

(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
2016年4月28日(28.04.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/063448 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
G11C 11/15 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 27/105 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/004399
- (22) 国際出願日: 2015年8月31日(31.08.2015)
- (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 2014-214729 2014年10月21日(21.10.2014) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号
Tokyo (JP). 国立大学法人東北大学(TOHOKE UNIVERSITY)
[JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区
片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 根橋 竜介(NEBASHI, Ryusuke); 〒
1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気
株式会社内 Tokyo (JP). 崎村 昇(SAKIMURA,
Noboru); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号
日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 辻 幸秀(TSUJI,
Yukihide); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1
号日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 多田 あゆ香

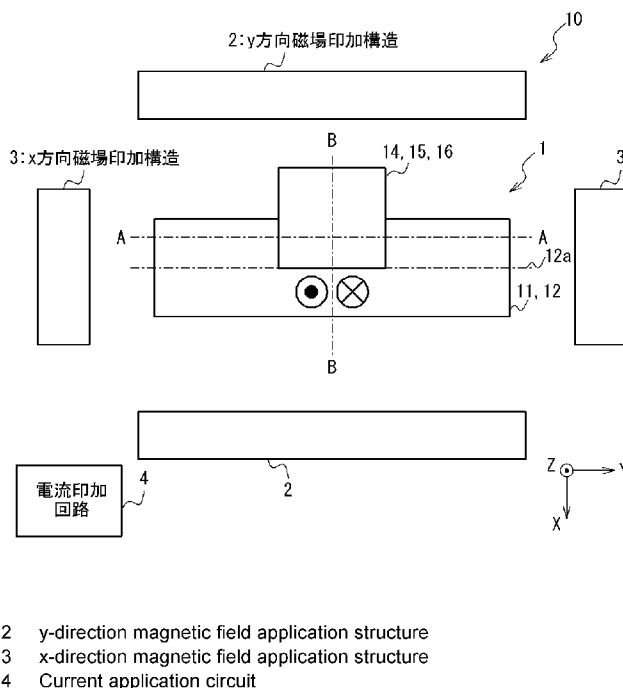
(TADA, Ayuka); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7
番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 大野 英
男(OHNO, Hideo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区
片平二丁目1番1号国立大学法人東北大学内
Miyagi (JP).

- (74) 代理人: 池田 憲保, 外(IKEDA, Noriyasu et al.); 〒
1000011 東京都千代田区内幸町1丁目2番2号
日比谷ダイビル 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,

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC MEMORY AND METHOD FOR WRITING DATA INTO MAGNETIC MEMORY ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁気メモリ及び磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法



(57) Abstract: In order to stably write data in a magnetic memory in which data is written using in-plane current-induced perpendicular switching of magnetization, the magnetic memory is provided with: a recording layer formed as a perpendicular magnetization film; an adjacent layer joined to an upper surface or a lower surface of the recording layer; an external magnetic field application part configured to apply a first external magnetic field to the recording layer in a first direction that is an in-plane direction of the recording layer; and a current application part configured to pass a write current through the adjacent layer in the first direction or a second direction opposite to the first direction. The external magnetic field application part is configured to reverse the direction of a second external magnetic field to be applied in a direction perpendicular to the first direction depending on the direction of the write current.

(57) 要約: 面内電流誘起垂直磁化反転を用いてデータ書き込みを行う磁気メモリについて、データを安定に書き込むために、磁気メモリが、垂直磁化膜として形成された記録層と、記録層の上面又は下面に接合される隣接層と、記録層の面内方向である第1方向に記録層に第1外部磁場を印加するように構成された外部磁場印加部と、第1方向又は第1方向と逆の第2方向に隣接層に書き込み電流を流すように構成された電流印加部とを具備する。外部磁場印加部は、第1方向に垂直な方

向に印加される第2外部磁場の方向を、書き込み電流の方向に応じて反転するように構成されている。

WO 2016/063448 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

磁気メモリ及び磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法

技術分野

[0001] 本発明は、磁気メモリ及び磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法に関し、特に、データを保持する記録層として垂直磁化膜（垂直磁気異方性を有する磁性膜）を用いる磁気メモリ素子を備えた磁気メモリ及びこのような構成の磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法に関する。

背景技術

[0002] 磁気ランダムアクセスメモリ（magnetic random access memory）その他の磁気メモリは、磁性膜の磁化の向きとしてデータを記録するメモリである。磁化の向きとしてデータを記録する磁性膜は、以下において、記録層と呼ぶことがある。磁気メモリは、低電圧・高速動作、不揮発性、高い書き換え耐性などのメモリとして望ましい特徴を持っているため、精力的に開発が進められている。

[0003] 初期の磁気メモリでは、データの書き込みは、記録層の近傍に設けられた配線に電流を流して電流磁場（エルステッド磁場）を発生し、その電流磁場で磁化を所望の向きに反転させることで行われていた（例えば、特許文献1、2参照）。しかしながら、電流磁場で磁化を反転する手法では、メモリセルサイズを小さくすると書き込み電流が増大するという問題がある。

[0004] 近年では、磁気メモリへのより効率的な書き込み手法として、電子の持つスピンを利用した書き込み手法が提案されている。このような書き込み手法の一つが、スピン偏極電流を記録層の面内方向に流すことで磁壁を移動させることにより磁化を反転する手法である。垂直磁化膜を記録層として用いる磁気メモリでは、スピン偏極電流で磁壁を移動させる手法は、特に有用であると考えられている。近年では、電子のスピンを利用するデバイスが様々な提案され、このような技術は、スピントロニクスと呼ばれることがある。

[0005] スピントロニクスにおける近年の一つの成果は、垂直磁化膜の磁化反転を実現する方法として、垂直磁化膜に面内方向の磁場を印加すると共に、該垂直磁化膜に接合された重金属膜（例えば、Pt膜及びTa膜）に磁場と平行な方向の電流を流すことにより、垂直磁化膜の磁化が反転する現象が見出されたことである（例えば、非特許文献1、2参照）。この磁化の反転現象は、ラシュバ（Rashba）場による効果、スピンホール効果によるスピン注入、又は、これらの両方に起因すると考えられている。この磁化反転を、以下では、「面内電流誘起垂直磁化反転」（in-plane current-induced perpendicular switching of magnetization）と呼ぶことがある。

[0006] 図1は、面内電流誘起垂直磁化反転を説明する概念図である。ここでは、非特許文献3に従い、面内電流誘起垂直磁化反転の現象は、スピンホール効果によるスピン注入に起因したとして説明する。図1には、垂直磁化膜102に隣接層101が接合された構造が図示されている。垂直磁化膜102は、垂直磁化（膜厚方向の磁化）を有しており、該垂直磁化は、符号102aで示されている。隣接層101としては、スピンホール効果を強く発現する重金属膜、例えば、Pt膜、Ta膜が用いられる。図1においては、x軸及びy軸が、隣接層101、垂直磁化膜102の面内方向、z軸が隣接層101、垂直磁化膜102の膜厚方向に規定されたxyz直交座標系が定義されており、以下の説明では、このxyz直交座標系が方向を示すために用いられることがある。

[0007] 図1の構造において、垂直磁化膜102にy軸方向に平行に磁場 H_y を印加しながら隣接層101にy軸方向に平行に電流 I_y を流すと、磁化反転が発生する。垂直磁化膜102の磁化が反転する向きは、磁場 H_y 、電流 I_y 、及び、スピンホール効果によって発生するスピン流の向きに依存する。スピン流の向きは、電流 I_y の方向及び隣接層101のスピンホール角の符号に依存する。例えば、初期的に垂直磁化膜102の磁化が+z方向に向いており、隣接層101としてPt膜を用いた場合、垂直磁化膜102に+y方向に磁場 H_y （ >0 ）を印加しながら隣接層101に+y方向に電流 I_y （

> 0) を流すと、垂直磁化膜 102 の磁化は、+ z 方向から - z 方向に反転する。このような磁化反転は、隣接層 101 に電流が流れることで発生する電流磁場による磁化反転やスピン偏極電流の注入による磁化反転としては説明できない。

[0008] 非特許文献 3 によれば、上述されたような面内電流誘起垂直磁化反転は、理論的には、下記のように説明されている。磁化膜の磁化の振る舞いは、下記の LLG 方程式 (Landau-Lifshitz-Gilbert Equation) に従うことが期待される：

[数1]

$$\frac{dm}{dt} = \gamma \tau_{tot} + \alpha (m \times \frac{dm}{dt}) \quad \cdots(1)$$

ここで、m は、単位磁化ベクトルであり、x y z 直交座標系における単位磁化ベクトル m の各成分は $m = (m_x, m_y, m_z)$ である。γ は磁気回転比、α はダンピング定数、 τ_{tot} は磁化に作用する全トルクである。

[0009] 全トルク τ_{tot} は、下記式 (2) によって得られる：

[数2]

$$\tau_{tot} = \tau_{st} + \tau_{ext} + \tau_{an} \quad \cdots(2)$$

即ち、全トルク τ_{tot} は、電流によって誘起されるスピンホール効果からの寄与を含む Slonczewski-like トルク τ_{st} 、外部磁場によるトルク τ_{ext} 、磁気異方性によるトルク τ_{an} の和として表される。

[0010] ここで、上記式 (2) の各項は、それぞれ、下記式 (3)、式 (4)、および式 (5) のように表される：

[数3]

$$\tau_{st} = \tau_{st}^0 (m \times x \times m) \quad \cdots(3)$$

$$\tau_{ext} = -m \times B_{ext} \quad \cdots(4)$$

$$\tau_{an} = -B_{an}^0 m_z (m \times z) \quad \cdots(5)$$

ここで、 τ_{st}^0 は Slonczewski-like トルクであり、書き込み電流に比例する。

B_{ext} は外部磁場のベクトルであり、 $x y z$ 直交座標系におけるベクトルの各成分は $B_{ext} = (B_x, B_y, B_z)$ である。また、 x は x 方向の単位ベクトル、 y は y 方向の単位ベクトル、 z は、 z 方向の単位ベクトルである。 B_{an} は異方性磁場である。非特許文献 3 は、式 (1) により面内電流誘起垂直磁化反転をよく説明できることを報告している。尚、Slonczewski-like トルクとして、スピンホール効果による寄与以外に、非特許文献 1 によれば、記録層に流れる電流により発生するラシュバ場からの寄与が示唆されている。

[0011] 本発明者らは、上述された面内電流誘起垂直磁化反転を磁気メモリのメモリセルの記録層へのデータ書き込み（即ち、磁化反転）に利用することを検討している。面内電流誘起垂直磁化反転を利用してデータ書き込みを行うことにより、データ書き込み特性を向上できる可能性がある。

[0012] 面内電流誘起垂直磁化反転を利用したデータ書き込みの一つの問題は、記録層に中間状態（“0” か “1” のいずれを示すか不定な状態）が存在し得ることである。例えば、非特許文献 3 は、面内電流誘起垂直磁化反転を利用した磁化反転を行う場合、中間状態が存在し得ることを開示している。中間状態の存在は、データ書き込みにおいて好ましくない。

[0013] なお、非特許文献 4 は、面内電流誘起垂直磁化反転を利用した書き込み手法に関し、ダンピング定数を増大させることで、誤書き込みを低減できることをシミュレーションにより明らかにしている。

[0014] また、特許文献 3 は、強磁性体に対して外部から弱磁場を印加しつつ、パルス電流を印加することで強磁性体の磁化状態を制御する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献 1：特開 2003-209226 号公報

特許文献 2：特開 2006-310423 号公報

特許文献 3：特開 2009-26354 号公報

非特許文献

[0016] 非特許文献1: I. M. Miron, et al., “Perpendicular switching of a single ferromagnetic layer induced by in-plane current injection”, Nature, 11 August 2011, vol. 476, p. 189.

非特許文献2: L. Liu, et al., “Spin-Torque Switching with the Giant Spin Hall Effect of Tantalum”, Science, 4 May 2012, vol. 336, p. 555.

非特許文献3: L. Liu, et al., “Current-Induced Switching of Perpendicularly Magnetized Magnetic Layers Using Spin Torque from the Spin Hall Effect”, Phys. Rev. Lett., 109, 096602 (2012).

