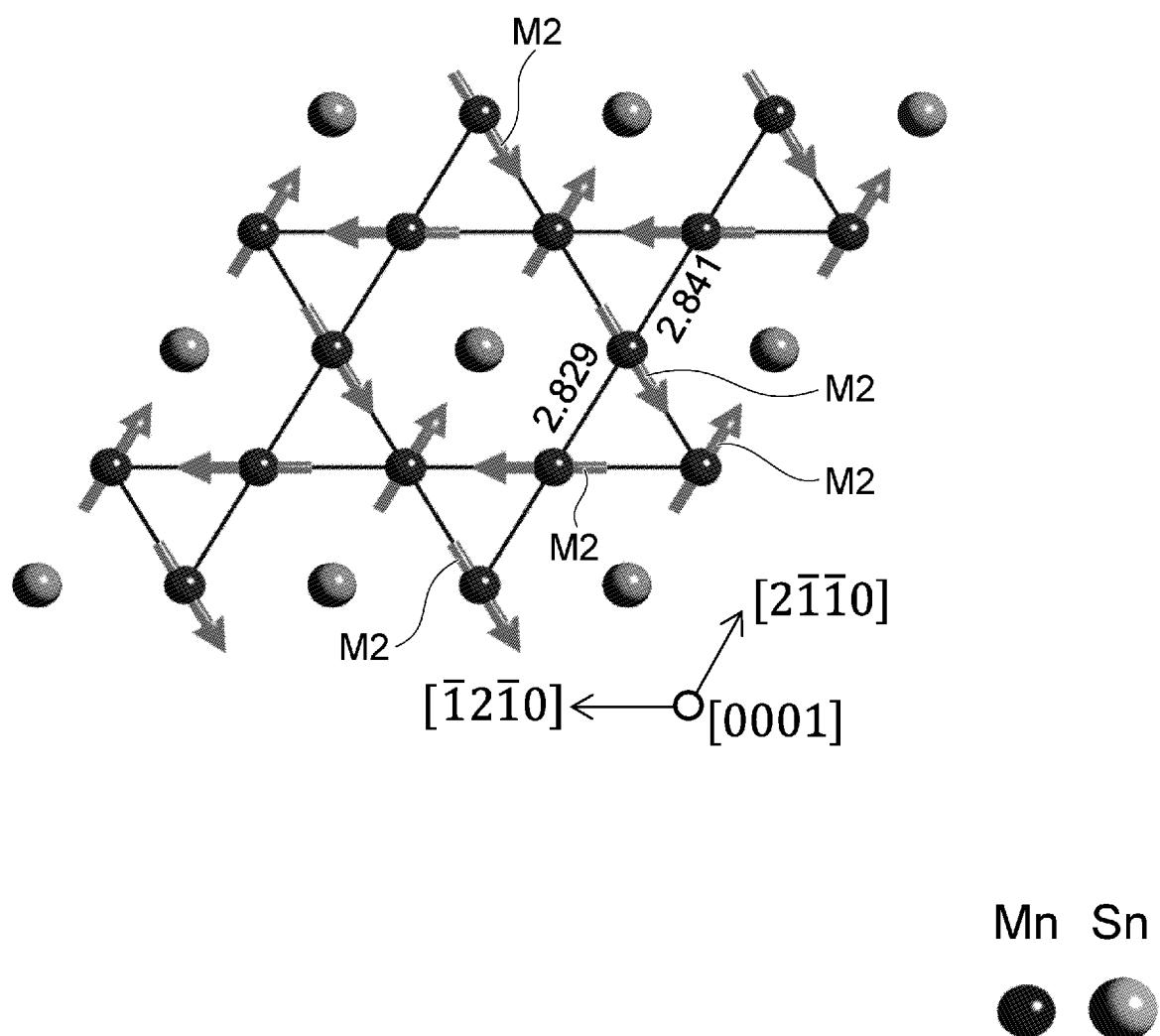
[図1]



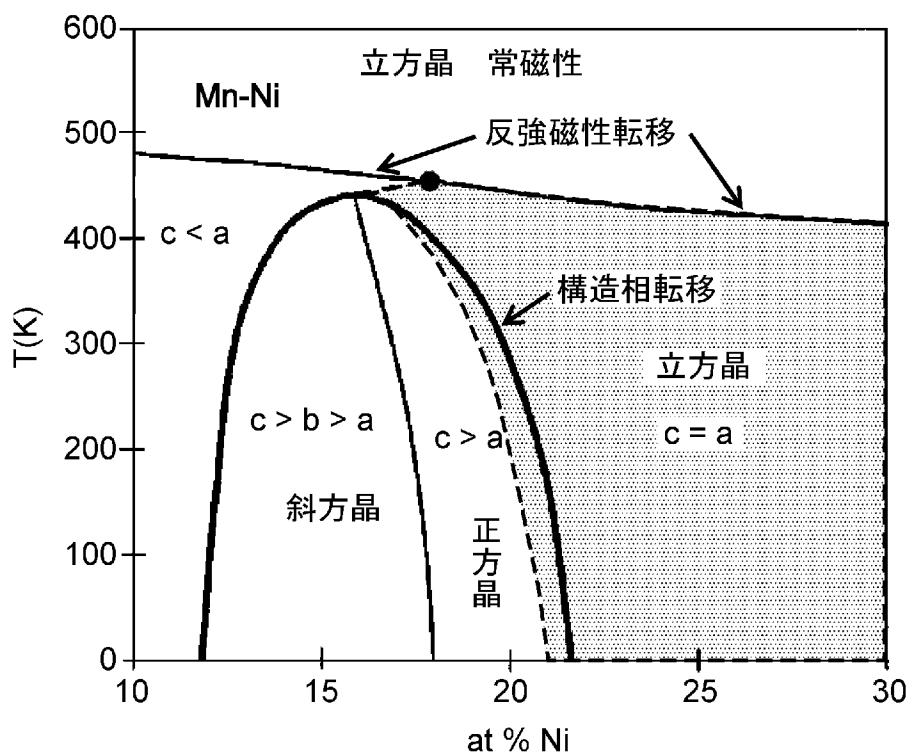
[図2]



