(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
2015 年 7 月 2 日(02.07.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/098335 A1

(51) 国際特許分類:
G11C 11/15 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/080008

(22) 国際出願日: 2014 年 11 月 13 日(13.11.2014)

(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 2013-272703 2013 年 12 月 27 日(27.12.2013) JP

(71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKU 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: 金井 駿(Kanai Shun); 〒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). 松倉 文▲礼▼(Matsukura Fumihiro); 〒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). 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). 山ノ内 路彦(Yamanouchi Michihiko); 〒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). 池田 正二(Ikeda Shoji); 〒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). 佐藤 英夫(Sato 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: 須田 篤, 外(SUDA Atsushi et al.); 〒9800021 宮城県仙台市青葉区中央二丁目１番３０号 須田ビル５Ｆ Miyagi (JP).

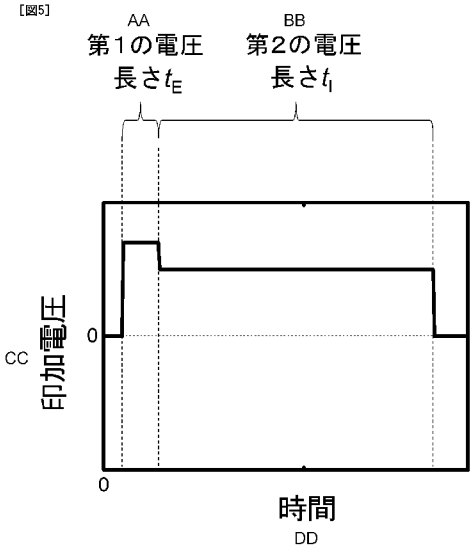
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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.

[続葉有]

(54) **Title**: CONTROL METHOD FOR MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT AND CONTROL DEVICE FOR MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT

(54) 発明の名称 : 磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置

[図5]



AA... FIRST VOLTAGE, LENGTH t_E
BB... SECOND VOLTAGE, LENGTH t_I
CC... APPLIED VOLTAGE
DD... TIME

(57) **Abstract**: [Problem] To provide a control method for a magnetoresistance effect element and a control device for the magnetoresistance effect element in which write speed is faster, and power consumption is lower, than the spin injection magnetization reversal method, for which controllability is high, and which allows performing stable magnetization reversal operation. [Solution] When the magnetization direction of a second magnetic layer (12) is in a placement that is nearly parallel with respect to the magnetization direction of a first magnetic layer (11), a first voltage is applied to between the first magnetic layer (11) and the second magnetic layer (12) so as to reverse the magnetization direction of the second magnetic layer (12) by modifying the direction of the magnetic easy axis thereof, and subsequently, a second voltage is applied so that current flows from the first magnetic layer (11) toward the second magnetic layer (12). Similarly, when the magnetization direction of the second magnetic layer (12) is in a placement that is nearly antiparallel with respect to the magnetization direction of the first magnetic layer (11), a third voltage is applied to between the first magnetic layer (11) and the second magnetic layer (12), and subsequently, a fourth voltage is applied so that current flows from the second magnetic layer (12) toward the first magnetic layer (11).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/098335 A1

(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).

規則 4.17 に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

【課題】スピン注入磁化反転方式よりも書き込み速度が速く低消費電力であると同時に、制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置を提供する。 【解決手段】第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い配置であるとき、第２の磁性層１２の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に第１の電圧を印加した後、第１の磁性層１１から第２の磁性層１２に向かって電流が流れるよう、第２の電圧を印加する。同様に、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に近い配置であるとき、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に第３の電圧を印加した後、第２の磁性層１２から第１の磁性層１１に向かって電流が流れるよう、第４の電圧を印加する。

明　細　書

発明の名称 ：

磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置に関する。

背景技術

[0002] 強磁性層／非磁性層／強磁性層の３層構造を持つ磁気抵抗効果素子は、２つの強磁性層の磁化の相対方向に依存して抵抗が変化するため、特に平行に近い場合と反平行に近い場合の２つの状態をそれぞれ「０」または「１」に対応させることにより、磁化方向として情報を記録する磁気メモリセルとして使用される。情報読み取りは、素子抵抗を読み取ることにより行う。なお、非磁性層は、金属でも絶縁体でも良い。従来、磁気抵抗効果素子の書き替え方式（磁化反転方式）は複数あり、中でも強磁性層間に電圧を印加する電気的な書き込み方式が、高集積化および低消費電力化の観点から有利である。このような書き込み方式の代表的なものとして、スピン注入磁化反転方式と電界誘起磁化反転方式がある。

[0003] スピン注入磁化反転方式は、図１１に示すように、強磁性層／非磁性層／強磁性層の３層構造を通して電流を印加し、角運動量の授受を介して磁化反転を行うものである。磁化反転方向は、電流の向きにより制御可能である。図１１に示す一例では、下側電極が上側電極より磁化が反転しにくい固定層、上側電極を記録層とし、固定層側の端子Ａに対して記録層側の端子Ｂに正電圧を印加した場合、電流は記録層側から固定層側に流れ、記録層の磁化方向は固定層の磁化方向と平行配置をとるように磁化反転する。端子Ａに対して端子Ｂに負電圧を印加した場合には、記録層の磁化方向は固定層の磁化方向と反平行配置をとるように磁化反転する。

[0004] このように、スピン注入磁化反転方式においては、電流の方向により磁化

反転方向が決まり、より大きな電流をより長い時間流すと情報書き込みに成功する確率が向上する。そのため、情報書き込みにおいては、最小限必要と予測される磁化反転時間よりも長い時間、電流を印加することで、情報書き込みの安定性を確保することができる。スピン注入磁化反転方式の磁化反転時間は、電流量を増加することにより減少させることができるが、磁化反転時間が１ｎｓ程度の領域では、書き込みに必要な電流が急激に大きくなることが知られている（例えば、非特許文献１または２参照）。素子に印加できる電流には上限があるため、現実的な書き込み時間は、数ｎｓ～数１０ｎｓ程度である。また、１つのメモリセルを一度書き換える際の消費電力は、ジュール熱によるエネルギー損失により決定され、高性能な磁気抵抗メモリセルについては、およそ１ｐＪである。

[0005] なお、スピン注入磁化反転方式における消費電力を小さくするために、単一の電流パルスで磁化反転を行うために必要な大きさのしきい値電流よりも小さい第１の電流を印加した後、それよりも大きく、しきい値電流よりも小さい第２の電流を印加する方法が提案されている（例えば、特許文献１参照）。

[0006] 電界誘起磁化反転方式は、図１２に示すように、強磁性層／絶縁層／金属層の３層構造を有するキャパシタ構造素子により行われる。図１２に示す一例では、金属層側の端子Ａと強磁性層側の端子Ｂとの間に電圧を印加することにより、強磁性層の磁気異方性を変化させ、矢印で示した方向に磁界を生じさせる。ここでは、強磁性層の磁化容易軸の方向を垂直方向とし、電圧印加により膜面平行の方向が磁化容易になるとして説明するが、面内磁化容易軸を持つ磁化に電圧を印加して膜面垂直方向の磁界を生じさせる配置でもよい（例えば、非特許文献３参照）。強磁性層の磁化は、生じた磁界を軸として歳差運動を行い、約半周期歳差運動したところで電圧を切り、磁化を再び垂直容易にすることにより、磁化反転を行うことができる（例えば、非特許文献４参照）。