非特許文献4: Ki-Seung Lee, et al., “Threshold current for switching of a perpendicular magnetic layer induced by spin Hall effect”, Applied Physics Letters, 102, 112410 (2013)

非特許文献5: T. D. Skinner, et al., “Spin-orbit torque opposing the Oersted torque in ultrathin Co/Pt bilayers”, Applied Physics Letters, 104, 062401 (2014)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0017] したがって、本発明の目的は、面内電流誘起垂直磁化反転を用いてデータ書き込みを行う磁気メモリについて、データを安定に書き込むことを容易にするための技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明の一の観点では、磁気メモリが、垂直磁化膜として形成された記録層と、記録層の上面又は下面に接合される隣接層と、記録層の面内方向である第1方向に記録層に第1外部磁場を印加するように構成された外部磁場印加部と、第1方向又は第1方向と逆の第2方向に隣接層に書き込み電流を流すように構成された電流印加部とを具備する。記録層と隣接層と外部磁場印加部とは、第1乃至第3磁場印加方向のいずれかを、書き込み電流の方向に応じて反転するように構成されている。第1磁場印加方向は、第1方向に垂直な方向に印加される第2外部磁場の方向である。第2磁場印加方向は、書

き込み電流が隣接層と記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と書き込み電流が隣接層に流れることによって生成されるエルステッド磁場との和の方向である。第3磁場印加方向は、第2外部磁場と有効磁場とエルステッド磁場との和である実効磁場の方向である。

[0019] 本発明の他の観点では、垂直磁化膜として形成された記録層と記録層の上面又は下面に接合される隣接層とを含む磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法が提供される。当該データ書き込み方法は、記録層の面内方向である第1方向に記録層に第1外部磁場を印加することと、第1方向又は第1方向と逆の第2方向に隣接層に書き込み電流を流すことと、第1方向に垂直な方向に第2外部磁場を印加することとを具備する。第2外部磁場の方向、又は、書き込み電流が隣接層と記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と書き込み電流が隣接層に流れることによって生成されるエルステッド磁場と第2外部磁場との和である実効磁場の方向が、書き込み電流の方向に応じて反転される。

[0020] このとき、第2外部磁場を印加せずにデータ書き込みを行ってもよい。この場合、隣接層と記録層とは、書き込み電流が隣接層と記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と書き込み電流が隣接層に流れることによって生成されるエルステッド磁場との和の方向が、書き込み電流の方向に応じて反転されるように形成される。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、面内電流誘起垂直磁化反転を用いてデータ書き込みを行う磁気メモリについて、データを安定に書き込むことを容易にするための技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]面内電流誘起垂直磁化反転を説明する概念図である。

[図2A]本発明の第1の実施形態の磁気メモリの構成を示す平面図である。

[図2B]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の図2Aの断面A-Aにおける断面構造を示す断面図である。

[図2C]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の図2Aの断面B－Bにおける断面構造を示す断面図である。

[図2D]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の變形例の図2Aの断面A－Aにおける断面構造を示す断面図である。

[図2E]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の變形例の図2Aの断面B－Bにおける断面構造を示す断面図である。

[図3A]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の第1の状態を概念的に示す断面図である。

[図3B]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の第1の状態を概念的に示す断面図である。

[図4A]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の第2の状態を概念的に示す断面図である。

[図4B]第1の実施形態に係る磁気メモリ素子の第2の状態を概念的に示す断面図である。

[図5A]第1の実施形態に係る磁気メモリのデータ“1”の書き込み動作を概念的に示す断面図である。

[図5B]第1の実施形態に係る磁気メモリのデータ“0”の書き込み動作を概念的に示す断面図である。

[図6A]第1の実施形態に係る磁気メモリのデータ“1”の書き込み動作の書き込みウィンドウを示す図である。

[図6B]第1の実施形態に係る磁気メモリのデータ“0”の書き込み動作の書き込みウィンドウを示す図である。

[図7]field-likeトルク τ_F とエルステッド磁場によるトルク τ_O とを概念的に示すグラフである。

[図8A]本発明の第2の実施形態の磁気メモリの構成を示す平面図である。

[図8B]第2の実施形態に係る磁気メモリ素子の図8Aの断面A－Aにおける断面構造を示す断面図である。

[図8C]第2の実施形態に係る磁気メモリ素子の図8Aの断面B－Bにおける

断面構造を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下の説明において、同一又は対応する構成要素は、同一又は類似の参照符号によって参照されることに留意されたい。

[0024] (第1の実施形態)

図2Aは、本発明の第1の実施形態の磁気メモリ10の構成を示す平面図である。なお、以下の磁気メモリ10についての説明においては、 x y z 直交座標を用いて方向を示すことがある。

[0025] 磁気メモリ10は、磁気メモリ素子1と y 方向磁場印加構造2と x 方向磁場印加構造3と電流印加回路4とを備えている。図2B、図2Cは、磁気メモリ素子1の構造を示す断面図である。ここで、図2Bは、図2Aに図示された断面A-Aにおける磁気メモリの断面構造を示しており、図2Cは、図2Aに図示された断面B-Bにおける磁気メモリの断面構造を示している。

[0026] 磁気メモリ素子1は、隣接層11と記録層12とMTJ (magnetic tunnel junction) 13とを備えている。図2A～図2Cにおいて、 x 軸及び y 軸は、隣接層11と記録層12の面内方向に、互いに直交であるように定義されている。一方、 z 軸は、隣接層11と記録層12の膜厚方向、即ち、 x 軸及び y 軸の両方に直交する方向に定義されている。

[0027] 隣接層11は、スピントール効果を強く発現する金属膜で形成される。例えば、内因性スピントール効果を期待する場合には、隣接層11は、Pt、Pd、Au、Ag、Cu、Ta、W、Nb、Mb、又は、これらのうちの2以上を含む合金で形成された金属膜で形成されていることが好ましい。スピントール効果を強く発現するという観点では、これらの材料の金属膜の中でも、Pt膜を隣接層11として用いることが望ましい。また、外因性スピントール効果を期待する場合には、Mn、Ir、Bi、B、C、Nのうちから選択される少なくとも1つ以上の元素がドーピングされた金属膜（例えば、Mn、Ir、Bi、B、C、Nのうちから選択される少なくとも1つ以上の元素

がドーピングされたCu膜)で形成されることが好ましい。

[0028] 隣接層11の両端の付近には、第1および第2の端子T1、T2が接続されている。第1および第2の端子T1、T2は、図示されない選択トランジスタ及びセレクトを介して電流印加回路4に接続され、隣接層11と記録層12とにy軸方向(+y方向又は-y方向)に書き込み電流I_wを流すために用いられる。

[0029] 記録層12は、垂直磁気異方性を有する垂直磁化膜で形成される。即ち、記録層12の磁化は、+z方向と-z方向との間で反転可能である。記録層12としては、Fe、Co、Niのうちの少なくとも一以上を含むフェロ磁性体又はフェリ磁性体の膜が用いられることが望ましい。記録層12として用いられ得るフェロ磁性体の膜の例としては、Co/Ni積層膜(即ち、複数のCo膜と複数のNi膜とが交互に積層された積層膜)、Co/Pd積層膜(即ち、複数のCo膜と複数のPd膜とが交互に積層された積層膜)、Co/Pt積層膜(即ち、複数のCo膜と複数のPt膜とが交互に積層された積層膜)、Co-Cr-Pt合金膜、Co-Fe-B合金膜などが例示される。記録層12として用いられ得るフェリ磁性体の膜としては、Gd-Fe-Co合金、Gd-Co合金、Tb-Fe-Co合金膜などが例示される。

[0030] 記録層12の隣接層11と反対側の面には、絶縁性の膜、例えば、Mg-Oや、Al-Oなどの酸化金属の膜(図示していない)が形成されてもよい。

[0031] MTJ13は、センス層14と、リファレンス層15と、トンネルバリア層16とを備えている。

[0032] センス層14は、フェロ磁性体、より詳細には、面内磁気異方性を有する面内磁化膜で形成される。センス層14の材料は、Fe、Co、Niの内から選択される少なくとも1つ以上を含むことが望ましく、センス層14は、例えば、NiFe合金膜、CoFeB合金膜、CoFe合金膜などで形成される。センス層14は、その磁化方向が+x方向と-x方向との間で反転可能である。

- [0033] リファレンス層 15 も、フェロ磁性体、より詳細には、面内磁気異方性を有する面内磁化膜で形成される。リファレンス層 15 は、センス層 14 と同様の材料で形成される。リファレンス層 15 の磁化は固定され、書き込み、及び、読み出し動作によって反転しない。本実施形態では、図 2 C に図示されているように、リファレンス層 15 は、 $-x$ 方向に固定される。一実施形態では、リファレンス層 15 の磁化を固定するために、リファレンス層 15 に反強磁性層（図示されない）が積層されていてもよい。また、リファレンス層 15 は、第 1 のフェロ磁性膜、非磁性膜、第 2 のフェロ磁性膜が順次に積層された積層膜であってもよい。この場合、第 1 及び第 2 のフェロ磁性膜の磁化は、反強磁性結合によって互いに反平行に向くように設定してもよい。
- [0034] トンネルバリア層 16 は、絶縁性の非磁性層である。トンネルバリア層 16 の材料としては $Mg-O$ 、 $Al-O$ 、 $Ni-O$ 、 $Hf-O$ が例示される。このトンネルバリア層 16 は、センス層 14 とリファレンス層 15 に挟まれており、これらセンス層 14、トンネルバリア層 16、リファレンス層 15 によって MTJ 13 が形成されている。
- [0035] 図 2 A、図 2 C に図示されているように、MTJ 13 のセンス層 14 は、その $x-y$ 面内の重心が記録層 12 の中心線 12 a から $-x$ 方向にずれて配置されると共に、記録層 12 と磁氣的に結合されている。このような配置により、センス層 14 の磁化方向は、記録層 12 の磁化方向に依存して反転する。
- [0036] センス層 14 は、第 3 の端子 T3 に接続されており、リファレンス層 15 は第 4 の端子 T4 に接続されている。後述されるように、読み出し動作においては、第 3 および第 4 の端子 T3、T4 の間に電圧を印加することにより、MTJ 13 に読み出し電流 I_r が流される。MTJ 13 の抵抗値は、磁気トンネル効果により、センス層 14 とリファレンス層 15 の磁化の相対方向に依存している。上述のように、センス層 14 の磁化方向は、記録層 12 の磁化方向に依存して反転するから、MTJ 13 に読み出し電流 I_r を流すこ

とで、記録層 1 2 の磁化方向、即ち、記録層 1 2 に書き込まれたデータを表す電流信号又は電圧信号を得ることができる。

[0037] なお、センス層 1 4 が隣接層 1 1 及び記録層 1 2 に電氣的に接続されている場合には（例えば、センス層 1 4 と記録層 1 2 の間に導電層が設けられ、センス層 1 4 が該導電層を挟んで記録層 1 2 に接合されている場合）、第 3 の端子 T 3 が設けられず、第 1 の端子 T 1 と第 4 の端子 T 4 の間、又は、第 2 の端子 T 2 と第 4 の端子 T 4 の間に読み出し電流 I_r が流されてもよい。

[0038] また、図 2 A～図 2 C では、センス層 1 4 がリファレンス層 1 5 よりも記録層 1 2 に近接している構造が図示されているが、センス層 1 4 とリファレンス層 1 5 の位置は逆でもよい。センス層 1 4 及びリファレンス層 1 5 について所望の磁気特性を得るためには、リファレンス層 1 5 の上面にトンネルバリア層 1 6 が設けられ、そのトンネルバリア層 1 6 の上面にセンス層 1 4 が設けられる方がよい場合がある。

[0039] また、図 2 B、図 2 C では、記録層 1 2 の下面に隣接層 1 1 が接合されている構造（即ち、隣接層 1 1 の上面に記録層 1 2 が接合されている構造）が図示されているが、図 2 D、図 2 E に図示されているように、隣接層 1 1 と記録層 1 2 の位置が逆でもよい。図 2 D、図 2 E の構造では、記録層 1 2 の下面に隣接層 1 1 が接合される。この場合も、記録層 1 2 とセンス層 1 4 とは、それらが磁氣的に結合されるように配置される。

[0040] 図 2 A を再度参照して、y 方向磁場印加構造 2 と x 方向磁場印加構造 3 とは、記録層 1 2 の面内方向に外部磁場を印加するための外部磁場印加部を構成している。詳細には、y 方向磁場印加構造 2 は、磁気メモリ素子 1 の記録層 1 2 に、y 軸方向に平行な方向（+ y 方向又は - y 方向）に第 1 外部磁場 B_y を印加するように構成されている。一実施形態では、y 方向磁場印加構造 2 として磁気メモリ素子 1 の近傍に配線が配置され、当該配線に電流を流すことにより、記録層 1 2 に y 軸方向に平行にエルステッド磁場（電流磁場）が印加されてもよい。また、y 方向磁場印加構造 2 としてフェロ磁性体を配置し、該フェロ磁性体によって y 軸方向に平行な方向（+ y 方向又は - y