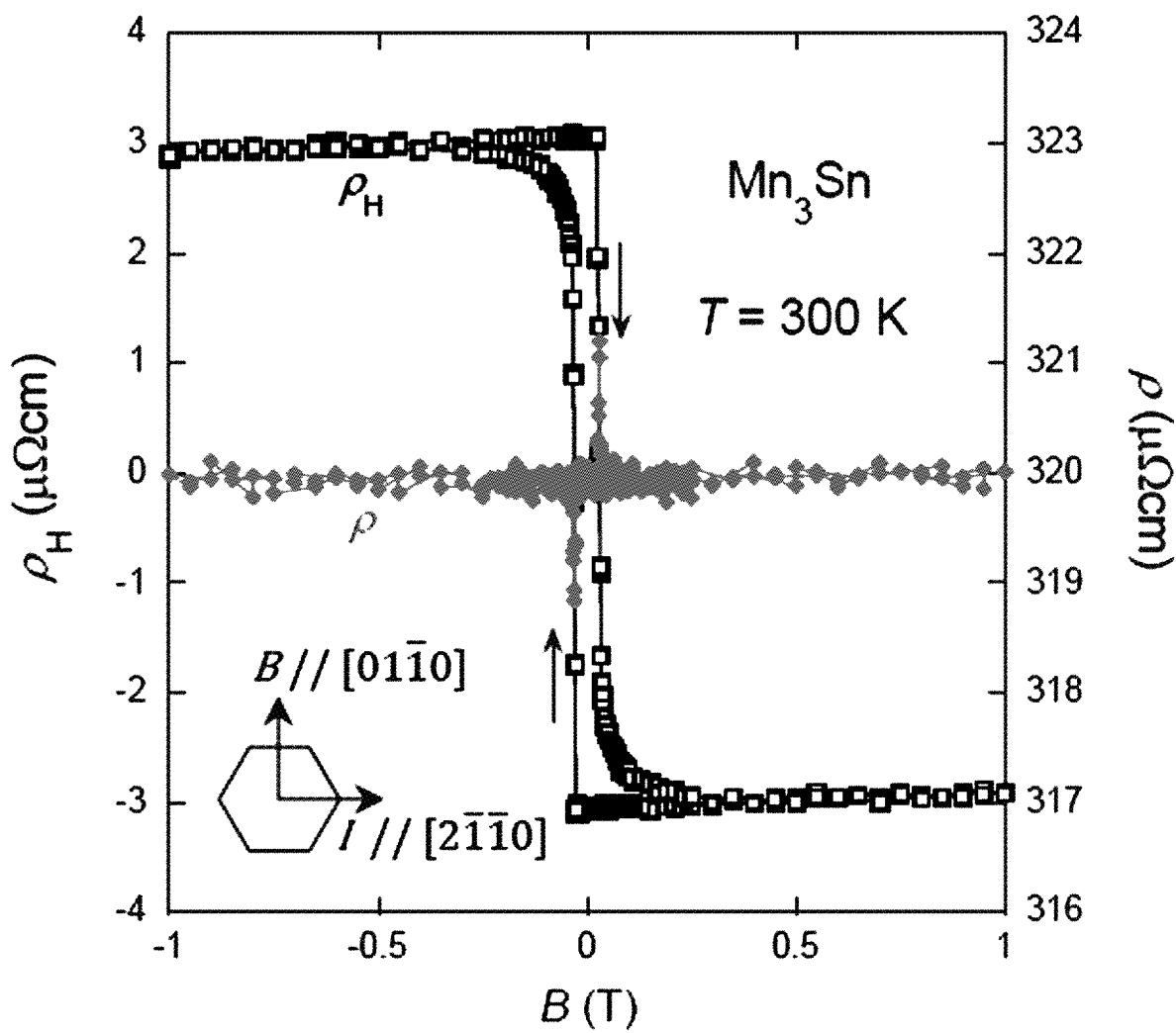
[図3]