[0007] 電界誘起磁化反転方式での磁化反転時間は、数百ｐｓから１ｎｓのオーダ

である。印加電圧の極性は、平行から反平行状態および反平行から平行状態への磁化反転の両方の場合で同一である。書き込み時には電圧振幅と印加時間（電圧パルス長）とを制御する必要があり、印加電圧振幅を固定した際に許される時間的誤差は、数十ｐｓのオーダである。また、絶縁層を介した素子抵抗が十分に大きく、ジュール熱によるエネルギー損失が小さい場合には、１つのメモリセルへ一度書き込む際に消費する電力は、強磁性層と金属層との間に電荷を貯めるために必要な電力であり、およそ１ｆＪである。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：D. Bedau et al., “Spin-transfer pulse switching: From the dynamic to the thermally activated regime”, Appl. Phys. Lett., 2010, 97, 262502

非特許文献2：M. Hosomi et al., “A novel nonvolatile memory with spin torque transfer magnetization switching: spin-ram”, IEDM, 2005, pp. 459-462

非特許文献3：Y. Shiota, T. Nozaki, F. Bonell, S. Murakami, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Induction of coherent magnetization switching in a few atomic layers of FeCo using voltage pulses”, Nature Mater. 2012, 11, 39

非特許文献4：S. Kanai, M. Yamanouchi, S. Ikeda, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, “Electric field-induced magnetization reversal in a perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junction”, Appl. Phys. Lett., 2012, 101, 122403

特許文献

[0009] 特許文献1：特開２００７－３０００７９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 従来のスピン注入磁化反転方式による書き込み方式では、書き込み時間を長くすることで書き込みの信頼性を高めることができるが、電界誘起磁化反転方式と比べて、書き込み速度が遅く、消費電力も大きいという課題があった。特許文献１に記載の方法により消費電力を低減することができるが、数分の１程度の低減であり、やはり電界誘起磁化反転方式と比べると、書き込み速度が遅く、消費電力も大きい。また、スピン注入磁化反転方式では、電圧を印加してから磁化反転が始まるまでに、数分の１ｎｓ～数ｎｓ程度の時間（不感時間）を要し、これも書き込み速度を高速化できない要因となっている。

[0011] 電界誘起磁化反転方式による書き込み方式では、スピン注入磁化反転方式と比べて、数倍～数十倍の書き込みの高速化、数百倍～千倍程度の消費電力の低減が期待されるが、書き込みの信頼性を確保して安定した磁化反転を行うためには、数十ｐｓの精度で電圧印加時間を制御する必要があり、その精度で制御を行うのは非常に難しいという課題があった。

[0012] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、スピン注入磁化反転方式よりも書き込み速度が速く低消費電力であると同時に、制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御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

[0013] 本発明者等は、スピン注入磁化反転方式および電界誘起磁化反転方式の双方の特長を活かすことにより、スピン注入磁化反転方式よりも書き込み速度が速く、低消費電力で、電界誘起磁化反転方式よりも制御性が高い磁化反転方法が得られると考え、本発明に到った。

[0014] すなわち、第１の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、電界誘起磁化反転方式を行った後、スピン注入磁化反転方式を行うことにより、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させることを特徴とする。

[0015] 第１の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層とを有する磁気抵抗効果素子と、電界誘起磁化反転方式を行った後、スピン注入磁化反転方式を行うことにより、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させるよう設けられた制御手段とを、有することを特徴とする。

[0016] 第１の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用して第２の磁性層の磁化方向を概ね反転させておくことにより、スピン注入磁化反転方式のみで行う場合よりも書き込み速度が速く、低消費電力である。また、電界誘起磁化反転方式により第２の磁性層の磁化方向を反転させた後、スピン注入磁化反転方式でその磁化反転の成功確率を高めることができるため、電界誘起磁化反転方式を利用する際に高精度に電圧印加時間を制御する必要がない。このため、電界誘起磁化反転方式での制御が行いやすく、全体として制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる。

[0017] 第１の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用することにより、即座に磁化反転を開始することができる。このため、スピン注入磁化反転方式で発生していた不感時間がなくなり、書き込み速度を高速化することができる。

[0018] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前

記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加することを、特徴とする。

[0019] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子と、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加するよう設けられた制御手段とを、有することを特徴とする。

[0020] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１

の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えることが好ましい。第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置で、前記制御手段は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えるよう構成されていることが好ましい。

[0021] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第２の磁性層を記録層として、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して平行または反平行に書き換えることにより、磁気抵抗効果素子に情報を記録することができる。ここで、第１の磁性層の磁化方向に対して平行および反平行とは、それぞれ第１の磁性層の磁化方向に対して平行に近い配置および反平行に近い配置のことであり、概ね平行および反平行から３０°前後の幅の範囲である。第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、第２の磁性層の磁化方向が第１の磁性層の磁化方向に対して平行に近い配置または反平行に近い配置のとき、電界誘起磁化反転方式を利用して、第２の磁性層の磁化方向を反転することができる。すなわち、第１の磁性層と第２の磁性層との間に第１の電圧または第３の電圧を印加することにより、第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることができ、その変化した磁化容易軸を中心として、第２の磁性層の磁化が歳差運動を行う。約半周期歳差運動したところで、第１の電圧または第３の電圧より振幅が小さい第２の電圧または第４の電圧に切り替えることにより、第２の磁性層の磁化容易軸を元の方向に戻し、歳差運動を終わらせることができる。これにより、第２の磁性層の磁化方向は、約半周期の歳差運動をしている状態になっており、元の方向に対して反転した状態になっている。

[0022] 次に、第１の磁性層と第２の磁性層との間に第２の電圧または第４の電圧を印加することにより、スピン注入磁化反転方式を利用して、磁化反転の成功確率を高め、安定した磁化反転を行うことができる。元の第２の磁性層の磁化方向が第１の磁性層の磁化方向に対して平行であったときには、第２の磁性層の磁化方向を第１の磁性層の磁化方向に対して反平行にしたいため、第１の磁性層から第２の磁性層に向かって電流が流れるよう第２の電圧を印加する。また、元の第２の磁性層の磁化方向が第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であったときには、第２の磁性層の磁化方向を第１の磁性層の磁化方向に対して平行にしたいため、第２の磁性層から第１の磁性層に向かって電流が流れるよう第４の電圧を印加する。これにより、反転した第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して平行または反平行に、さらに近づけることができる。

[0023] このように、第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用して第２の磁性層の磁化方向を概ね反転させておくため、スピン注入磁化反転方式のみで行う場合よりも書き込み速度が速く、低消費電力である。また、電界誘起磁化反転方式により第２の磁性層の磁化方向を反転させた後、スピン注入磁化反転方式でその磁化反転の成功確率を高めることができるため、電界誘起磁化反転方式を利用する際に高精度に電圧印加時間を制御する必要がない。このため、電界誘起磁化反転方式での制御が行いやすく、全体として制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる。

[0024] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用することにより、即座に磁化反転を開始することができる。このため、スピン注入磁化反転方式で発生していた不感時間がなくなり、書き込み速度を高速化することができる。なお、印加電圧を制御するための制御手段は、いかなる構成であってもよいが、例えば、直流電圧源からの電圧を

、トランジスタを介してコンピュータ等により制御されたスイッチングにより印加することにより、第１乃至第４の電圧を印加するよう構成されていることが好ましい。

[0025] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法で、前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加することが好ましい。また、第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置で、前記制御手段は、前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加するよう構成されていることが好ましい。より具体的には、第１の電圧および第３の電圧は、第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることができる大きさを有し、第２の磁性層の磁化の歳差運動の１／４周期より大きく３／４周期未満の継続時間を有していることが好ましい。これにより、電界誘起磁化反転方式を利用して第２の磁性層の磁化方向を概ね反転させておくことができ、後のスピン注入磁化反転方式で磁化反転を高確率かつ高速に完了させることができる。