方向)に第1外部磁場 B_y を印加してもよい。尚、 $+y$ 方向は第1方向とも呼ばれ、 $-y$ 方向は第2方向とも呼ばれる。

[0041] 一方、 x 方向磁場印加構造3は、記録層12に、 x 軸方向に平行な方向($+x$ 方向又は $-x$ 方向)に第2外部磁場 B_x を印加するための構造である。一実施形態では、 x 方向磁場印加構造3として磁気メモリ素子1の近傍に配線が配置され、当該配線に電流を流すことにより、記録層12に x 軸方向に平行にエルステッド磁場が印加されてもよい。後述されるように、本実施形態では、 x 方向磁場印加構造3によって印加される第2外部磁場 B_x の方向が、 $+x$ 方向又は $-x$ 方向のうちから、書き込み電流 I_w の向きに応じて選択される。なお、第2外部磁場 B_x の方向は、「第1磁場印加方向」とも呼ばれる。

[0042] 電流印加回路4は、選択トランジスタやセレクトア(いずれも図示されない)を介して隣接層11の第1および第2の端子 T_1 、 T_2 に接続されており、隣接層11と記録層12とに書き込み電流 I_w を流す。隣接層11と記録層12とを流れる書き込み電流 I_w の向きは、書き込むデータに対応付けられる。一実施形態では、データ“1”を書き込む場合、書き込み電流 I_w が $+y$ 方向に流され、データ“0”を書き込む場合、書き込み電流 I_w が $-y$ 方向に流される。

[0043] (磁気メモリ素子1の状態とデータ読み出し)

図3A、図3Bは、本実施形態において磁気メモリ素子1がとりうる2つの状態のうちの一方向の状態(第1の状態)を示し、図4A、図4Bは、該2つの状態のうち他方向の状態(第2の状態)を示している。該2つの状態の一方向がデータ“0”に対応づけられ、他方向がデータ“1”に対応付けられる。

[0044] より具体的には、図3A、図3Bに示されるように記録層12の磁化が $+z$ 方向に向けられている場合、記録層12からの漏洩磁場は、センス層14の位置において、 $-x$ 方向の成分を有し、センス層14の磁化は、漏洩磁場の方向にしたがって、 $-x$ 方向に向く。この場合、センス層14とリファレ

ンス層 15 の磁化は平行であり、MTJ 13 の抵抗値は低くなる（低抵抗状態）。この低抵抗状態は、例えばデータ “0” に対応付けられる。

[0045] 一方、図 4 A、図 4 B に示されるように記録層 12 の磁化が $-z$ 方向に向けられている場合、記録層 12 からの漏洩磁場は、センス層 14 の位置において、 $+x$ 方向の成分を有し、センス層 14 の磁化は、漏洩磁場の方向にしたがって、 $+x$ 方向に向く。この場合、センス層 14 とリファレンス層 15 の磁化は反平行であり、MTJ 13 の抵抗値は高くなる（高抵抗状態）。この高抵抗状態は、例えばデータ “1” に対応付けられる。

[0046] データ読み出しは、第 3 および第 4 の端子 T3、T4 の間に読み出し電流 I_r が流されることによって行われる。読み出し電流 I_r は、トンネルバリア層 16 を貫通するように MTJ 13 を流れる。上述の通り、MTJ 13 の抵抗値は、センス層 14 とリファレンス層 15 の磁化の相対方向、即ち、記録層 12 に記憶されたデータを表しているので、その読み出し電流 I_r 又は読み出し電流 I_r から生成される読み出し電圧に基づいて、記録層 12 に記憶されたデータを識別することができる。

[0047] （書き込み動作）

図 5 A 及び図 5 B は、本実施形態に係る記憶素子の書き込み動作の一例を示す概念図である。なお、以下では書き込み動作を説明するため、図 5 A、図 5 B においては、書き込み動作に関係しない MTJ 13 は図示していない。

[0048] 一例として、図 5 A、図 5 B に図示されているように、記録層 12 の下面に隣接層 11 が接合され、隣接層 11 としてスピホール角が正であるような材料の薄膜（例えば、Pt 膜）が用いられ、且つ、記録層 12 に y 方向磁場印加構造 2 によって $+y$ 方向に第 1 外部磁場 B_y が印加される場合を考える。

[0049] データ “0” を記憶している状態の磁気メモリ素子 1 にデータ “1” を書き込む場合、図 5 A に図示されているように、電流印加回路 4 により、書き込み電流 I_w が隣接層 11 と記録層 12 とに $+y$ 方向に（即ち、第 1 の端子

T 1 から第 2 の端子 T 2 に) 流される。これにより、Slonczewski-like トルク τ_{st} として、+x 方向のトルクが発生する。書き込み電流 I_w の大きさが反転閾値電流を超えると、記録層 1 2 の磁化は +z 方向から、-z 方向へ反転する。図 5 A には、書き込み後のデータ “1” の磁化状態が示されている。

[0050] 一方、データ “1” を記憶している状態の磁気メモリ素子 1 にデータ “0” を書き込む場合、図 5 B に図示されているように、電流印加回路 4 により、書き込み電流 I_w が隣接層 1 1 と記録層 1 2 とに -y 方向に (即ち、第 2 の端子 T 2 から第 1 の端子 T 1 に) 流される。これにより、Slonczewski-like トルク τ_{st} として、-x 方向のトルクが発生する。書き込み電流 I_w の大きさが反転閾値電流を超えると、記録層 1 2 の磁化は -z 方向から、+z 方向へ反転する。図 5 B には、書き込み後のデータ “0” の磁化状態が示されている。

[0051] 本発明者らの一つの発見は、x 軸方向に第 2 外部磁場 B_x を印加することで、書き込みウィンドウを拡大できるということである。ここで、書き込みウィンドウとは、磁気メモリ素子 1 が中間状態とならないような書き込み電流及び面内方向に印加される外部磁場の大きさ及び方向の範囲を意味している。第 2 外部磁場 B_x の方向 (第 1 磁場印加方向) は、記録層 1 2 の磁化に作用する Slonczewski-like トルク τ_{st} と同一の方向に選択される。

[0052] より具体的には、磁気メモリ素子 1 にデータ “1” を書き込む場合 (即ち、記録層 1 2 の磁化を -z 方向に反転させる場合)、書き込み電流 I_w が隣接層 1 1 と記録層 1 2 とに +y 方向に流れることにより、Slonczewski-like トルク τ_{st} として、+x 方向のトルクが発生する。この場合、x 方向磁場印加構造 3 によって +x 方向に第 2 外部磁場 B_x が印加される。ここで第 2 外部磁場 B_x は、正の値である。これにより、外部磁場 $B_{ext} = (B_x, B_y, 0)$ の下、上記式 (1) に従って記録層 1 2 の磁化の向きが変化し、記録層 1 2 の磁化の -z 方向への反転が促進される。その結果、書き込みウィンドウを拡大することができる。

[0053] 一方、磁気メモリ素子 1 にデータ “0” を書き込む場合（即ち、記録層 1 2 の磁化を + z 方向に反転させる場合）、書き込み電流 I_w が隣接層 1 1 と記録層 1 2 とに - y 方向に流れることにより、Slonczewski-like トルク τ_{st} として、- x 方向のトルクが発生する。この場合、x 方向磁場印加構造 3 によって - x 方向に第 2 外部磁場 $|B_x|$ が印加される。ここで第 2 外部磁場 B_x は負の値である。これにより、外部磁場 $B_{ext} = (B_x, B_y, 0)$ の下、上記式 (1) に従って記録層 1 2 の磁化の向きが変化し、記録層 1 2 の磁化の + z 方向への反転が促進される。その結果、書き込みウィンドウを拡大することができる。

[0054] なお、書き込み電流 I_w を流すべき方向（+ y 方向又は - y 方向）は、下記の 3 つの要因に依存して決定される。

(a) 隣接層 1 1 の材料のスピンホール角の符号

(b) y 軸方向に印加する第 1 外部磁場 B_y の方向（+ y 方向又は - y 方向）

(c) 隣接層 1 1 と記録層 1 2 の位置関係

[0055] 例えば、スピンホール角の符号が負であるような材料の膜（例えば、Ta 膜）が隣接層 1 1 として用いられる場合、書き込み電流 I_w の方向は、図 5 A、図 5 B に図示した方向と逆にされる。即ち、磁気メモリ素子 1 にデータ “1” を書き込む場合には、書き込み電流 I_w が - y 方向に流され、磁気メモリ素子 1 にデータ “0” を書き込む場合には、書き込み電流 I_w が + y 方向に流される。

[0056] また、y 軸方向に印加する第 1 外部磁場 B_y の方向が図 5 A、図 5 B に図示されている方向と逆の場合（即ち、- y 方向に第 1 外部磁場 $|B_y|$ が印加される場合（ $B_y < 0$ ））、書き込み電流 I_w の方向は、図 5 A、図 5 B に図示した方向と逆にされる。

[0057] 更に、隣接層 1 1 と記録層 1 2 の位置が、図 5 A、図 5 B に図示した隣接層 1 1 と記録層 1 2 の位置と逆である構成（即ち、隣接層 1 1 が記録層 1 2 の上面に接合されている構成）については、書き込み電流 I_w を流す方向も

、図 5 A、図 5 B に図示した方向と逆にされる。

[0058] 上記の (a) ~ (c) の要因によって書き込み電流 I_w の方向が反転される場合には、 x 軸方向に印加する第 2 外部磁場 B_x の方向 (第 1 磁場印加方向) は、Slonczewski-like トルク τ_{st} の方向に応じて反転される。例えば、スピホール角の符号が負であるような材料の膜 (例えば、Ta 膜) が隣接層 11 として用いられる場合、磁気メモリ素子 1 へのデータ “1” の書き込みでは書き込み電流 I_w が $-y$ 方向に流されると共に $+x$ 方向に第 2 外部磁場 B_x が印加される ($B_x > 0$)。一方、磁気メモリ素子 1 へのデータ “0” の書き込みでは書き込み電流 I_w が $+y$ 方向に流されると共に $-x$ 方向に第 2 外部磁場 $|B_x|$ が印加される ($B_x < 0$)。

[0059] また、 y 軸方向に印加する第 1 外部磁場 B_y の方向が図 5 A、図 5 B に図示されている方向と逆の場合、書き込み電流 I_w の方向は、図 5 A、図 5 B に図示した方向と逆にされ、 x 軸方向に印加する第 2 外部磁場 B_x の方向 (第 1 磁場印加方向) も逆にされる。

[0060] 更に、隣接層 11 と記録層 12 の位置が、図 5 A、図 5 B に図示した隣接層 11 と記録層 12 の位置と逆である構成 (即ち、隣接層 11 が記録層 12 の上面に接合されている構成) の場合、書き込み電流 I_w の方向は、図 5 A、図 5 B に図示した方向と逆にされ、 x 軸方向に印加する第 2 外部磁場 B_x の方向 (第 1 磁場印加方向) は、図 5 A、図 5 B に図示した方向と同一にされる。

[0061] (書き込みウィンドウの拡大の効果の検証)

本発明者らは、 x 軸方向への第 2 外部磁場 B_x の印加による書き込みウィンドウの拡大の効果を実シミュレーションにより確認した。

[0062] 図 6 A 及び図 6 B は、シミュレーションによって得られた、本実施形態における磁気メモリ素子 1 の書き込みウィンドウの一例を示す図である。図 6 A 及び図 6 B のシミュレーションは、異方性磁場 B_{an} で規格化した外部磁場 $|B_{ext}| / B_{an}$ の値が 0.2、ダンピング定数 α の値が 0.01 として行われた。図 6 A 及び図 6 B の横軸は面内磁場方位角 ϕ であり、下記式 (6

a)

$$\tan \Phi = B_y / B_x, \quad \dots (6a)$$

即ち、下記式 (6b)

$$\Phi = \arctan (B_y / B_x) \quad \dots (6b)$$

で定義される。なお、第2および第1外部磁場 B_x 、 B_y は、それぞれ、図2A～図2Cに図示された $+x$ 方向、 $+y$ 方向の向きが正であると定義されている。図6A及び図6Bの縦軸は異方性磁場の大きさに規格化された Slonczewski-like トルクであり、書き込み電流 I_w の大きさに対応している。