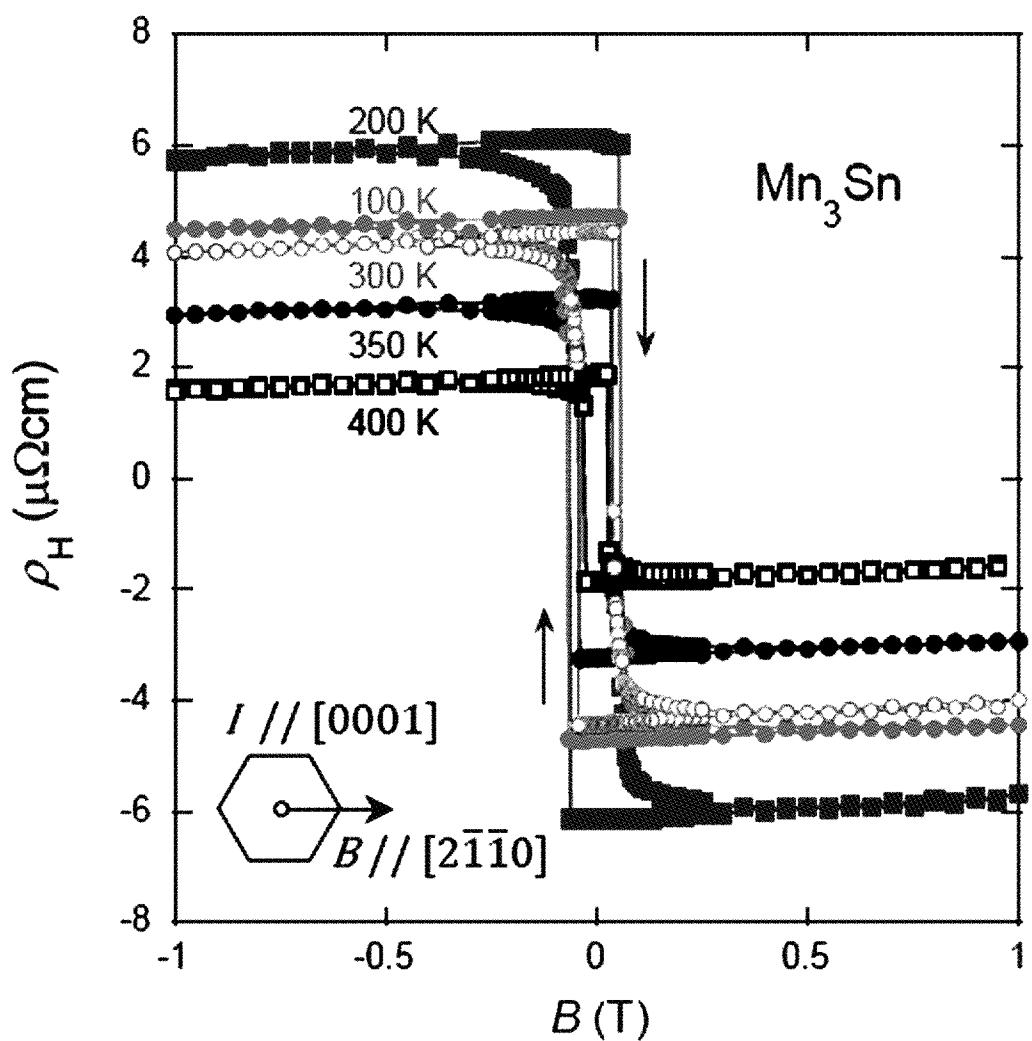
[図4]



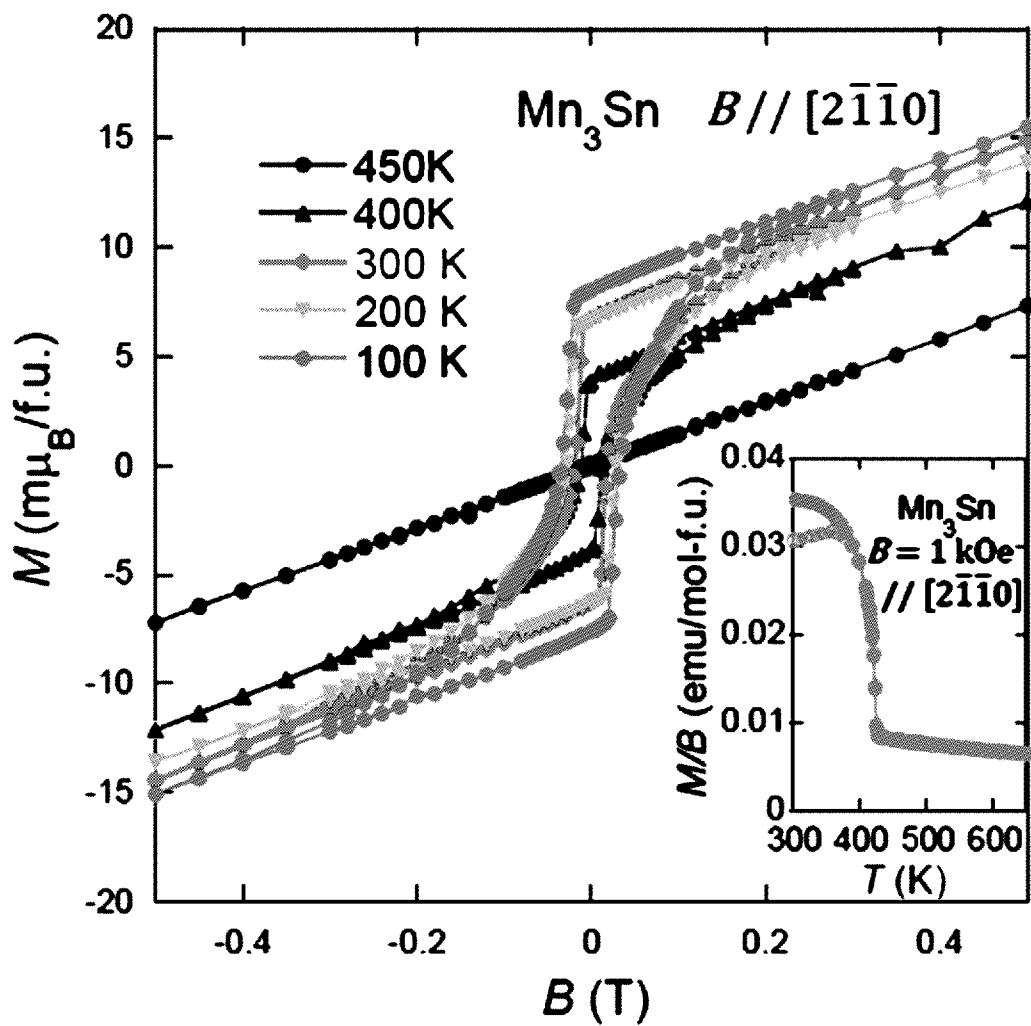
[図5]