[0026] 第２の電圧および第４の電圧の大きさは、第２の磁性層の磁化容易軸の方向が変化しない範囲で、できるだけ大きいことが好ましい。また、情報書き込みに成功する確率を向上させるためには、継続時間は長い方が好ましいが、高速化及び低消費電力化のためにはできるだけ短い方が好ましい。

[0027] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、歳差運動により第２の磁性層の磁化を反転させるためには、第１の電圧または第３の電圧による第２の磁性層の磁化容易軸の方向変化が、４５度より大きく１３５度未満であることが必要であるが、第２の磁性層の磁化反転をより確実に行うために、第２の磁性層の磁化容易軸の方向を８０度乃至１００度変化させることが好ましい。

[0028] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子

の制御装置で、第１の磁性層および第２の磁性層は、Ｃｏ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｍｎなどの強磁性金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されることが好ましい。また、厚みに限定はないが、界面磁気異方性により磁化容易方向が決定される場合には、磁気異方性を電圧により制御し、磁化の容易軸方向を切り替えることのできる膜厚であることが望ましく、一例としてＣｏＦｅＢ／ＭｇＯ接合一つ当たり０．５～２ｎｍが好ましい。絶縁層は、ＭｇＯやＡｌＯなどの酸化物、または窒素、弗素などを一つ以上含む材料が好ましい。

[0029] 第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で、前記絶縁層は、前記第１の磁性層および前記第２の磁性層の層厚方向に沿って、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置されていることが好ましい。この場合、第１の磁性層と第２の磁性層との間に電圧をかけて制御しやすい。なお、第１の磁性層および第２の磁性層は、磁化方向が層厚方向に沿っていることが好ましい。

[0030] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された非磁性層と、前記第２の磁性層に対して前記第１の磁性層とは反対側に配置された金属層と、前記第２の磁性層と前記金属層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れる

よう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加することを特徴とする。

[0031] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置は、第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された非磁性層と、前記第２の磁性層に対して前記第１の磁性層とは反対側に配置された金属層と、前記第２の磁性層と前記金属層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子と、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加するよう設けられた制御手段とを、有することを特徴とする。

[0032] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第２の磁性層と前記金属層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えることが好ましい。第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御装置で、前記制御手段は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第２の磁性層と前記金属層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧

を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えるよう構成されていることが好ましい。

[0033] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第２の磁性層を記録層として、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して平行または反平行に書き換えることにより、磁気抵抗効果素子に情報を記録することができる。ここで、第１の磁性層の磁化方向に対して平行および反平行とは、それぞれ第１の磁性層の磁化方向に対して平行に近い配置および反平行に近い配置のことであり、概ね平行および反平行から３０°前後の幅の範囲である。第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、磁気抵抗効果素子が、第２の磁性層を共通にして、第１の磁性層と非磁性層と第２の磁性層とを有する、図１１に示すスピン注入磁化反転方式の構成と、第２の磁性層と絶縁層と金属層とを有する、図１２に示す電界誘起磁化反転方式の構成とを組み合わせた構造を有している。

[0034] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、まず、第２の強磁性層と金属層との間に第１の電圧または第３の電圧を印加することにより、電界誘起磁化反転方式を利用して、第２の磁性層の磁化方向を反転し、その後、第１の磁性層と第２の磁性層との間に第２の電圧または第４の電圧を印加することにより、スピン注入磁化反転方式を利用して、磁化反転の成功確率を高め、安定した磁化反転を行うことができる。このように、第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置と同様の原理で磁化反転操作を行うことができ、スピン注入磁化反転方式のみで行う場合よりも書き込み速度が速く、低消費電力で、電界誘起磁化反転方式よりも制御性が高い。また、他の特徴や効果も、第２の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法およ

び磁気抵抗効果素子の制御装置と同様のものが得られる。

[0035] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で、第１の磁性層および第２の磁性層は、Ｃｏ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｍｎなどの強磁性金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されることが好ましい。また、厚みに限定はないが、界面磁気異方性により磁化容易方向が決定される場合には、磁気異方性を電圧により制御し、磁化の容易軸方向を切り替えることのできる膜厚であることが望ましく、一例としてＣｏＦｅＢ／ＭｇＯ接合一つ当たり０．５～２ｎｍが好ましい。非磁性層は、どのような材料でも使用可能である。厚みは、第１の磁性層と第２の磁性層との交換結合を切るため３ｎｍ程度以上が好ましい。金属層は、例えば、ＡｕやＣｒ、Ｃｕ、ＡＩなど低抵抗な材料が好ましい。絶縁層は、ＭｇＯやＡＩＯなどの酸化物、窒素や弗素を一つ以上含む材料が好ましい。また、絶縁層の厚みは、ジュール熱によるエネルギー損失を防ぐため、高抵抗になる膜厚が望ましく、２ｎｍ以上が好ましい。

[0036] 第３の本発明に係る磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で、前記非磁性層は、前記第１の磁性層および前記第２の磁性層の層厚方向に沿って、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置されており、前記絶縁層および前記金属層は、前記第１の磁性層および前記第２の磁性層の層厚方向に沿って、前記第２の磁性層に対して前記第１の磁性層とは反対側に積層されていることが好ましい。この場合、第１の磁性層と第２の磁性層との間、および第２の磁性層と金属層との間に電圧をかけて制御しやすい。なお、第１の磁性層および第２の磁性層は、磁化方向が層厚方向に沿っていることが好ましい。

発明の効果

[0037] 本発明によれば、スピン注入磁化反転方式よりも書き込み速度が速く低消費電力であると同時に、制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で使用する磁気抵抗効果素子を示す縦断面図である。

[図2]図１に示す磁気抵抗効果素子の実施例の縦断面図である。

[図3]図２に示す磁気抵抗効果素子に第１の電圧をかけたときの、第２の磁性層の磁化反転確率の電圧印加の継続時間依存性を示すグラフである。

[図4]図２に示す磁気抵抗効果素子の、様々な第１の電圧の継続時間t_Eについての、第２の電圧の継続時間t_Iに対する第２の磁性層の磁化反転確率を示すグラフである。

[図5]図１に示す磁気抵抗効果素子の、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して平行に近い状態から反平行に近い状態に書き換えるときの印加電圧波形を示すグラフである。

[図6]図１に示す磁気抵抗効果素子の、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して反平行に近い状態から平行に近い状態に書き換えるときの印加電圧波形を示すグラフである。

[図7]図２に示す磁気抵抗効果素子の、磁化反転確率が９０％以上になるときの、第１の電圧の継続時間t_Eおよび第２の電圧の継続時間t_Iの領域を示すグラフである。

[図8]第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で使用する磁気抵抗効果素子を示す縦断面図である。

[図9]図８に示す磁気抵抗効果素子の、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して平行な状態から反平行な状態に書き換えるときの（ａ）端子Ｂ－端子Ｃ間、（ｂ）端子Ａ－端子Ｂ間の印加電圧を示すグラフである。

[図10]図８に示す磁気抵抗効果素子の、第２の磁性層の磁化方向を、第１の磁性層の磁化方向に対して反平行な状態から平行な状態に書き換えるときの（ａ）端子Ｂ－端子Ｃ間、（ｂ）端子Ａ－端子Ｂ間の印加電圧を示すグラフである。