[0063] 図6Aは、データ“0”からデータ“1”への書き込み後の記録層12の磁化の z 軸方向の成分の、面内磁場方位角 Φ と Slonczewski-like トルクとに対する依存性、即ち、正常にデータ“1”の書き込みを行うことができる書き込みウィンドウを示している。図6Aの各位置の濃淡は、書き込み後における記録層12の磁化の z 方向の成分 m_z を -1 以上 1 以下の値に規格化して得られる値を表しており、成分 m_z が“ -1 ”又は“ -1 ”に近い値になるような領域が、データ“1”の書き込み動作における書き込みウィンドウを表している。

[0064] 図6Aから理解されるように、データ“1”の書き込みウィンドウは、面内磁場方位角 Φ が 0 から $\pi/2$ の範囲に分布していることが分かる。面内磁場方位角 Φ が 0 から $\pi/2$ の範囲にある場合、 $+x$ 方向に第2外部磁場 B_x ($B_x > 0$) が印加されることに留意されたい。データ“1”の書き込みウィンドウの上端より大きな Slonczewski-like トルクを与えると（即ち、過大な書き込み電流 I_w を供給すると）、中間状態になり、誤書き込みの恐れがある。また、面内磁場方位角 Φ が、データ“1”の書き込みウィンドウの右端に対応する角度、即ち、 $\pi/2$ より大きな角度になると、中間状態になり、誤書き込みの恐れがある。

[0065] x 軸方向に第2外部磁場 B_x を印加しない場合、即ち、 $B_x = 0$ の場合、面内磁場方位角 Φ が $\Phi = \pi/2$ 又はその近傍でデータ書き込みを行うことになり、この場合、書き込み動作の動作点は、データ“1”の書き込みウィン

ドウの右端に位置する。したがって、 x 軸方向に第2外部磁場 B_x を印加しない場合、外部磁場 B_y のミスアライメントや記録層12の磁気異方性のばらつきなどの影響により、磁気メモリ素子1の書き込み条件が書き込みウィンドウから外れてしまう恐れがある。

[0066] 一方で、 x 方向磁場印加構造3を有している本実施形態の磁気メモリ10では、 x 軸方向（図6Aの例では、 $+x$ 方向）に第2外部磁場 B_x を印加することができ、面内磁場方位角 ϕ を0から $\pi/2$ の間の所望の値に調節することができる。そのため、第1外部磁場 B_y のミスアライメントや記録層12の磁気異方性のばらつきなどが生じたとしても安定してデータを書き込めることが期待される。

[0067] 図6Bは、データ“1”からデータ“0”への書き込み後の記録層12の磁化の z 軸方向の成分の、面内磁場方位角 ϕ とSlonczewski-likeトルクとに対する依存性、即ち、正常にデータ“0”の書き込みを行うことができる書き込みウィンドウを示している。図6Aと同様に、図6Bの各位置の濃淡は、書き込み後における記録層12の磁化の z 方向の成分 m_z を -1 以上 1 以下の値に規格化して得られる値を表しており、成分 m_z が“ $+1$ ”又は“ $+1$ ”に近い値になるような領域が、データ“0”の書き込み動作における書き込みウィンドウを表している。

[0068] 図6Bから理解されるように、データ“0”の書き込みウィンドウは、面内磁場方位角 ϕ が $\pi/2$ から π の範囲に分布していることが分かる。面内磁場方位角 ϕ が $\pi/2$ から π の範囲にある場合、 $-x$ 方向に第2外部磁場 $|B_x|$ （ $B_x < 0$ ）が印加されることに留意されたい。データ“0”の書き込みウィンドウの上端より大きなSlonczewski-likeトルクを与えると（即ち、過大な書き込み電流 I_w を供給すると）、中間状態になり、誤書き込みの恐れがある。また、面内磁場方位角 ϕ が、データ“0”の書き込みウィンドウの左端に対応する角度、即ち、 $\pi/2$ より小さな角度になると、中間状態になり、誤書き込みの恐れがある。

[0069] x 軸方向に第2外部磁場 B_x を印加しない場合、即ち、 $B_x = 0$ の場合、

面内磁場方位角 ϕ が $\phi = \pi/2$ 又はその近傍でデータ書き込みを行うことになり、この場合、書き込み動作の動作点は、データ“0”の書き込みウィンドウの左端に位置する。したがって、 x 軸方向に磁場を印加しない場合、第1外部磁場 B_y のミスアライメントや記録層12の磁気異方性のばらつきなどにより、磁気メモリ素子1の書き込み条件が書き込みウィンドウから外れてしまう恐れがある。

[0070] 一方、 x 方向磁場印加構造3を有している本実施形態の磁気メモリ10では、 x 軸方向（図6Bの例では、 $-x$ 方向）に第2外部磁場 B_x を印加することができ、面内磁場方位角 ϕ を $\pi/2$ から π の所望の値に調節することができる。そのため、第1外部磁場 B_y のミスアライメントや記録層の磁気異方性のばらつきなどが生じたとしても安定してデータを書き込めることが期待される。

[0071] なお、上述されているように、 y 軸方向に印加される第1外部磁場 B_y の向きが反転される場合、書き込み電流 I_w を流す方向がそれぞれ反転される。これに伴い、 x 軸方向に印加される第2外部磁場 B_x の方向も反転される。この場合、データ“0”の書き込みウィンドウは、面内磁場方位角 ϕ が π から $3\pi/2$ の範囲に分布し、データ“1”の書き込みウィンドウは、面内磁場方位角 ϕ が $3\pi/2$ から 2π の範囲に分布する。第2外部磁場 B_x の方向（第1磁場印加方向）は、データ“0”を書き込む場合に面内磁場方位角 ϕ が π から $3\pi/2$ の範囲にあり、データ“1”を書き込む場合に面内磁場方位角 ϕ が π から $3\pi/2$ の範囲にあるように設定される。

[0072] なお、上述されているように、データ“0”、“1”は、磁気メモリ素子1の2つの一方の状態と他方の状態に対応づけられているに過ぎないことに留意されたい。データ“0”、“1”の定義が入れ替えられる場合には（即ち、記録層12の磁化が $-z$ 方向に向けられた状態がデータ“0”と定義され、記録層12の磁化が $+z$ 方向に向けられた状態がデータ“1”と定義される場合には）、データ“0”の書き込みウィンドウの定義とデータ“1”の書き込みウィンドウの定義も入れ替えられる。

[0073] 以上に説明されているように、本実施形態の磁気メモリは、面内電流誘起垂直磁化反転を用いてデータ書き込みを行う際に、データを安定に書き込むことができる。

[0074] (第2の実施形態)

上記の式(2)によれば、磁化に作用する全トルク τ_{tot} は、電流によって誘起されるラシュバ場とスピホール効果からの寄与を含むSlonczewski-likeトルク τ_{st} と、外部磁場によるトルク τ_{ext} と、磁気異方性によるトルク τ_{an} との和として表される。

[0075] しかしながら、本発明者らの検討によれば、隣接層11を流れる書き込み電流 I_w は、エルステッド磁場(電流磁場)を発生させるとともに、隣接層11と記録層12とを流れる書き込み電流 I_w は、ラシュバ場とスピホール効果からの寄与を含むfield-likeトルクを発生させるから、磁化の運動をより正確に表すためには、エルステッド磁場及びfield-likeトルクを考慮すべきである。エルステッド磁場及びfield-likeトルクを考慮すると全トルク τ_{tot} を表す上記式(2)は、次式(7)のように変更される：

[数4]

$$\tau_{tot} = \tau_{st} + \tau_{ext} + \tau_{an} + \tau_F + \tau_{Oe} \quad \dots(7)$$

ここで、 τ_F は書き込み電流 I_w が隣接層11と記録層12とを流れることによって生じるfield-likeトルクであり、 τ_{Oe} は書き込み電流 I_w が隣接層11を流れることによってエルステッド磁場によるトルクであり、下記の式(8)、および式(9)で与えられる。

[数5]

$$\tau_F = -m \times B_F = -B_F^0 (m \times x) \quad \dots(8)$$

$$\tau_{Oe} = -m \times B_{Oe} = -B_{Oe}^0 (m \times x) \quad \dots(9)$$

ここで、 B_F^0 はfield-likeトルクの符号を含む大きさ、 B_{Oe}^0 はエルステッド磁場の符号を含む大きさである。field-likeトルク及びエルステッド磁場の

向きは、いずれも、書き込み電流の向きに依存していることに留意されたい。

[0076] 上記式(8)、および式(9)から、 B^0_F 及び $B^0_{O_e}$ は、外部からx軸方向に印加される第2外部磁場 B_x (即ち、x方向磁場印加構造3によって印加される第2外部磁場 B_x)と等価であることが理解される。以下では、 B^0_F をfield-likeトルクによる有効磁場と呼ぶこととする。field-likeトルクによる有効磁場 B^0_F とエルステッド磁場 $B^0_{O_e}$ とを用いてx軸方向の実効磁場 $B_{x'}$ を、下記式(10)：

$$B_{x'} = B_x + B^0_F + B^0_{O_e} \quad \dots (10)$$

で定義したとき、第2外部磁場 B_x の代わりに実効磁場 $B_{x'}$ を用いれば、第1の実施形態に提示した議論よりも一層に正確な議論が成立する。即ち、x方向磁場印加構造3によって印加される第2外部磁場 B_x の大きさと方向を、実効磁場 $B_{x'}$ の方向が+x方向又は-x方向のうちの書き込み電流 I_w の向きに応じた所望の方向になるように決定することで、データ書き込みにおける書き込みウィンドウを拡大することができる。ここで、x方向磁場印加構造3によって印加される第2外部磁場 B_x の方向は、必ずしも、実効磁場 $B_{x'}$ の方向に一致しないことに留意されたい。なお、実効磁場 $B_{x'}$ の方向は、「第3磁場印加方向」とも呼ばれる。

[0077] より具体的には、記録層12の下面に隣接層11が接合され、隣接層11としてスピホール角が正であるような材料の薄膜(例えば、Pt膜)が用いられ、且つ、記録層12にy方向磁場印加構造2によって+y方向に第1外部磁場 B_y が印加される場合は、下記のようにして書き込み動作が行われる。

[0078] 磁気メモリ素子1にデータ“1”を書き込む場合(即ち、記録層12の磁化を-z方向に反転させる場合)、書き込み電流 I_w が+y方向に流され、Slonczewski-likeトルク τ_{st} として、+x方向のトルクが発生する。この場合、実効磁場 $B_{x'}$ ($B_{x'} > 0$)の方向(第3磁場印加方向)が+x方向になるように、x方向磁場印加構造3によって第2外部磁場 B_x が印加され

る。一方、磁気メモリ素子 1 にデータ “0” を書き込む場合（即ち、記録層 1 2 の磁化を + z 方向に反転させる場合）、書き込み電流 I_w が - y 方向に流され、Slonczewski-like トルク τ_{st} として、- x 方向のトルクが発生する。この場合、実効磁場 $B_{x'}$ の方向（第 3 磁場印加方向）が - x 方向になるように、x 方向磁場印加構造 3 によって第 2 外部磁場 B_x が印加される。これにより、書き込みウィンドウを拡大することができる。

[0079] また、第 1 の実施形態の面内磁場方位角 Φ についての議論についても、下記式 (11a) :

$$\tan \Phi' = B_y / B_{x'} \quad \dots (11a)$$

即ち、下記式 (11b)

$$\Phi' = \arctan (B_y / B_{x'}) \quad \dots (11b)$$

で定義された実効面内磁場方位角 Φ' を面内磁場方位角 Φ の代わりに適用することにより、第 1 の実施形態と同様の議論が妥当する。

[0080] ここで、例えば、非特許文献 5 に記載されているように、field-like トルクによる有効磁場 B_F^0 とエルステッド磁場 B_{Oe}^0 との和は、隣接層 1 1 及び記録層 1 2 の材質及び膜厚によって調節可能であることに留意されたい。これは、隣接層 1 1 及び記録層 1 2 の材質及び膜厚によって field-like トルクによる有効磁場 B_F^0 とエルステッド磁場 B_{Oe}^0 との和を制御すれば、第 2 外部磁場 B_x を x 方向磁場印加構造 3 によって印加しなくても、所望の実効磁場 $B_{x'}$ を実現し得ることを意味している。

[0081] 例えば、図 7 は、非特許文献 5 に開示されている、Co 膜と Pt 膜とが積層された構造における、field-like トルク τ_F とエルステッド磁場によるトルク τ_{Oe} の和の Co 膜に対する依存性の一例を概念的に示す図である。非特許文献 5 には、field-like トルク τ_F とエルステッド磁場によるトルク τ_{Oe} の和が、Co 膜の膜厚 d_{Co} の増加に伴って増大することが開示されている。上記式 (8)、および式 (9) から理解されるように、これは、field-like トルクによる有効磁場 B_F^0 とエルステッド磁場 B_{Oe}^0 との和が Co 膜の膜厚 d_{Co} の増加に伴って増大することと等価である。有効磁場 B_F^0 とエルステッド磁