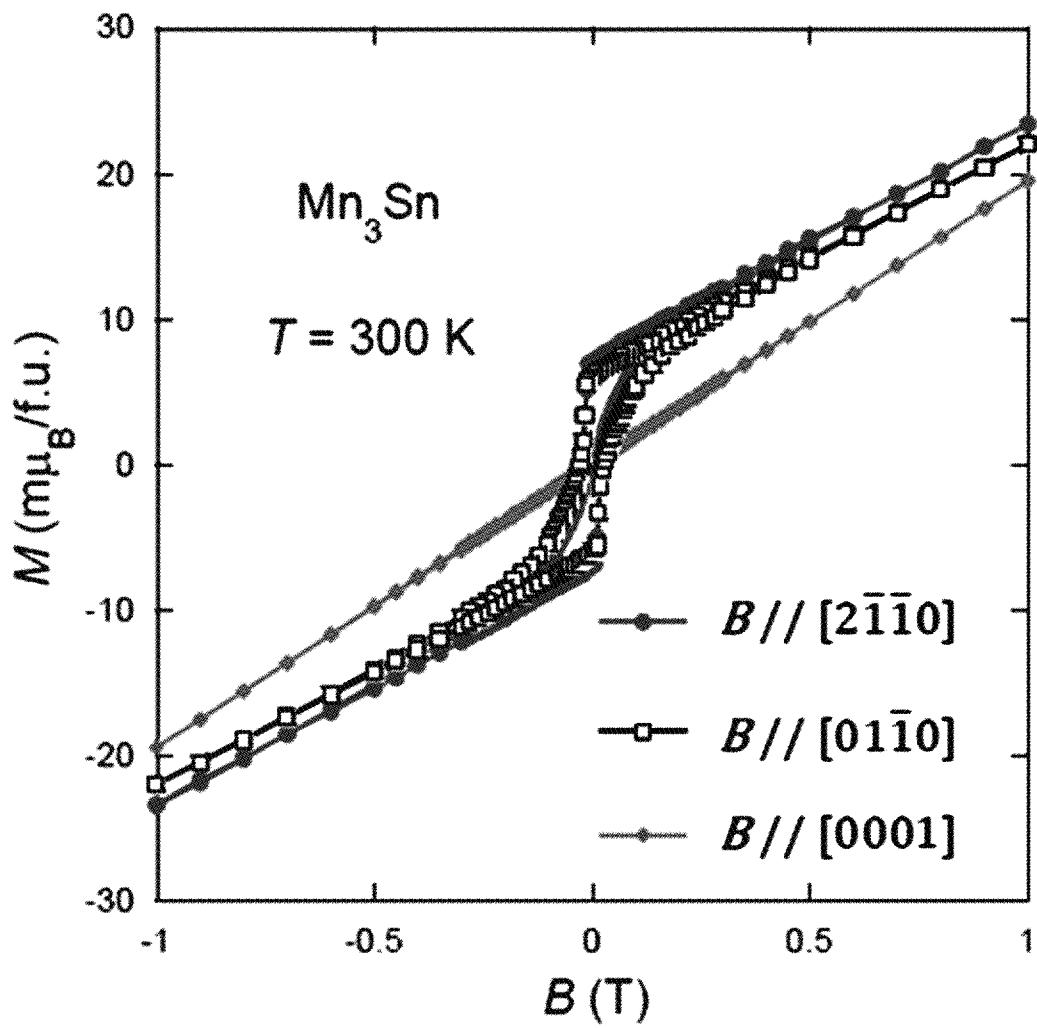
[図6]