[図11]従来のスピン注入磁化反転方式で使用する磁気抵抗効果素子を示す縦断面図である。

[図12]従来の電界誘起磁化反転方式で使用する磁気抵抗効果素子を示す縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0039] 以下、図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。

図１乃至図７は、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で使用する磁気抵抗効果素子を示している。

図１に示すように、この磁気抵抗効果素子１０は、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２と絶縁層１３とを有している。

[0040] 第１の磁性層１１は、磁化方向が層厚方向に沿っており、磁化方向が９０°以上変化することはない。第２の磁性層１２は、磁化方向が層厚方向に沿っており、第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い配置または反平行に近い配置に変化可能になっている。絶縁層１３は、第１の磁性層１１および第２の磁性層１２の層厚方向に沿って、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に配置されている。

[0041] 磁気抵抗効果素子１０の制御方法を、図２に示す磁気抵抗効果素子１０ａを用いた実施例を参照しながら説明する。図２に示す磁気抵抗効果素子１０ａは、第１の磁性層１１が層厚０．９ｎｍのＣｏＦｅＢ層、第２の磁性層１２が層厚１．８ｎｍのＣｏＦｅＢ層、絶縁層１３が層厚１．３ｎｍのＭｇＯ層から成っている。また、第１の磁性層１１の下に、上から順にＴａ層、Ｒｕ層、Ｔａ層、サファイア層（Sapphire sub.）を有している。また、第２の磁性層１２に上に、下から順に、Ｔａ層、Ｒｕ層、Ｃｒ／Ａｕ層を有している。また、接合部の周囲に、ＡｌＯ保護絶縁層を有している。

[0042] 第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第２の磁性層１２を記録層として、第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い配置また

は反平行に近い配置に書き換えることにより、磁気抵抗効果素子１０に情報を記録することができる。まず、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い配置であるとき、端子Ａと端子Ｂとの間、すなわち第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に第１の電圧をかける。第１の電圧は、第２の磁性層１２の磁化容易軸の方向を変化させることができる大きさを有しており、これにより、図１中の矢印の方向の有効磁界が、電圧を印加する前に存在していた垂直方向の有効磁界に比して相対的に大きくなり、第２の磁性層１２の磁化容易軸の方向が垂直方向から層面内方向にほぼ垂直に変化する。その変化した磁化容易軸を中心として、第２の磁性層１２の磁化が歳差運動を行う。

[0043] 図２に示す磁気抵抗効果素子１０ａでは、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に、第１の電圧として０．７Ｖの電圧をかけると、第２の磁性層１２の磁化が歳差運動を行うため、図３に示すように、電圧印加継続時間に対して磁化反転確率が振動する。なお、図３の磁化反転確率は、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い状態の時に電圧を印加し、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に近い状態になった確率を示している。また、図３では、印加した磁界の磁束密度は３１ｍＴ、継続時間は５ｎｓまでとしている。第２の磁性層１２の磁化が約半周期歳差運動したところ、すなわち反転確率が最も高くなる時間の１．２５ｎｓ付近で、第２の磁性層１２の磁化容易軸が変化しない値以下に電圧を落とすことにより、第２の磁性層１２の磁化容易軸を元の方向に戻し、歳差運動を終わらせることができる。これにより、第２の磁性層１２の磁化方向は、約半周期の歳差運動をしている状態になっており、元の方向に対してほぼ反転した状態、すなわち第１の磁性層１１の磁化方向に対してほぼ反平行の状態になっている。このように、電界誘起磁化反転方式を利用して、第２の磁性層１２の磁化方向をほぼ反転することができる。

[0044] 次に、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に、第１の磁性層１１

から第２の磁性層１２に向かって電流が流れるよう、第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加する。第２の電圧の振幅は、第２の磁性層１２の磁化容易軸が変化しない値であり、第１の電圧に引き続き印加されることが好ましい。第２の電圧の印加により、反転した第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に、さらに近づけることができる。

[0045] 図２に示す磁気抵抗効果素子１０ａに対して、第２の電圧として０．５Ｖの電圧をかけて反転確率を求めた結果を、図４に示す。図４には、０．７Ｖの第１の電圧をかけた時間t_Eが０ｎｓから１．２５ｎｓまでの様々な場合の、０．５Ｖの第２の電圧の継続時間t_Iに対する磁化反転確率の変化を示している。図４の磁化反転確率は、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行状態の時に電圧を印加し、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行になっている確率を示している。図４に示すように、第２の電圧の印加により、第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に、さらに近づけることができる。また、第１の電圧の継続時間t_Eが、図３に示す磁化反転確率が最も高くなる時間の１．２５ｎｓに近づくほど、第２の電圧による磁化反転確率をより早く高めることができる。

[0046] また、図４に示すように、いずれのt_Eに対しても、t_Iを増大させることにより磁化反転確率は上昇するため、反平行配置に磁化を向けるトルク（磁化に働く力）がスピン注入によりもたらされていることがわかる。このように、第１の電圧に引き続き第２の電圧を印加することにより、スピン注入磁化反転方式を利用して、磁化反転の成功確率を高め、安定した磁化反転を行うことができる。

[0047] なお、図４に示すt_E＝０ｎｓの結果は、電界誘起磁化反転方式を利用しないスピン注入磁化反転方式に相当するものであり、このとき、t_I＝１０ｎｓでも磁化反転確率は、０．９に到達していない。これに対し、t_E＝１．２５ｎｓの場合には、t_I＝０ｎｓであっても、既に磁化反転確率は０．９を超え

ている。このことから、磁化反転確率として０．９（９０％）を確保するときには、全体の書き込み時間t_E+t_Iは、スピン注入磁化反転のみを利用した場合と比べて、８．７５ｎｓ以上短縮することができる。

[0048] 以上から、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、図５に示すように、継続時間t_Eの第１の電圧を印加した後、継続時間t_Iの第２の電圧を印加することにより、第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に近い状態から反平行に近い状態に書き換えることができる。

[0049] 次に、第２の磁性層１２の磁化方向が第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に近い配置であるときにも、平行に近い配置から反平行に近い配置に書き換えるのと同じ原理で、平行に書き換えることができる。すなわち、まず、端子Ａと端子Ｂとの間、すなわち第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に第３の電圧をかける。第３の電圧は、第１の電圧と同じ極性および同じ大きさであることが好ましい。このとき、図１中の矢印の方向に有効磁界が発生し、第２の磁性層１２の磁化容易軸の方向が垂直方向から層面内方向にほぼ垂直に変化し、その変化した磁化容易軸を中心として、第２の磁性層１２の磁化が歳差運動を行う。

[0050] 約半周期歳差運動したところで、第２の磁性層１２の磁化容易軸が変化しない値に電圧を変化させることにより、第２の磁性層１２の磁化容易軸を元の方向に戻し、歳差運動を終わらせることができる。これにより、第２の磁性層１２の磁化方向は、約半周期の歳差運動をしている状態になっており、元の方向に対してほぼ反転した状態、すなわち第１の磁性層１１の磁化方向に対してほぼ平行の状態になっている。このように、電界誘起磁化反転方式を利用して、第２の磁性層１２の磁化方向をほぼ反転することができる。

[0051] 次に、第１の磁性層１１と第２の磁性層１２との間に、第２の磁性層１２から第１の磁性層１１に向かって電流が流れるよう、第３の電圧より小さい第４の電圧を印加する。第４の電圧は、第２の磁性層１２の磁化容易軸が変化しない値であり、第３の電圧に引き続き印加されることが好ましい。また