場 B^0_{00} との和の方向は、「第2磁場印加方向」とも呼ばれる。

[0082] 図8A～図8Cは、第2外部磁場 B_x を x 軸方向に印加する x 方向磁場印加構造3を用いずに所望の実効磁場 B_x' を実現する磁気メモリ10Aの構造の例を示す平面図である。図8A～図8Cに図示された磁気メモリ10Aでは、 x 方向磁場印加構造3は設けられていない。その代わりに、磁気メモリ素子1Aの隣接層11及び記録層12の材質及び膜厚によってfield-likeトルクによる有効磁場 B^0_F とエルステッド磁場 B^0_{00} との和が調節され、実効的には、所望の実効磁場 B_x' が実現されている。このような構成でも、書き込みウィンドウを広げ、データを安定に書き込むことができる。加えて、 x 方向磁場印加構造3を有しない図8A～図8Cの構造は、磁気メモリ10Aの面積を低減するために有効である。

[0083] 以上には、本発明の実施形態が具体的に記述されているが、本発明は、上記の実施形態には限定されない。本発明が、様々な変更と共に実施され得ることは、当業者には自明的であろう。

[0084] この出願は、2014年10月21日に出願された日本出願特願2014-214729を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

符号の説明

- [0085] 10、10A : 磁気メモリ
- 1、1A : 磁気メモリ素子
 - 2 : y 方向磁場印加構造
 - 3 : x 方向磁場印加構造
 - 4 : 電流印加回路
 - 11 : 隣接層
 - 12 : 記録層
 - 12a : 中心線
 - 13 : MTJ
 - 14 : センス層

- 1 5 : リファレンス層
- 1 6 : トンネルバリア層
- 1 0 1 : 隣接層
- 1 0 2 : 垂直磁化膜

請求の範囲

[請求項1]

垂直磁化膜として形成された記録層と、
前記記録層の上面又は下面に接合される隣接層と、
前記記録層の面内方向である第1方向に前記記録層に第1外部磁場を印加するように構成された外部磁場印加部と、
前記隣接層と前記記録層とに、前記第1方向又は前記第1方向と逆の第2方向に書き込み電流を流すように構成された電流印加部とを具備し、
前記記録層と前記隣接層と前記外部磁場印加部とは、第1乃至第3磁場印加方向のいずれかを、前記書き込み電流の方向に応じて反転するように構成されており、前記第1磁場印加方向は前記第1方向に垂直な方向に印加される第2外部磁場の方向であり、前記第2磁場印加方向は前記書き込み電流が前記隣接層と前記記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と前記書き込み電流が前記隣接層に流れることによって生成されるエルステッド磁場との和の方向であり、前記第3磁場印加方向は前記第2外部磁場と前記有効磁場と前記エルステッド磁場との和である実効磁場の方向である磁気メモリ。

[請求項2]

請求項1に記載の磁気メモリであって、
前記外部磁場印加部は、
前記第1外部磁場を生成する第1外部磁場印加構造と、
前記第2外部磁場を生成する第2外部磁場印加構造とを備え、
前記第1磁場印加方向が、前記書き込み電流の方向に応じて反転される磁気メモリ。

[請求項3]

請求項2に記載の磁気メモリであって、
前記第2外部磁場は、前記書き込み電流が前記隣接層と前記記録層

とに流れることによって生じるSlonczewski-likeトルクと同一の方向に印加される

磁気メモリ。

[請求項4]

請求項2に記載の磁気メモリであって、

面内磁場角度 ϕ を、 $\arctan(B_y/B_x)$ で定義したとき（ B_y は、前記第1方向に向く場合を正としたときの前記第1外部磁場であり、 B_x は、前記第2外部磁場である）、

前記第1外部磁場 B_y が正のとき、前記第2外部磁場印加構造は、データ“0”又はデータ“1”のうち一方のデータを前記記録層に書き込む場合には前記面内磁場角度 ϕ が0より大きく $\pi/2$ 未満であり、他方のデータを書き込む場合には前記面内磁場角度 ϕ が $\pi/2$ より大きく π 未満であるように前記第2外部磁場を印加し、

前記第1外部磁場 B_y が負のとき、前記第2外部磁場印加構造は、データ“0”又はデータ“1”のうち一方のデータを前記記録層に書き込む場合には前記面内磁場角度 ϕ が π より大きく、 $3\pi/2$ 未満であるように前記第2外部磁場を印加し、他方のデータを書き込む場合には $3\pi/2$ より大きく、 2π 未満であるように前記第2外部磁場を印加する

磁気メモリ。

[請求項5]

請求項1に記載の磁気メモリであって、

前記外部磁場印加部は、

前記第1外部磁場を生成する第1外部磁場印加構造と、

前記第2外部磁場を生成する第2外部磁場印加構造と

を備え、

前記第2外部磁場印加構造は、前記第3磁場印加方向が前記書き込み電流の方向に応じて反転されるように前記第2外部磁場を生成する磁気メモリ。

[請求項6]

請求項5に記載の磁気メモリであって、

実効面内磁場角度 Φ' を、 $\arctan(B_y/B_{x'})$ で定義したとき(B_y は、前記第1方向に向く場合を正としたときの前記第1外部磁場であり、 $B_{x'}$ は、前記実効磁場である)、

前記第1外部磁場 B_y が正のとき、前記第2外部磁場印加構造は、データ“0”又はデータ“1”のうち一方のデータを前記記録層に書き込む場合には前記実効面内磁場角度 Φ' が0より大きく $\pi/2$ 未満であり、他方のデータを書き込む場合には前記実効面内磁場角度 Φ' が $\pi/2$ より大きく π 未満であるように前記第2外部磁場を印加し、

前記第1外部磁場 B_y が負のとき、前記第2外部磁場印加構造は、データ“0”又はデータ“1”のうち一方のデータを前記記録層に書き込む場合には前記実効面内磁場角度 Φ' が π より大きく、 $3\pi/2$ 未満であるように前記第2外部磁場を印加し、他方のデータを書き込む場合には前記実効面内磁場角度 Φ' が $3\pi/2$ より大きく、 2π 未満であるように前記第2外部磁場を印加する

磁気メモリ。

[請求項7]

請求項1に記載の磁気メモリであって、

前記記録層と前記隣接層と前記外部磁場印加部とは、前記第2磁場印加方向を、前記書き込み電流の方向に応じて反転するように構成され、

前記記録層には、前記第1方向に垂直な方向の外部磁場は印加されない

磁気メモリ。

[請求項8]

請求項1乃至7のいずれかに記載の磁気メモリであって、

前記記録層は、Fe、Co、Niのうちの少なくとも一以上を含むフェロ磁性体又はフェリ磁性体の膜を含む

磁気メモリ。

[請求項9]

請求項1乃至8のいずれかに記載の磁気メモリであって、

前記隣接層は、Pt、Pd、Au、Ag、Cu、Ta、W、Nb、

Mb、又は、これらのうちの2以上を含む合金で形成された金属膜を含む

磁気メモリ。

[請求項10]

垂直磁化膜として形成された記録層と前記記録層の上面又は下面に接合される隣接層とを含む磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法であって、

前記記録層の面内方向である第1方向に前記記録層に第1外部磁場を印加することと、

前記隣接層と前記記録層とに、前記第1方向又は前記第1方向と逆の第2方向に書き込み電流を流すことと、

前記第1方向に垂直な方向に第2外部磁場を印加することとを具備し、

前記第2外部磁場の方向、又は、前記書き込み電流が前記隣接層と前記記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と前記書き込み電流が前記隣接層に流れることによって生成されるエルステッド磁場と前記第2外部磁場との和である実効磁場の方向が、前記書き込み電流の方向に応じて反転される

磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法。

[請求項11]

垂直磁化膜として形成された記録層と前記記録層の上面又は下面に接合される隣接層とを含む磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法であって、