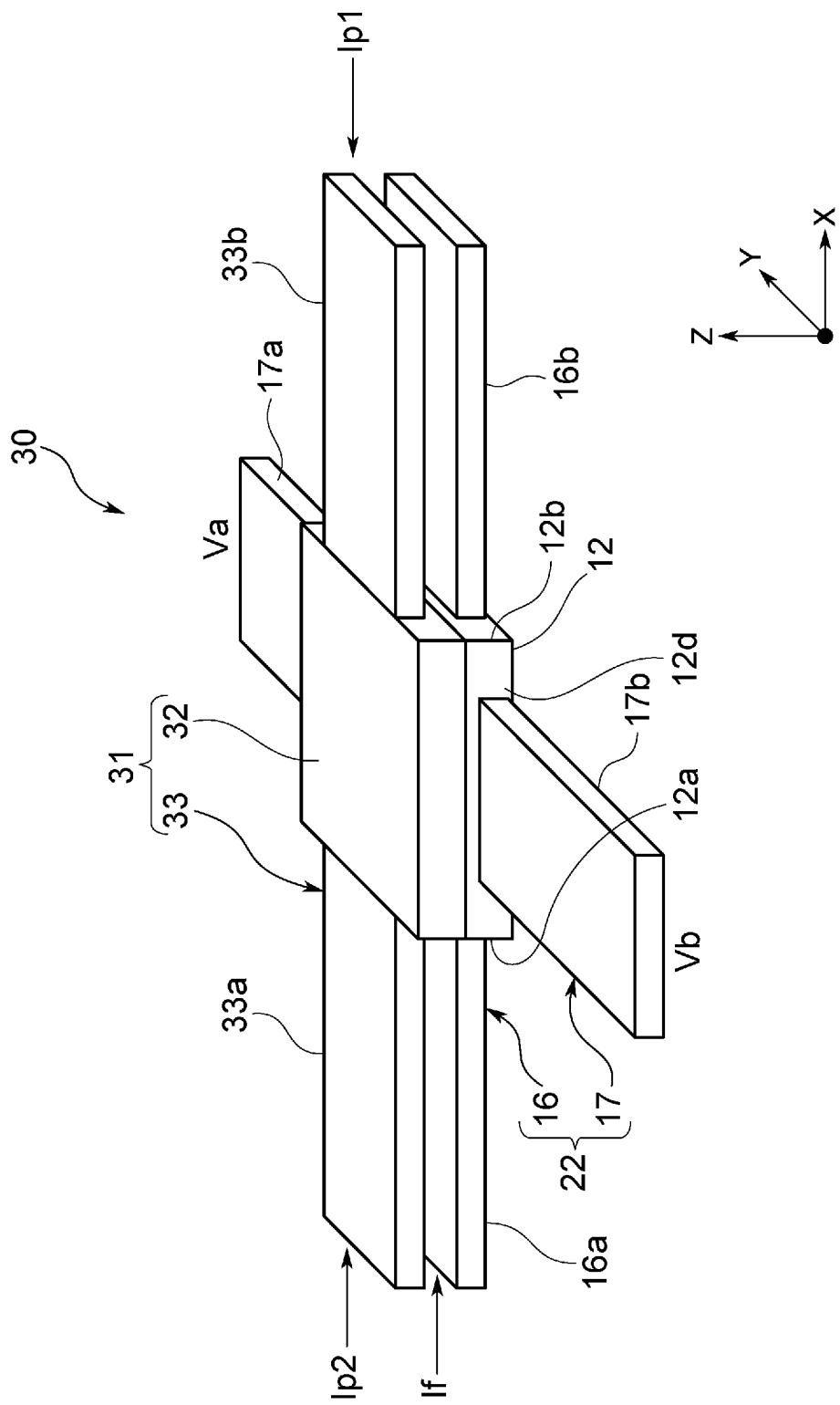
[図7]