、第４の電圧は、第２の電圧に対して、極性が反対である。第４の電圧の印加により、反転した第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して平行に、さらに近づけることができる。このように、第３の電圧に引き続き第４の電圧を印加することにより、スピン注入磁化反転方式を利用して、磁化反転の成功確率を高め、安定した磁化反転を行うことができる。

[0052] 以上から、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、図６に示すように、継続時間t_Eの第３の電圧を印加した後、継続時間t_Iの第４の電圧を印加することにより、第２の磁性層１２の磁化方向を、第１の磁性層１１の磁化方向に対して反平行に近い状態から平行に近い状態に書き換えることができる。

[0053] 図２に示す磁気抵抗効果素子１０ａに対して、磁化反転確率が９０％以上になるt_Eおよびt_Iの領域を求め、図７に示す。図７では、t_E＝０のとき（縦軸上）がスピン注入磁化反転方式のみの場合、t_I＝０のとき（横軸上）が電界誘起磁化反転方式のみの場合に相当する。磁化反転確率９０％以上を確保するとき、t_I＝０の電界誘起磁化反転方式のみの場合には、t_Eが１．１ｎｓ～１．４ｎｓの間に電圧制御を行う必要があり、０．３ｎｓの誤差しか許されない。これに対し、スピン注入磁化反転方式と電界誘起磁化反転方式とを併用した場合には、例えば、t_I＝４ｎｓのとき、t_Eの許容誤差（制御マージン）は１．０ｎｓとなり、電界誘起磁化反転方式のみの場合と比べて、制御性が大幅に向上することがわかる。

[0054] また、磁化反転確率９０％以上を確保するとき、t_E＝０のスピン注入磁化反転方式のみの場合には、書き込み時間t_E（＝０）＋t_Iが１０ｎｓ以上必要である。これに対し、スピン注入磁化反転方式と電界誘起磁化反転方式とを併用した場合には、例えば、t_I＝４ｎｓのとき、書き込み時間t_E＋t_Iは４．６～５．６ｎｓとなり、スピン注入磁化反転方式のみの場合と比べて、４～５ｎｓ以上短縮できることがわかる。さらに、スピン注入磁化反転方式のエネルギー消費量は書き込み時間に比例するため、高速化により消費電力

を低減することもできる。

[0055] このように、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用して第２の磁性層１２の磁化方向を概ね反転させておくため、スピン注入磁化反転方式のみで行う場合よりも書き込み速度が速く、低消費電力である。また、電界誘起磁化反転方式により第２の磁性層１２の磁化方向を反転させた後、スピン注入磁化反転方式でその磁化反転の成功確率を高めることができるため、電界誘起磁化反転方式を利用する際に高精度な磁化反転を行う必要がない。このため、電界誘起磁化反転方式での制御が行いやすく、全体的に制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる。

[0056] 第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置では、スピン注入磁化反転方式を利用する前に、電界誘起磁化反転方式を利用することにより、即座に磁化反転を開始することができる。このため、スピン注入磁化反転方式で発生していた不感時間がなくなり、書き込み速度を高速化することができる。

[0057] 第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、電界誘起磁化反転方式を利用して第２の磁性層１２の磁化方向を概ね反転させておくために、第１の電圧および第３の電圧を、それぞれ第２の磁性層１２の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するだけの時間、すなわち、第２の磁性層１２の磁化の歳差運動の１／４周期より大きく３／４周期未満の継続時間、印加することが好ましい。これにより、後のスピン注入磁化反転方式で磁化反転を高確率かつ高速で完了させることができる。

[0058] 第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で、第２の電圧および第４の電圧の大きさは、第２の磁性層１２の磁化容易軸の方向が変化しない範囲で、できるだけ大きいことが好ましい。また、情報書き込みに成功する確率を向上させるためには、継続

時間は長い方が好ましいが、高速化及び低消費電力化のためにはできるだけ短い方が好ましい。なお、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御装置では、制御手段により磁気抵抗効果素子１０の制御を行うようになっている。

[0059] 図８乃至図１０は、第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置で使用する磁気抵抗効果素子を示している。

図８に示すように、この磁気抵抗効果素子２０は、第１の磁性層２１と第２の磁性層２２と非磁性層２３と金属層２４と絶縁層２５とを有している。

[0060] 第１の磁性層２１は、磁化方向が第２の磁性層に比して変化させにくい。第２の磁性層２２は、磁化方向が第１の磁性層２１の磁化方向に対して平行に近い配置または反平行に近い配置に変化させることが、第１の磁性層に比して容易になっている。非磁性層２３は、第１の磁性層２１および第２の磁性層２２の層厚方向に沿って、第１の磁性層２１と第２の磁性層２２との間に配置されている。金属層２４は、第２の磁性層２２に対して第１の磁性層２１とは反対側に配置されている。絶縁層２５は、第１の磁性層２１および第２の磁性層２２の層厚方向に沿って、第２の磁性層２２と金属層２４との間に配置されている。

[0061] 磁気抵抗効果素子１０は、第２の磁性層２２を共通にして、第１の磁性層２１と非磁性層２３と第２の磁性層２２とを有する、図１１に示すスピン注入磁化反転方式の構成と、第２の磁性層２２と絶縁層２５と金属層２４とを有する、図１２に示す電界誘起磁化反転方式の構成とを組み合わせた構造を有している。

[0062] 第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第２の磁性層２２を記録層として、第２の磁性層２２の磁化方向を、第１の磁性層２１の磁化方向に対して平行に近い配置または反平行に近い配置に書き換えることにより、磁気抵抗効果素子２０に情報を記録することができる。第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の

制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置と同様の原理で磁化反転操作を行うことができる。以下の説明では、第１の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置と重複する説明は省略する。

[0063] すなわち、まず、第２の磁性層２２の磁化方向が第１の磁性層２１の磁化方向に対して平行であるとき、図９に示すように、端子Ｂと端子Ｃとの間、すなわち第２の磁性層２２と金属層２４との間に第１の電圧をかける。これにより、図８中の矢印の方向に有効磁界が発生し、第２の磁性層２２の磁化容易軸の方向が垂直方向から層面内方向にほぼ垂直に変化し、その変化した磁化容易軸を中心として、第２の磁性層２２の磁化が歳差運動を行う。約半周期歳差運動したところで、第１の電圧の印加を止め、端子Ａと端子Ｂとの間、すなわち第１の磁性層２１と第２の磁性層２２との間に第１の電圧より振幅の小さい第２の電圧をかける。これにより、第２の磁性層２２の磁化容易軸を元の方向に戻して歳差運動を終わらせ、第２の磁性層２２の磁化方向を、元の方向に対してほぼ反転した状態、すなわち第１の磁性層２１の磁化方向に対してほぼ反平行の状態にすることができる。

[0064] また、第１の電圧に引き続き、第１の磁性層２１から第２の磁性層２２に向かって電流が流れるよう、第２の電圧を印加することにより、反転した第２の磁性層２２の磁化方向を、第１の磁性層２１の磁化方向に対して反平行に、さらに近づけることができる。

[0065] このように、第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、図９に示すように、継続時間t_Eの第１の電圧を印加した後、継続時間t_Iの第２の電圧を印加することにより、第２の磁性層２２の磁化方向を、第１の磁性層２１の磁化方向に対して平行に近い状態から反平行に近い状態に書き換えることができる。