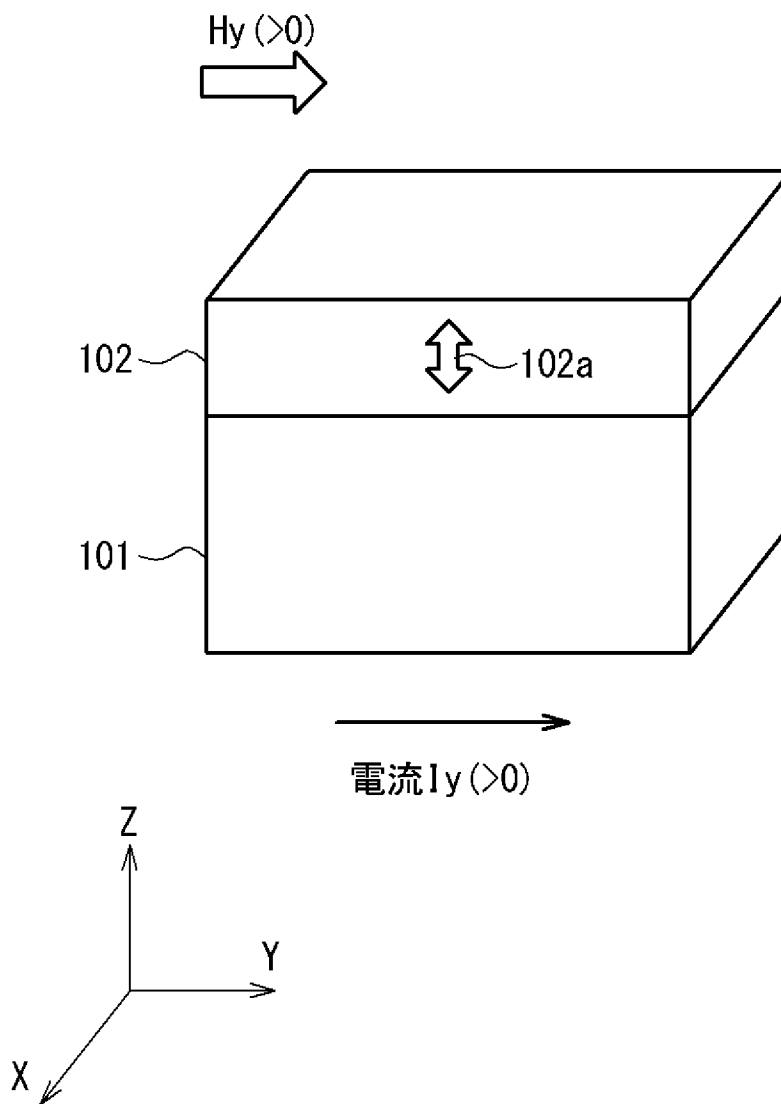
前記記録層の面内方向である第1方向に前記記録層に第1外部磁場を印加することと、

前記隣接層と前記記録層とに、前記第1方向又は前記第1方向と逆の第2方向に書き込み電流を流すこととを具備し、

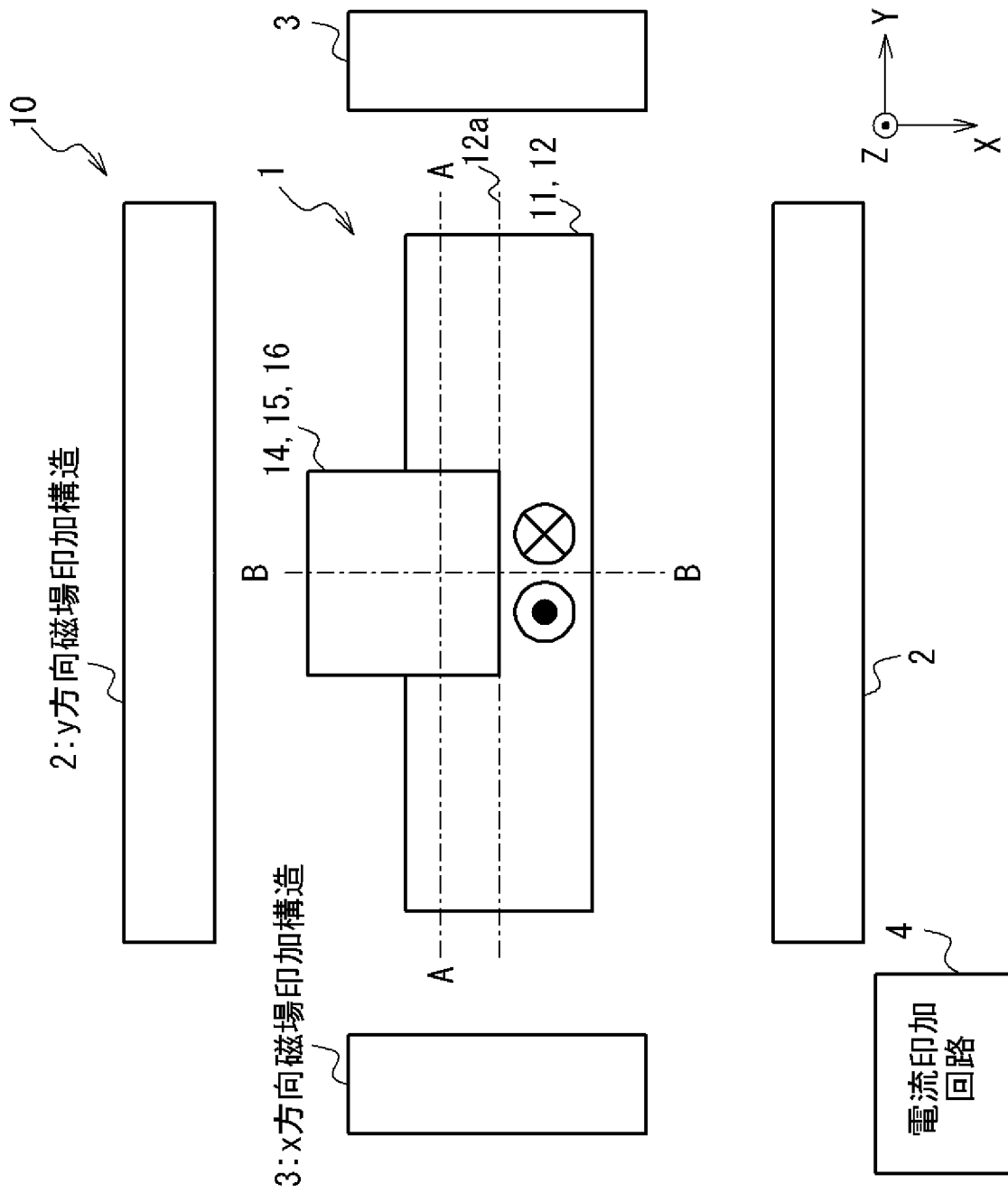
前記書き込み電流が前記隣接層と前記記録層とに流れることによって生じるfield-likeトルクによる有効磁場と前記書き込み電流によっ

て生成されるエルステッド磁場との和の方向が、前記書き込み電流の方向に応じて反転される 磁気メモリ素子へのデータ書き込み方法。

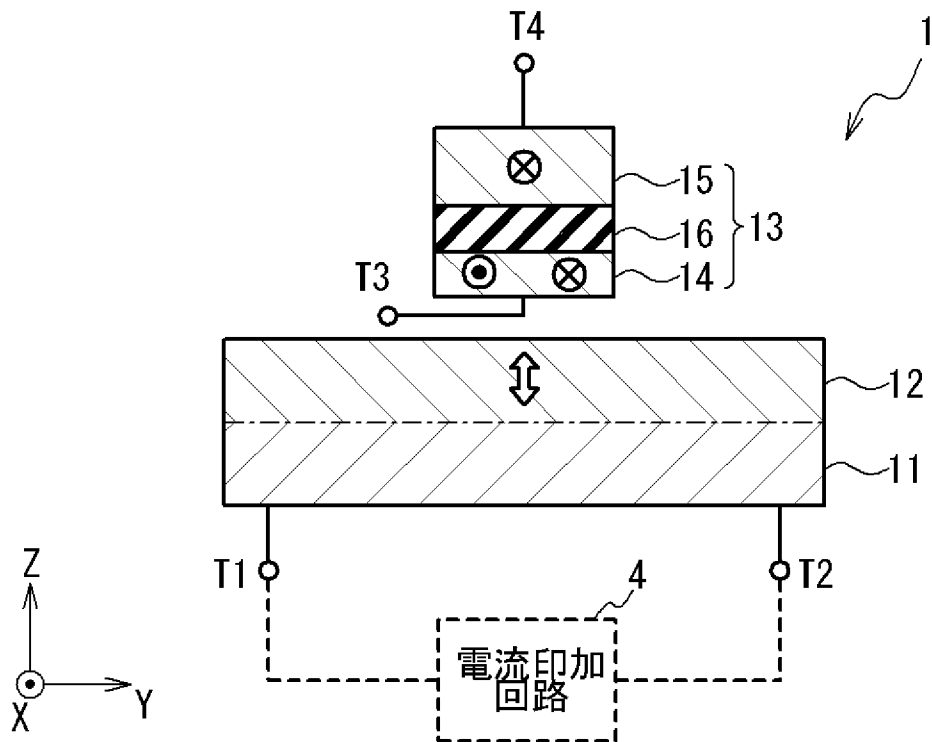
[図1]



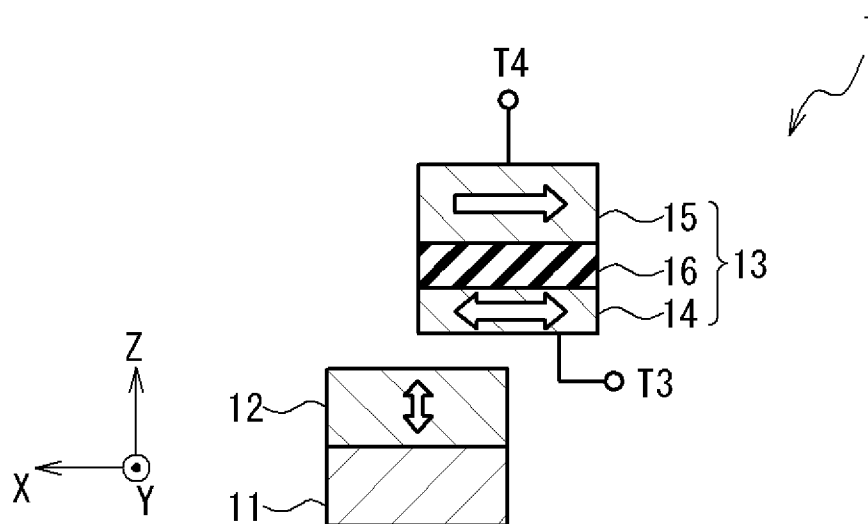
[図2A]



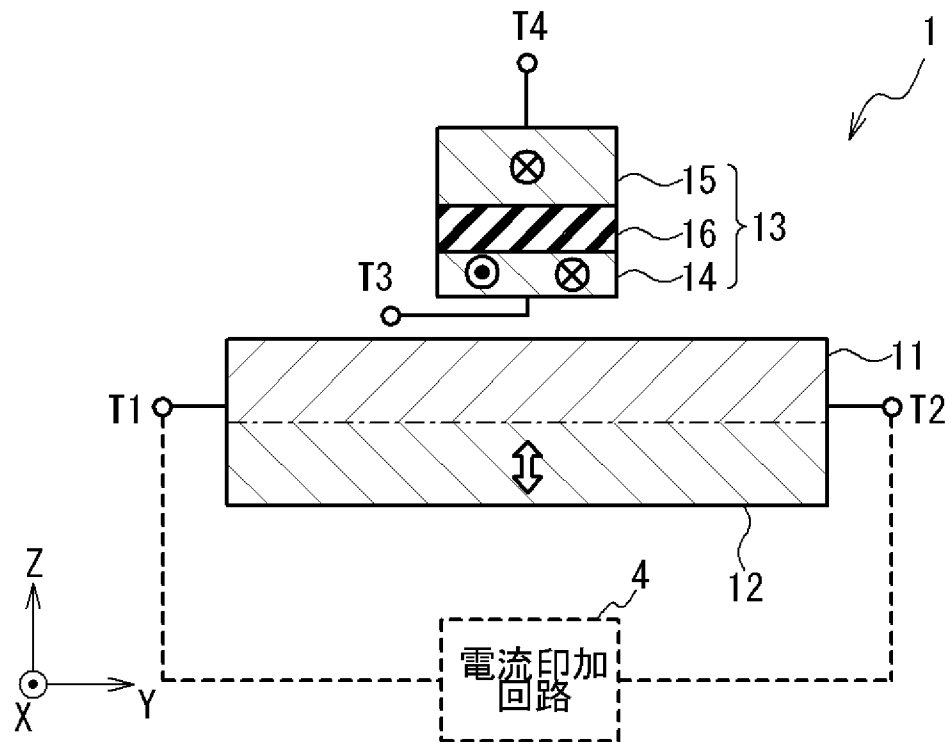
[図2B]



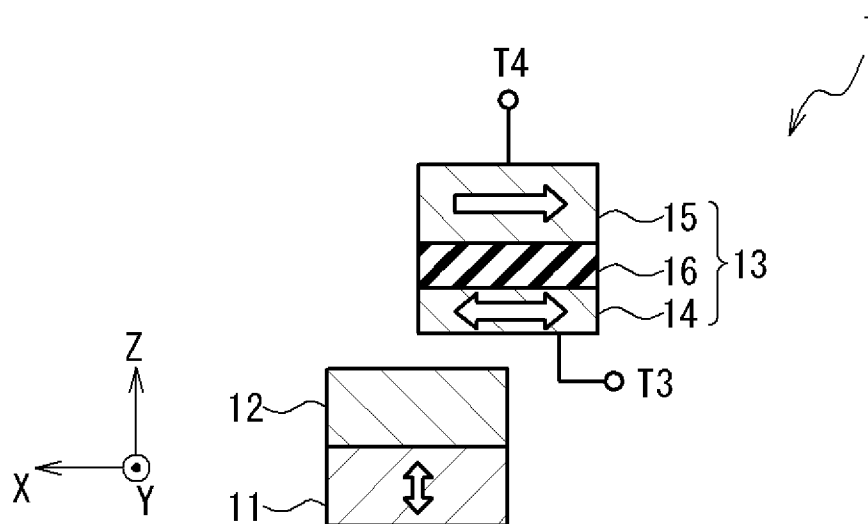
[図2C]



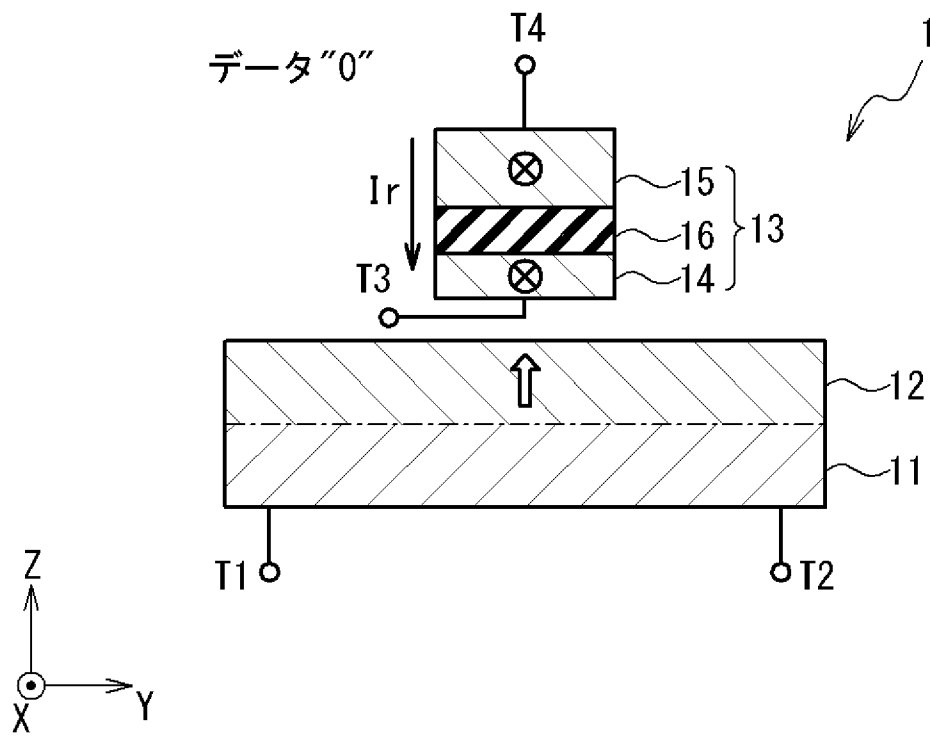
[図2D]