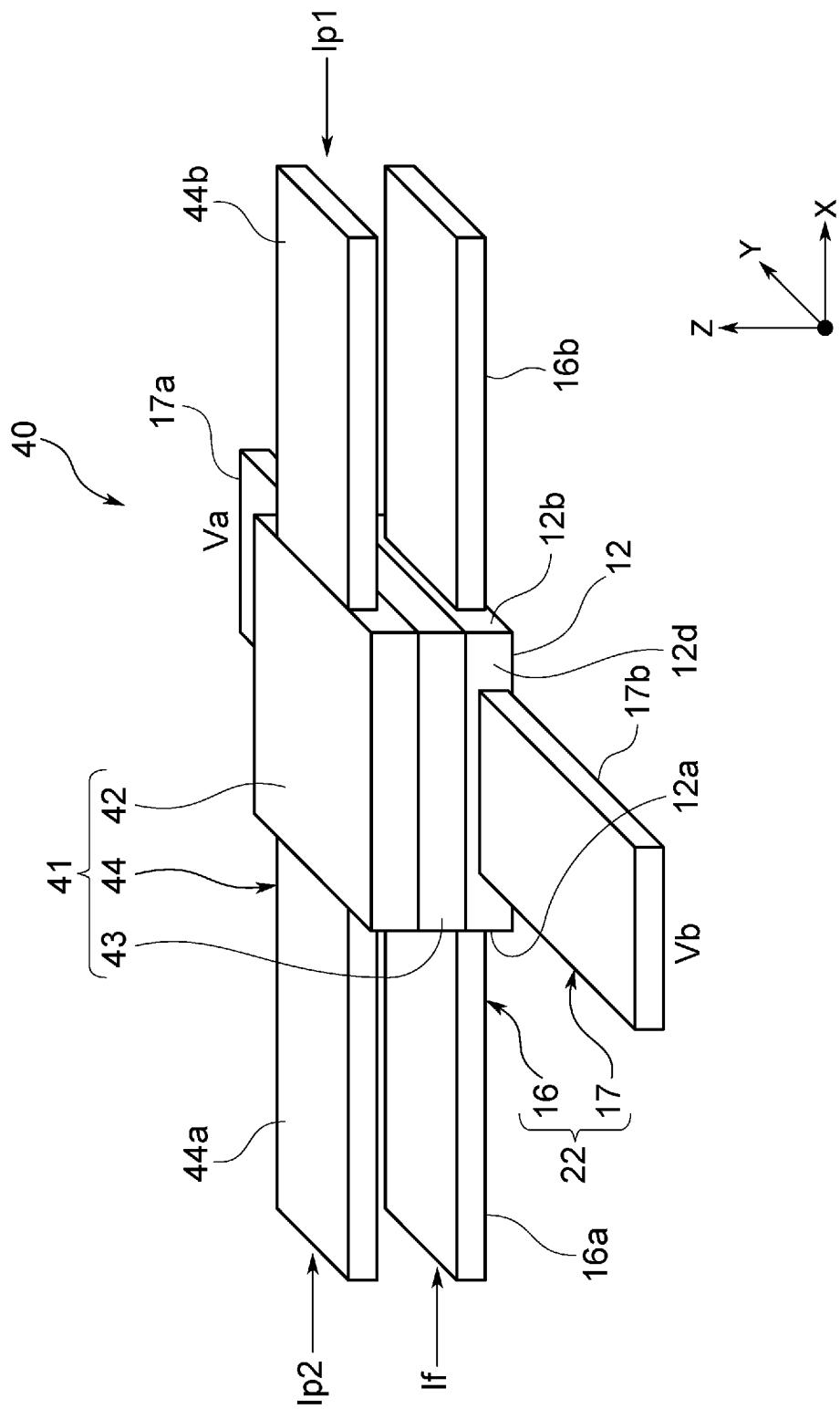
[図8]



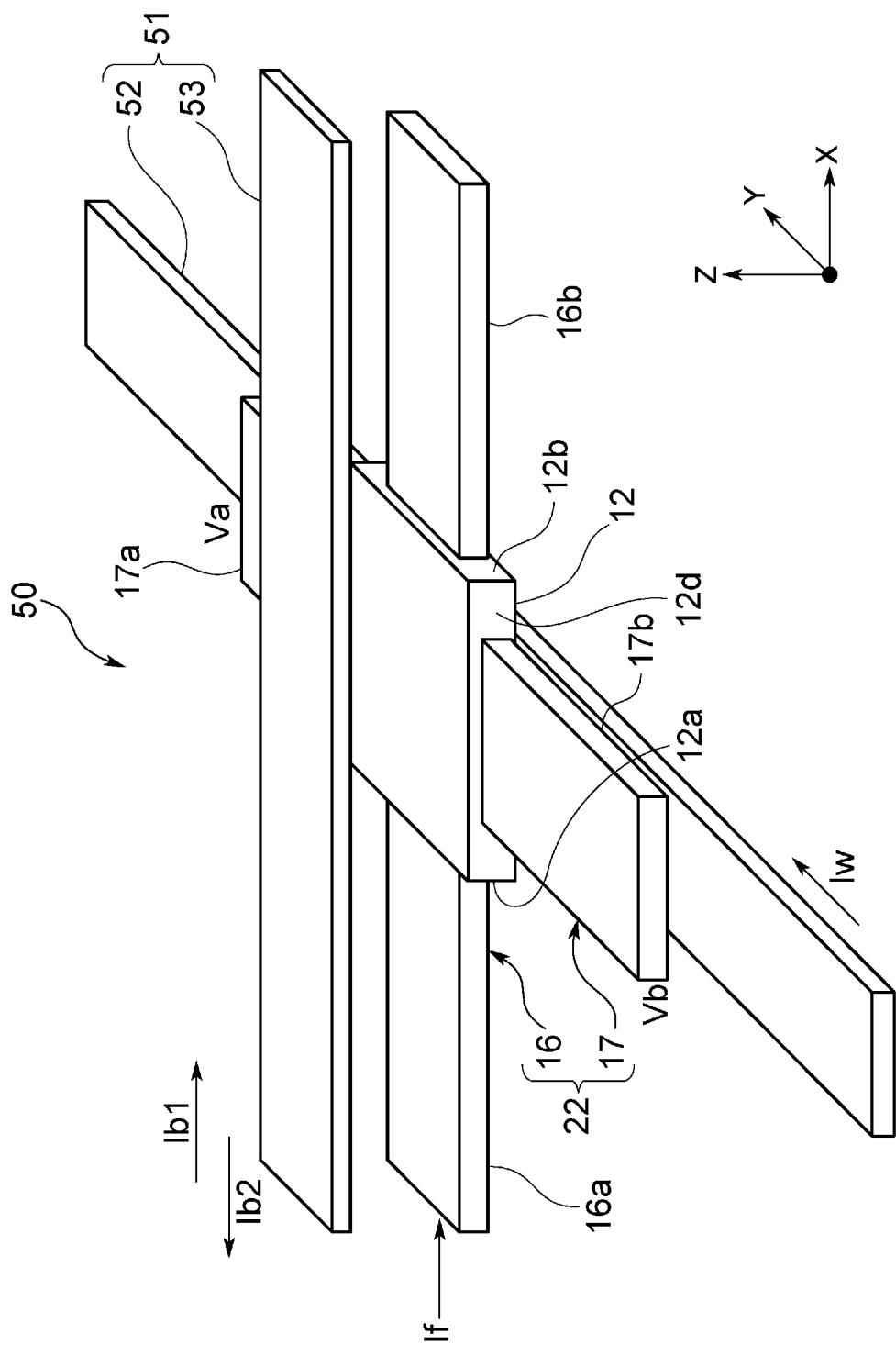
[図9]