[0066] 次に、第２の磁性層２２の磁化方向が第１の磁性層２１の磁化方向に対して反平行に近い配置であるときにも、平行に近い配置から反平行に近い配置

に書き換えるのと同じ原理で、平行に近い配置に書き換えることができる。すなわち、まず、図１０に示すように、端子Ｂと端子Ｃとの間、すなわち第２の磁性層２２と金属層２４との間に第３の電圧をかける。これにより、図８中の矢印の方向に有効磁界が発生し、第２の磁性層２２の磁化容易軸の方向が垂直方向から層面内方向にほぼ垂直に変化し、その変化した磁化容易軸を中心として、第２の磁性層２２の磁化が歳差運動を行う。約半周期歳差運動したところで、第３の電圧の印加を止め、端子Ａと端子Ｂとの間、すなわち第１の磁性層２１と第２の磁性層２２との間に第３の電圧より振幅の小さい第４の電圧をかける。これにより、第２の磁性層２２の磁化容易軸を元の方向に戻して歳差運動を終わらせ、第２の磁性層２２の磁化方向を、元の方向に対してほぼ反転した状態、すなわち第１の磁性層２１の磁化方向に対してほぼ平行の状態にすることができる。

[0067] また、第３の電圧に引き続き、第２の磁性層２２から第１の磁性層２１に向かって電流が流れるよう、第４の電圧を印加することにより、反転した第２の磁性層２２の磁化方向を、第１の磁性層２１の磁化方向に対して平行に、さらに近づけることができる。

[0068] このように、第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、図１０に示すように、継続時間t_Eの第３の電圧を印加した後、継続時間t_Iの第４の電圧を印加することにより、第２の磁性層２２の磁化方向を、第１の磁性層２１の磁化方向に対して反平行に近い状態から平行に近い状態に書き換えることができる。

[0069] このように、第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御方法および磁気抵抗効果素子の制御装置は、まず、第２の強磁性層と金属層２４との間に第１の電圧または第３の電圧を印加することにより、電界誘起磁化反転方式を利用して、第２の磁性層２２の磁化方向を反転し、その後、第１の磁性層２１と第２の磁性層２２との間に第２の電圧または第４の電圧を印加することにより、スピン注入磁化反転方式を利用して、磁化反転の成功確率を高め、安定した磁化反転を行うことができる。このため、スピン注入磁化

反転方式のみで行う場合よりも書き込み速度が速く、低消費電力である。また、電界誘起磁化反転方式での制御が行いやすく、全体的に制御性が高く安定した磁化反転操作を行うことができる。

[0070] また、磁気抵抗効果素子２０は、絶縁層２５の抵抗を調節して十分に高抵抗にすることにより、電界誘起磁化反転方式の際の消費電力を大幅に低減しながら、磁気抵抗効果素子としての機能を保つことができ、磁気抵抗効果素子１０よりも、消費電力の低減効果が大きい。なお、第２の本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の制御装置では、制御手段により磁気抵抗効果素子２０の制御を行うようになっている。

符号の説明

[0071] １０、１０ａ　磁気抵抗効果素子

１１　第１の磁性層

１２　第２の磁性層

１３　絶縁層

２０　磁気抵抗効果素子

２１　第１の磁性層

２２　第２の磁性層

２３　非磁性層

２４　金属層

２５　絶縁層

請求の範囲

[請求項1] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加することを、

特徴とする磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項2] 前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えることを特徴とする請求項１記載の磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項3] 前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範

囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加することを特徴とする請求項１または２記載の磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項4] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された非磁性層と、前記第２の磁性層に対して前記第１の磁性層とは反対側に配置された金属層と、前記第２の磁性層と前記金属層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加することを、

特徴とする磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項5] 前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第２の磁性層と前記金属層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２

の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えることを特徴とする請求項４記載の磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項6] 前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加することを特徴とする請求項４または５記載の磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項7] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子と、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加するよう設けられた制御手段とを、

有することを特徴とする磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項8] 前記制御手段は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の

磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えるよう構成されていることを特徴とする請求項７記載の磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項9] 前記制御手段は、前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加するよう構成されていることを特徴とする請求項７または８記載の磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項10] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層と、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に配置された非磁性層と、前記第２の磁性層に対して前記第１の磁性層とは反対側に配置された金属層と、前記第２の磁性層と前記金属層との間に配置された絶縁層とを有する磁気抵抗効果素子と、

前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第１の電圧を印加した後、前記第１の磁性層から前記第２の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第１の電圧より振幅が小さい第２の電圧を印加し、前記第２の磁性層の磁化方向が前記第１の磁性層の磁化方向に対して反平行であるとき、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させることにより磁化方向を反転させるよう、前記第２の磁性層と前記金属層との間に第３の電圧を印加した後、前記第２の磁性層から前記第１の磁性層に向かって電流が流れるよう、前記第１の磁性層と前記第２の磁性層との間に前記第３の電圧より振幅が小さい第４の電圧を印加するよう設けられた制御手段とを、

有することを特徴とする磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項11] 前記制御手段は、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させる工程において、前記第２の磁性層と前記金属層との間に前記第１の電圧または前記第３の電圧を印加することにより、前記第２の磁性層の磁化容易軸の方向を変化させ、その変化した磁化容易軸を中心として歳差運動を行う前記第２の磁性層の磁化が反転したとき、前記第１の電圧または前記第３の電圧を、前記第２の電圧または前記第４の電圧に切り替えるよう構成されていることを特徴とする請求項１０記載の磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項12] 前記制御手段は、前記第１の電圧および前記第３の電圧として、それぞれ前記第２の磁性層の磁化方向が元の方向から９０度より大きく２７０度未満の範囲で回転するよう、所定の大きさ以上の電圧を所定の時間印加するよう構成されていることを特徴とする請求項１０または１１記載の磁気抵抗効果素子の制御装置。

[請求項13] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層とを有する磁気抵抗効果素子の制御方法であって、

電界誘起磁化反転方式を行った後、スピン注入磁化反転方式を行うことにより、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させることを