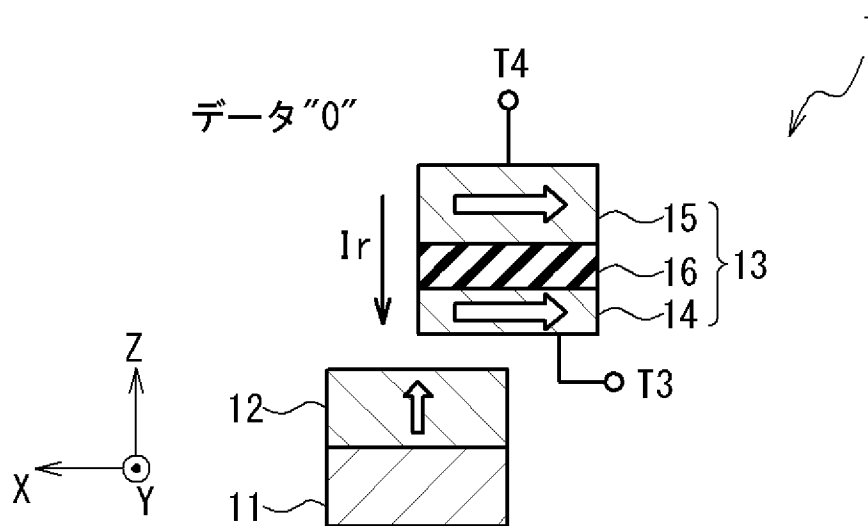
[図2E]



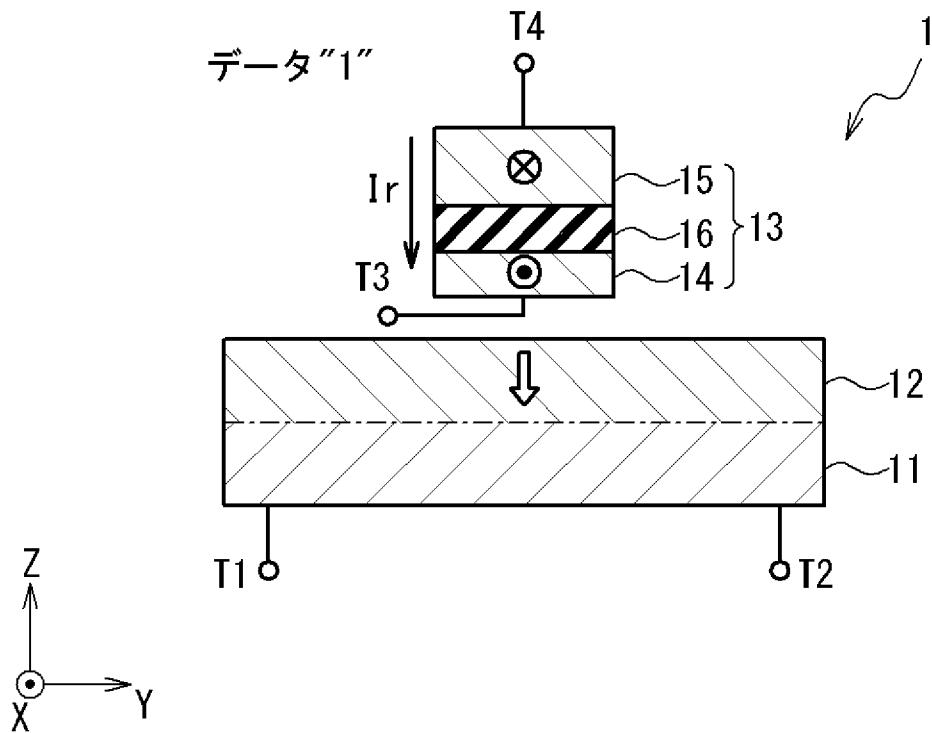
[図3A]



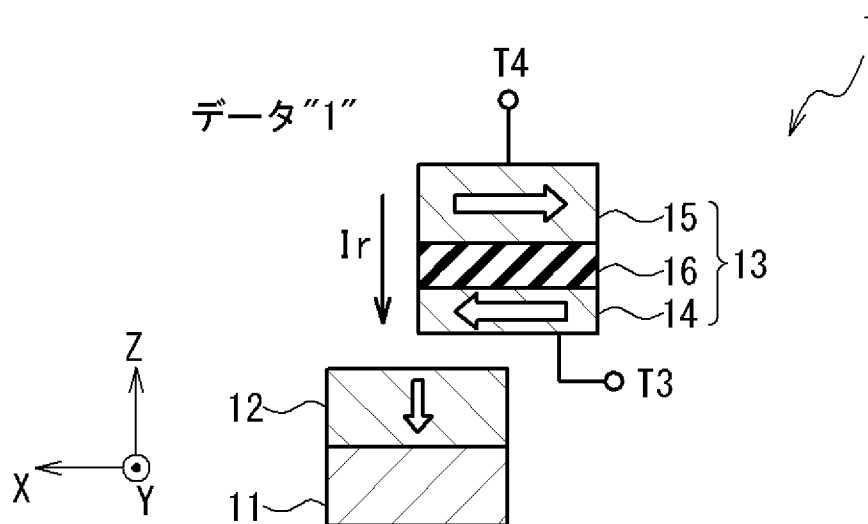
[図3B]



[図4A]

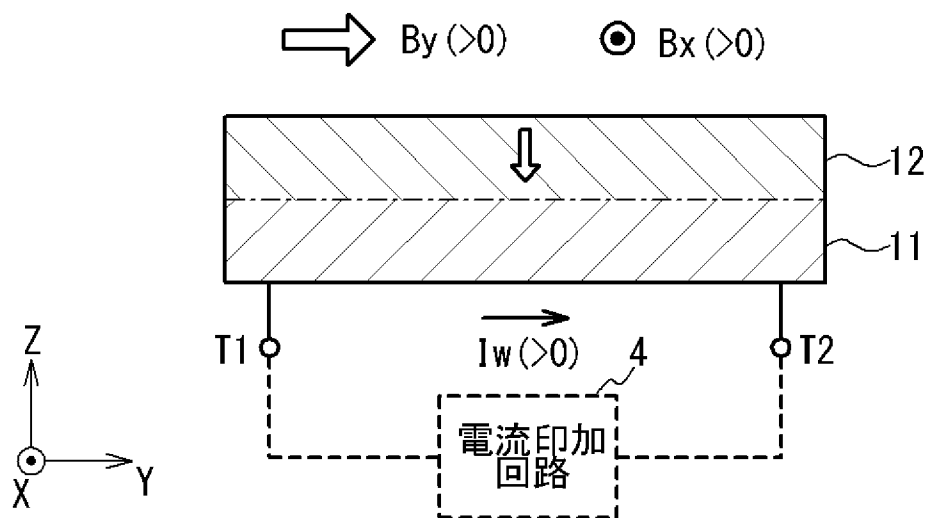


[図4B]



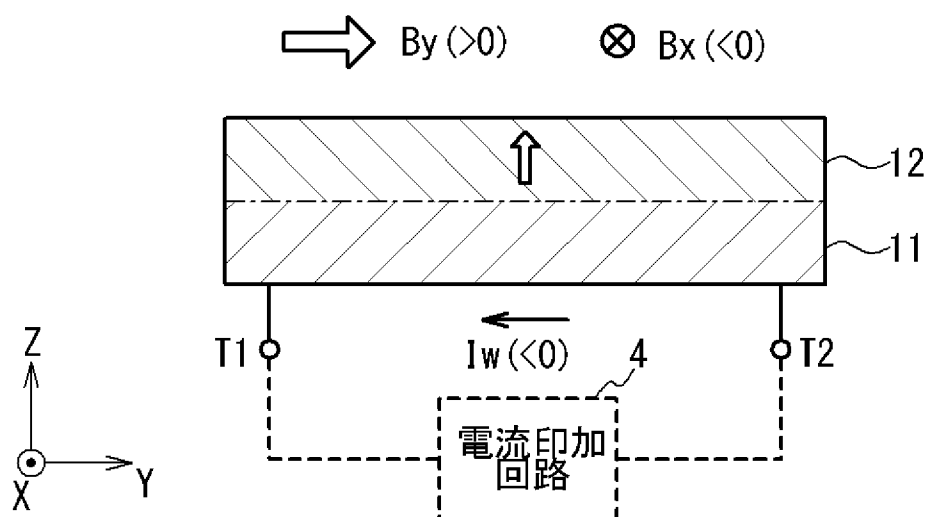
[図5A]

データ"1"書き込み

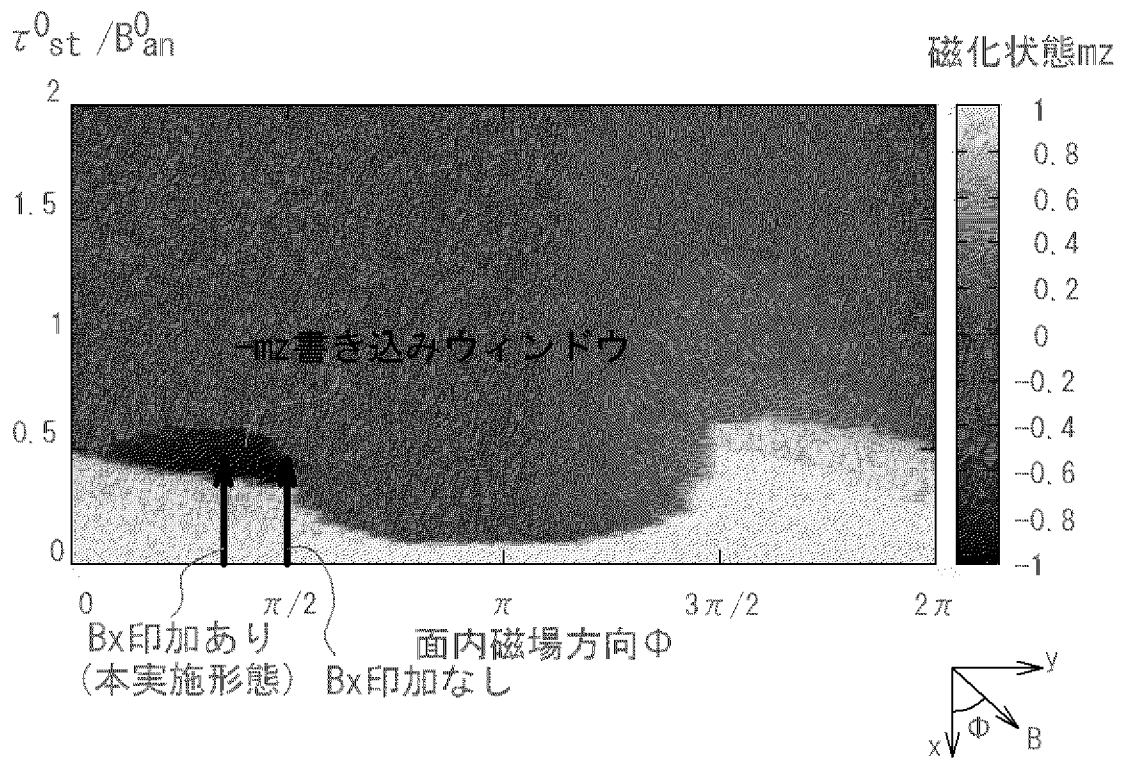


[図5B]