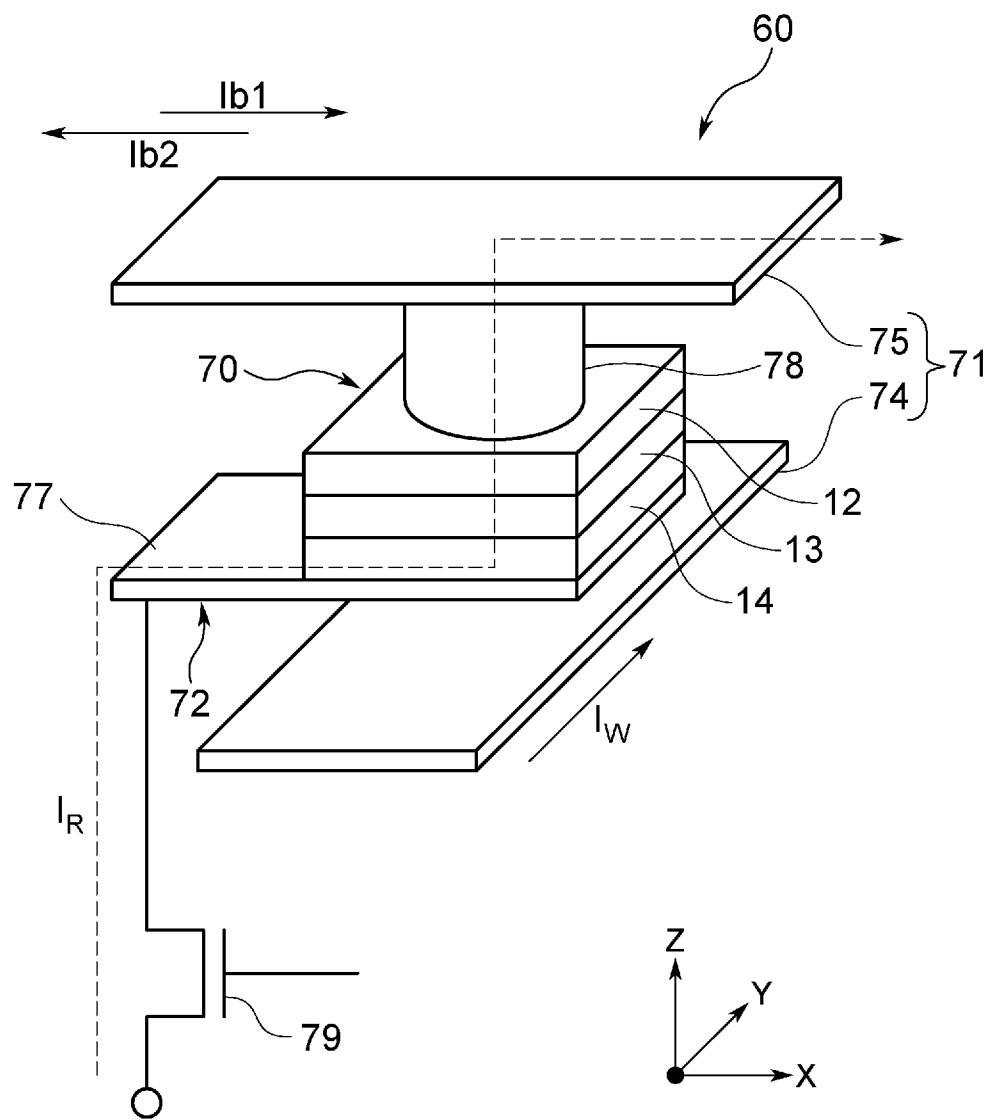
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/071778

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01F10/193(2006.01)i,
H01F10/32(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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)

H01L21/8246, G11C11/15, H01F10/193, H01F10/32, H01L27/105, H01L29/82

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

<i>Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1922-1996</i>	<i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i>	<i>1996-2016</i>
<i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1971-2016</i>	<i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1994-2016</i>

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	JP 2001-84756 A (Sony Corp.), 30 March 2001 (30.03.2001), paragraphs [0018] to [0019], [0092], [0137] to [0142], [0168] to [0173], [0176] to [0179]; fig. 10, 12, 13 & US 6483741 B1 column 3, lines 30 to 52; column 15, lines 42 to 50; column 23, lines 8 to 38; column 26, line 57 to column 27, line 58; column 28, lines 13 to 56; fig. 10, 12, 13	1, 2, 6, 7, 9-12 3-5, 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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
31 August 2016 (31.08.16)

Date of mailing of the international search report
13 September 2016 (13.09.16)