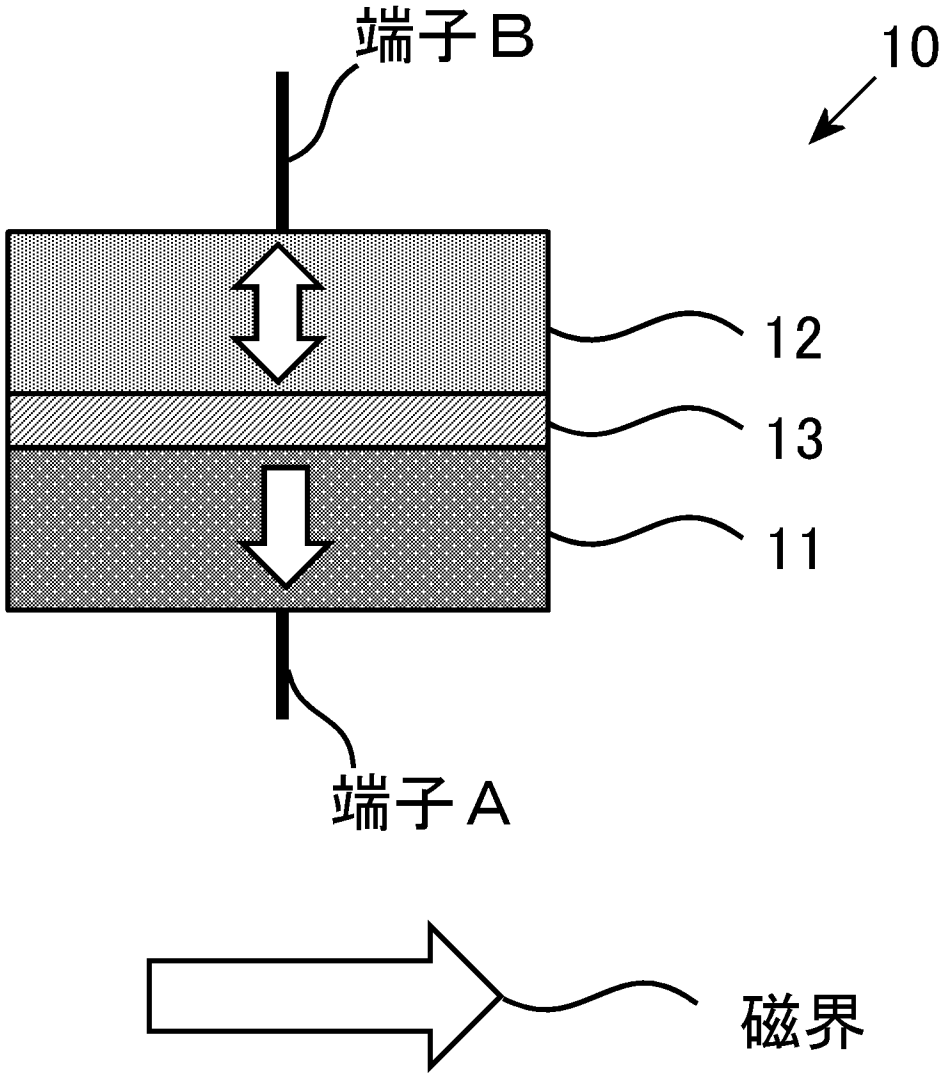
特徴とする磁気抵抗効果素子の制御方法。

[請求項14] 第１の磁性層と、磁化方向が前記第１の磁性層と比べて変化させやすい第２の磁性層とを有する磁気抵抗効果素子と、

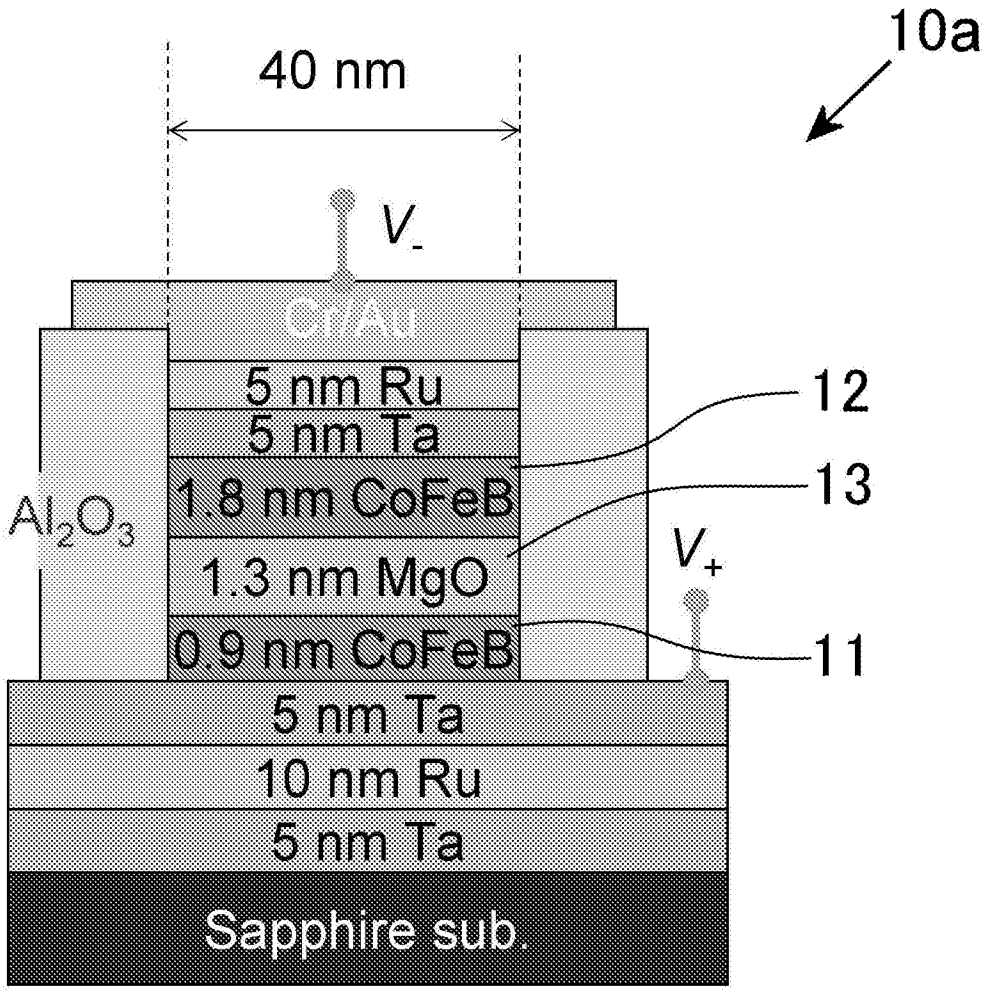
電界誘起磁化反転方式を行った後、スピン注入磁化反転方式を行うことにより、前記第２の磁性層の磁化方向を反転させるよう設けられた制御手段とを、

有することを特徴とする磁気抵抗効果素子の制御装置。

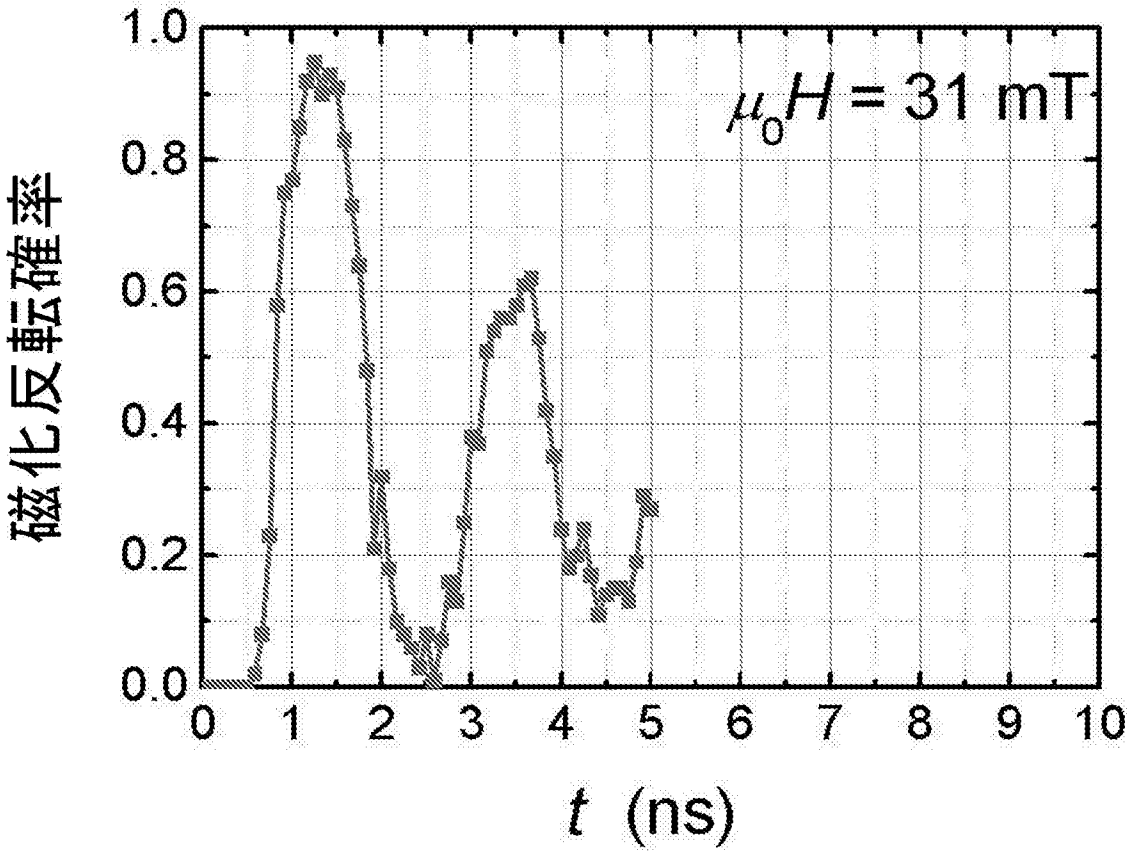
[図1]