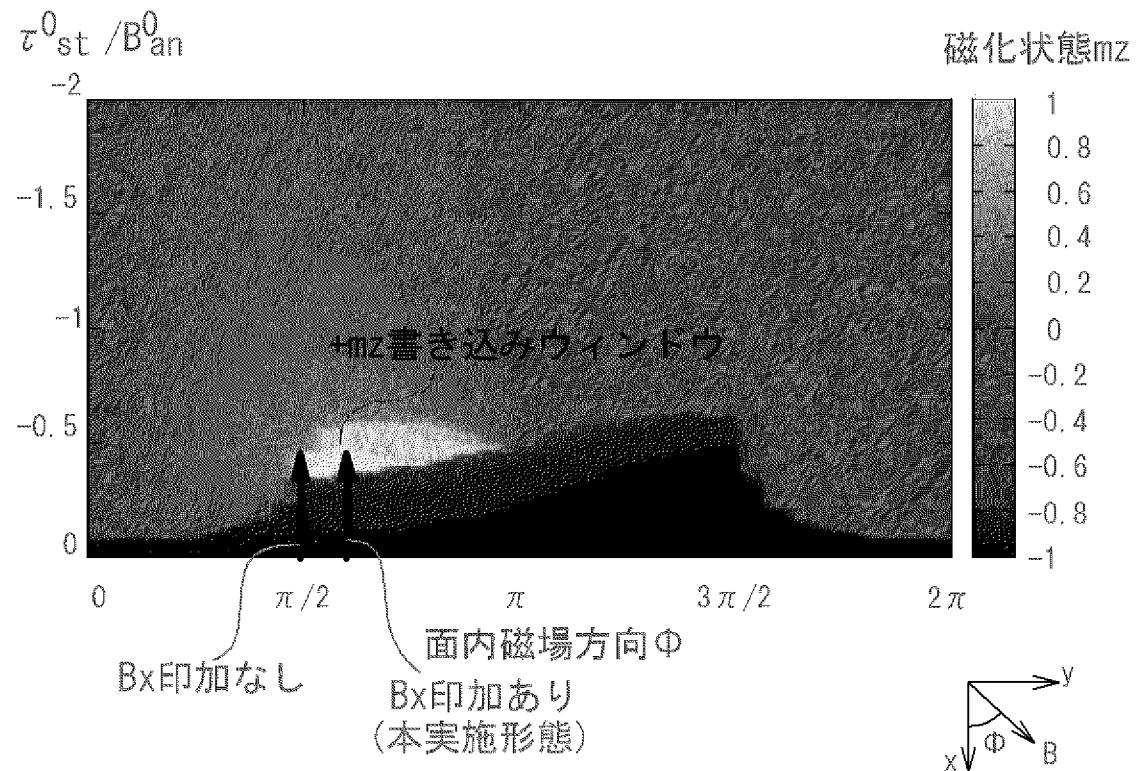
データ"0"書き込み



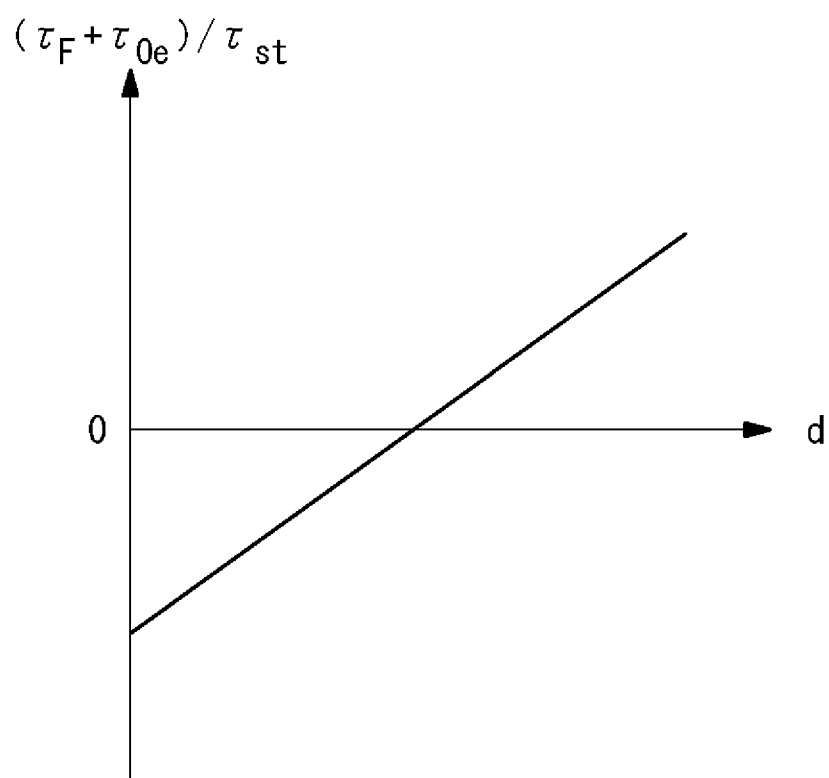
[図6A]



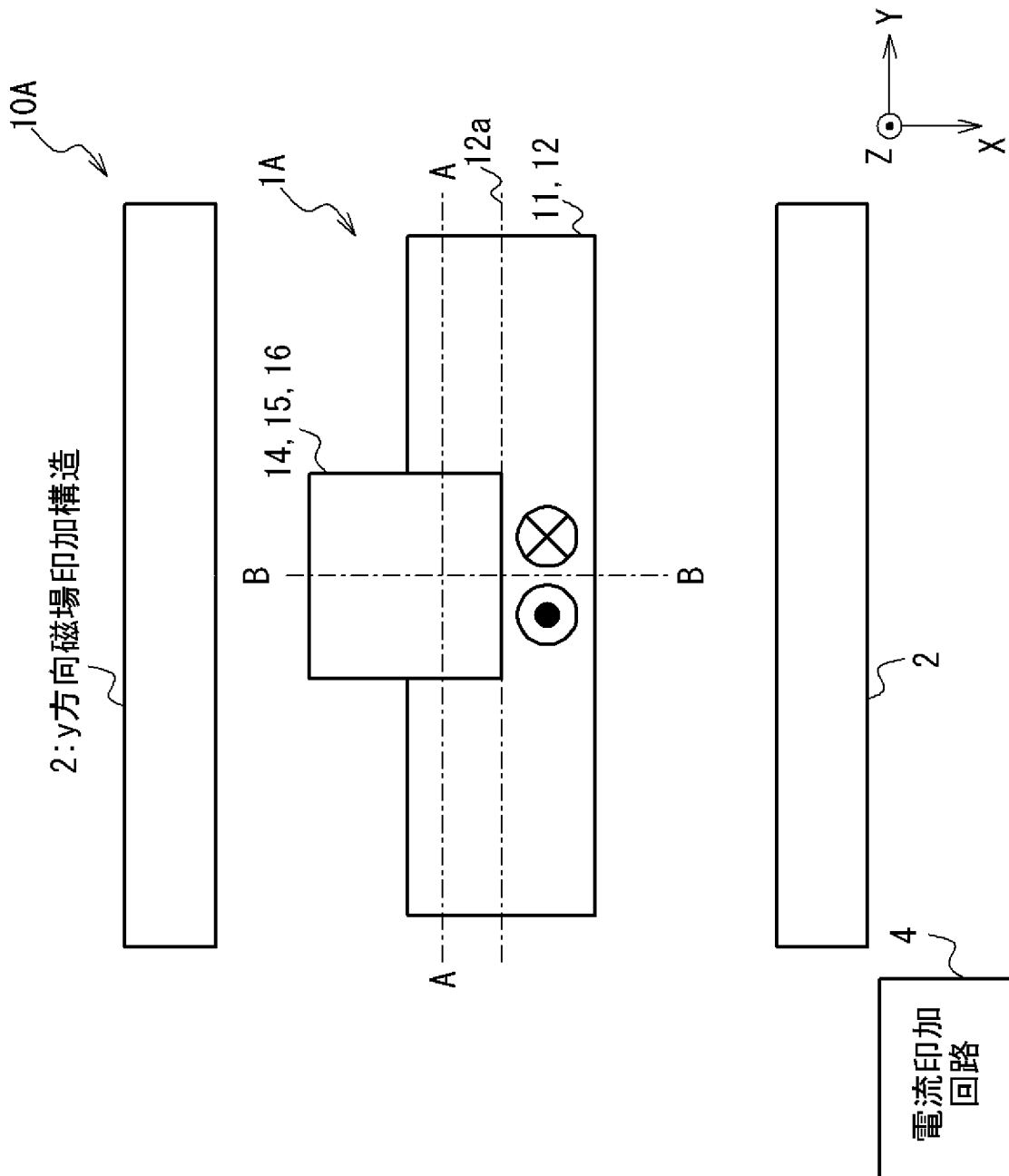
[図6B]



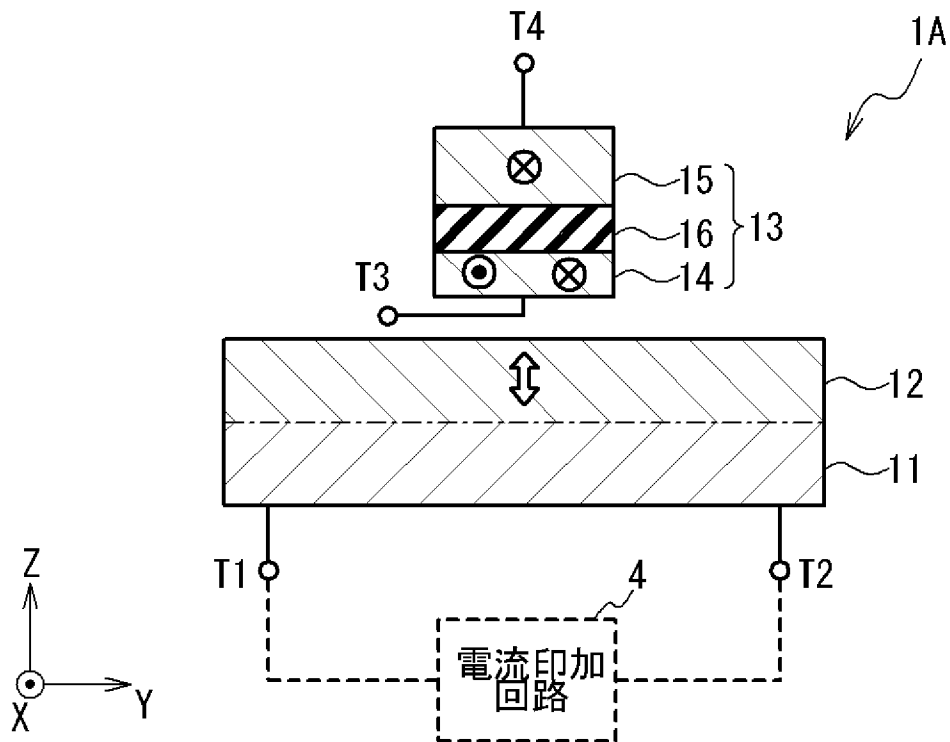
[図7]



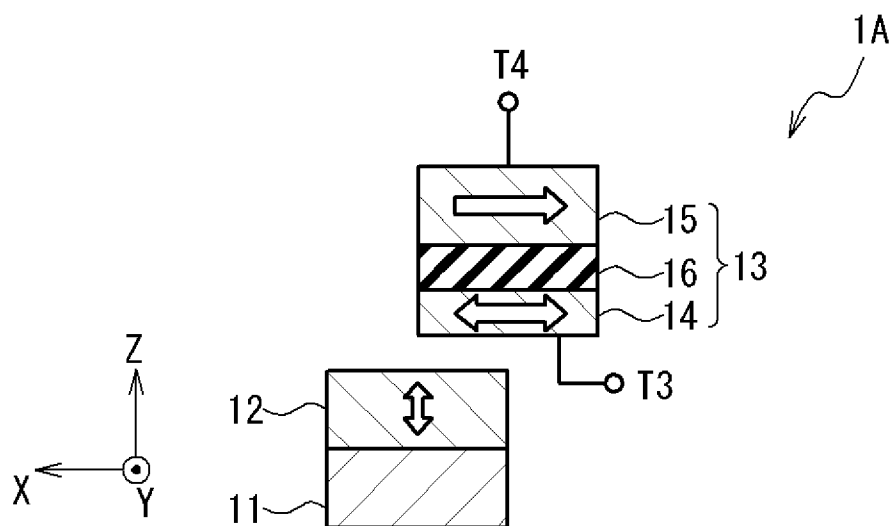
[図8A]



[図8B]



[図8C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/004399

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i,
H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/8246, G11C11/15, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/08

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
X A	JP 2014-143302 A (NEC Corp.), 07 August 2014 (07.08.2014), paragraphs [0023] to [0068]; fig. 1 (Family: none)	1, 7-9, 11 2-6, 10
A	WO 2014/011533 A1 (NEW YORK UNIVERSITY), 16 January 2014 (16.01.2014), paragraphs [0038] to [0041] & US 8941196 B2	1-11
A	JP 2010-003850 A (Tohoku University), 07 January 2010 (07.01.2010), paragraphs [0002] to [0003] (Family: none)	1-11

☐ 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
24 September 2015 (24.09.15)

Date of mailing of the international search report
06 October 2015 (06.10.15)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/8246, G11C11/15, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X A	JP 2014-143302 A（日本電気株式会社）2014.08.07, [0023]-[0068], 図 1 (ファミリーなし)	1, 7-9, 11 2-6, 10
A	WO 2014/011533 A1 (NEW YORK UNIVERSITY) 2014.01.16, [0038]-[0041], & US 8941196 B2	1-11

☒ 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

2 4 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 1 5

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

加藤 俊哉

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 1 6

5 F

9 5 5 4

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-003850 A (国立大学法人東北大学) 2010.01.07, [0002]-[0003] (ファミリーなし)	1-11