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/JP2016/071778

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-69107 A (Hitachi, Ltd.), 07 March 2003 (07.03.2003), paragraphs [0023], [0034], [0062] to [0064], [0066]; fig. 3, 16, 17 & US 2003/0039062 A1 paragraphs [0046], [0061], [0093] to [0095], [0097]; fig. 3, 16, 17 & US 2005/0007694 A1	1, 2, 6, 7, 9-12
Y	JP 2013-69865 A (Toshiba Corp.), 18 April 2013 (18.04.2013), paragraphs [0035] to [0039]; fig. 4 (Family: none)	6
Y	JP 2014-45196 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 13 March 2014 (13.03.2014), paragraphs [0074], [0092] to [0094]; fig. 6 & US 2014/0056060 A1 paragraphs [0044], [0061] to [0063]; fig. 6 & US 2014/0056061 A1 & DE 102013109012 A1 & CN 103633239 A & CN 104051611 A & TW 201447879 A	7
A	JP 2007-329492 A (Toshiba Corp.), 20 December 2007 (20.12.2007), paragraphs [0053] to [0055]; fig. 9 & JP 2001-156357 A & US 6611405 B1 column 11, line 51 to column 12, line 9; fig. 9 & US 2003/0197984 A1 & US 2004/0175596 A1 & US 2005/0185347 A1 & US 2006/0146451 A1 & US 2007/0297101 A1 & EP 1085586 A2 & KR 10-2001-0030391 A & CN 1308317 A	1-12
A	JP 2010-45387 A (Toshiba Corp.), 25 February 2010 (25.02.2010), paragraphs [0051] to [0061]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-12
A	JP 2010-263221 A (Crocus Technology SA), 18 November 2010 (18.11.2010), paragraphs [0034] to [0035]; fig. 4a, 4b & US 2011/0110151 A1 paragraphs [0045] to [0046]; fig. 4a, 4b & EP 2249350 A1	1-12
A	JP 2012-156376 A (Renesas Electronics Corp.), 16 August 2012 (16.08.2012), paragraphs [0043] to [0047]; fig. 4 to 6 & US 2012/0193601 A1 paragraphs [0093] to [0097]; fig. 4 to 6 & CN 102623483 A	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/071778

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/133744 A1 (NEC Corp.), 05 November 2009 (05.11.2009), paragraphs [0122] to [0126]; fig. 45A, 45B & JP 5435412 B2	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01F10/193(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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. H01L21/8246, G11C11/15, H01F10/193, H01F10/32, 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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 カテゴリーエ	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2001-84756 A (ソニー株式会社) 2001.03.30, 段落[0018] - [0019], [0092], [0137] - [0142], [0168] - [0173], [0176] - [0179], 図10, 12, 13	1, 2, 6, 7, 9 - 12
A	& US 6483741 B1, 第3欄第30 - 52行, 第15欄第42 - 50行, 第23欄第8 - 38行, 第26欄第57行 - 第27欄第58行, 第28欄第13 - 56行, 図10, 12, 13	3 - 5, 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 31. 08. 2016	国際調査報告の発送日 13. 09. 2016
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (I S A / 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 满 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
Y	JP 2003-69107 A (株式会社日立製作所) 2003.03.07, 段落[0023], [0034], [0062] - [0064], [0066], 図3, 16, 17 & US 2003/0039062 A1, 段落[0046], [0061], [0093] - [0095], [0097], 図3, 16, 17 & US 2005/0007694 A1	1, 2, 6, 7, 9 - 12
Y	JP 2013-69865 A (株式会社東芝) 2013.04.18, 段落[0035] - [0039], 図4 (ファミリーなし)	6
Y	JP 2014-45196 A (三星電子株式会社) 2014.03.13, 段落[0074], [0092] - [0094], 図6 & US 2014/0056060 A1, 段落[0044], [0061] - [0063], 図6 & US 2014/0056061 A1 & DE 102013109012 A1 & CN 103633239 A & CN 104051611 A & TW 201447879 A	7
A	JP 2007-329492 A (株式会社東芝) 2007.12.20, 段落[0053] - [0055], 図9 & JP 2001-156357 A & US 6611405 B1, 第11欄第51行 - 第12欄第9行, 図9 & US 2003/0197984 A1 & US 2004/0175596 A1 & US 2005/0185347 A1 & US 2006/0146451 A1 & US 2007/0297101 A1 & EP 1085586 A2 & KR 10-2001-0030391 A & CN 1308317 A	1 - 12
A	JP 2010-45387 A (株式会社東芝) 2010.02.25, 段落[0051] - [0061], 図1, 3 (ファミリーなし)	1 - 12
A	JP 2010-263221 A (クロッカス・テクノロジー・ソシエテ・アノニム) 2010.11.18, 段落[0034] - [0035], 図4a, 4b & US 2011/0110151 A1, 段落[0045] - [0046], 図4a, 4b & EP 2249350 A1	1 - 12
A	JP 2012-156376 A (ルネサスエレクトロニクス株式会社) 2012.08.16, 段落[0043] - [0047], 図4 - 6 & US 2012/0193601 A1, 段落[0093] - [0097], 図4 - 6 & CN 102623483 A	1 - 12
A	WO 2009/133744 A1 (日本電気株式会社) 2009.11.05, 段落[0122] - [0126], 図45A, 45B & JP 5435412 B2	1 - 12