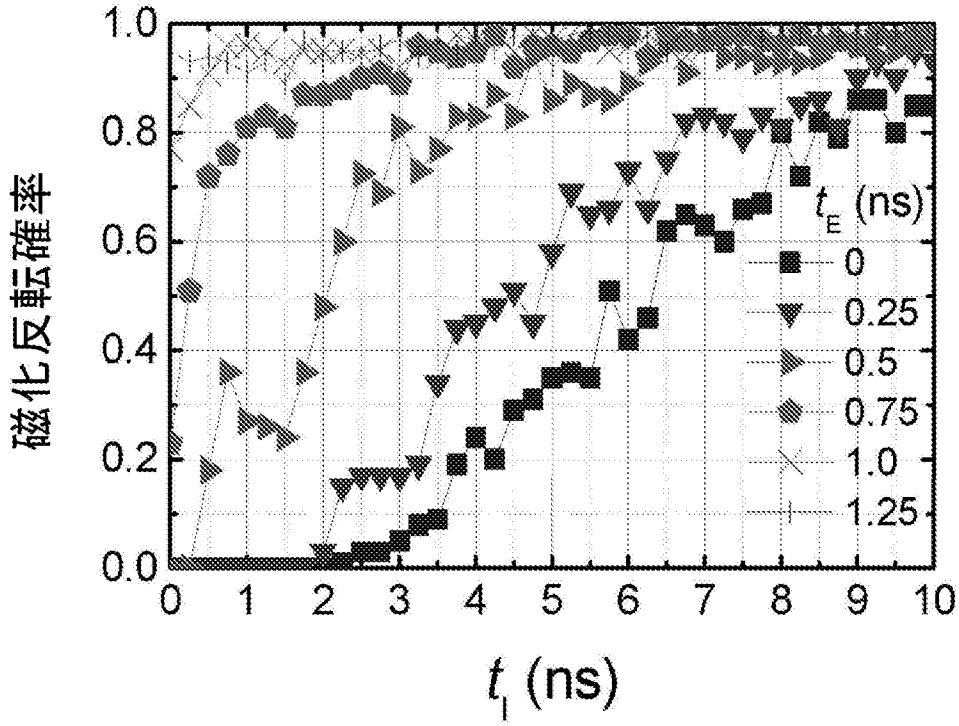
[図2]


10a
40 nm
V-
Cr/Au
5 nm Ru
5 nm Ta
1.8 nm CoFeB
1.3 nm MgO
0.9 nm CoFeB
Al2O3
V+
12
13
11
5 nm Ta
10 nm Ru
5 nm Ta
Sapphire sub.

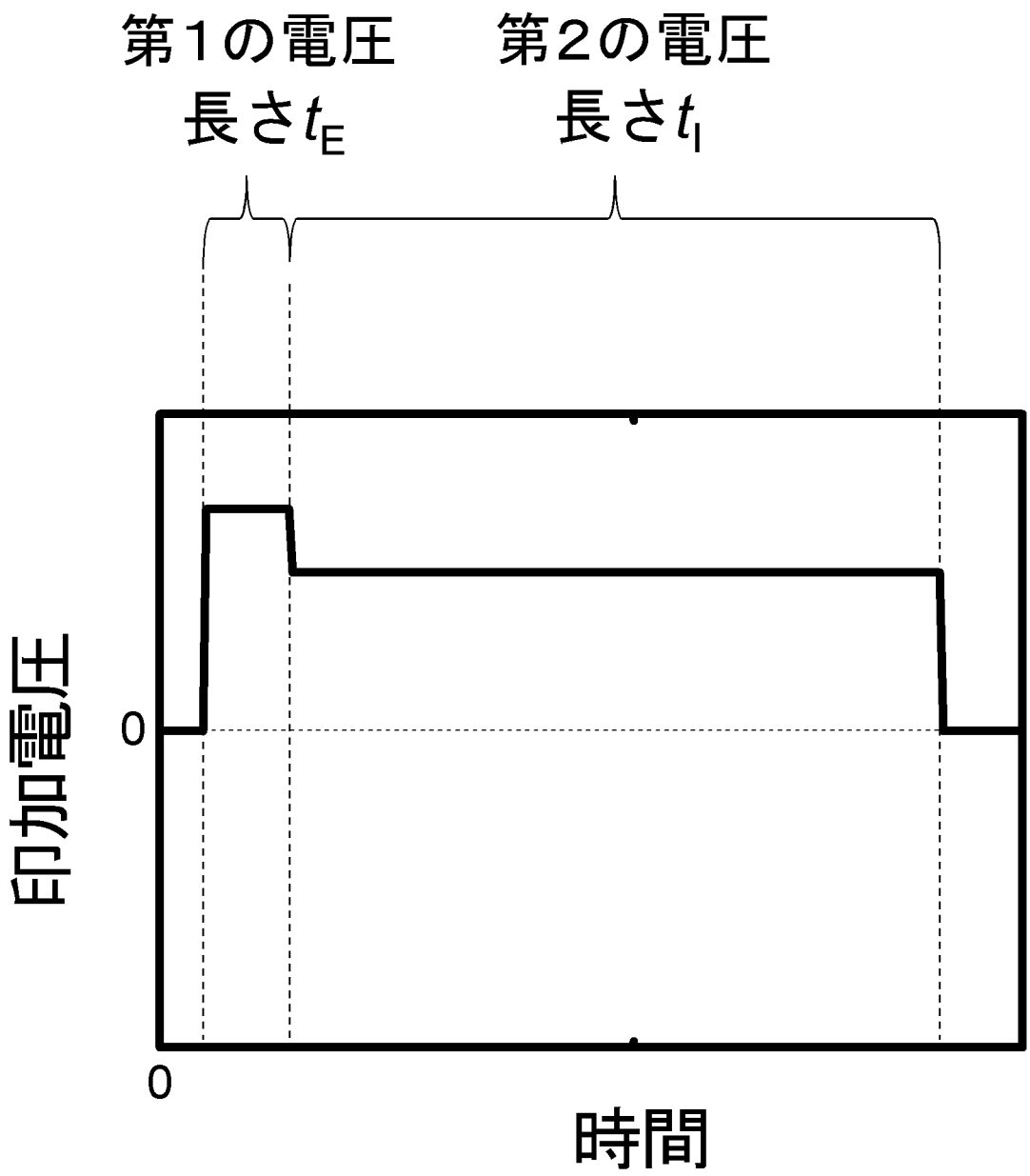
[図3]


磁化反転確率
$\mu_0 H = 31$ mT
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
t (ns)

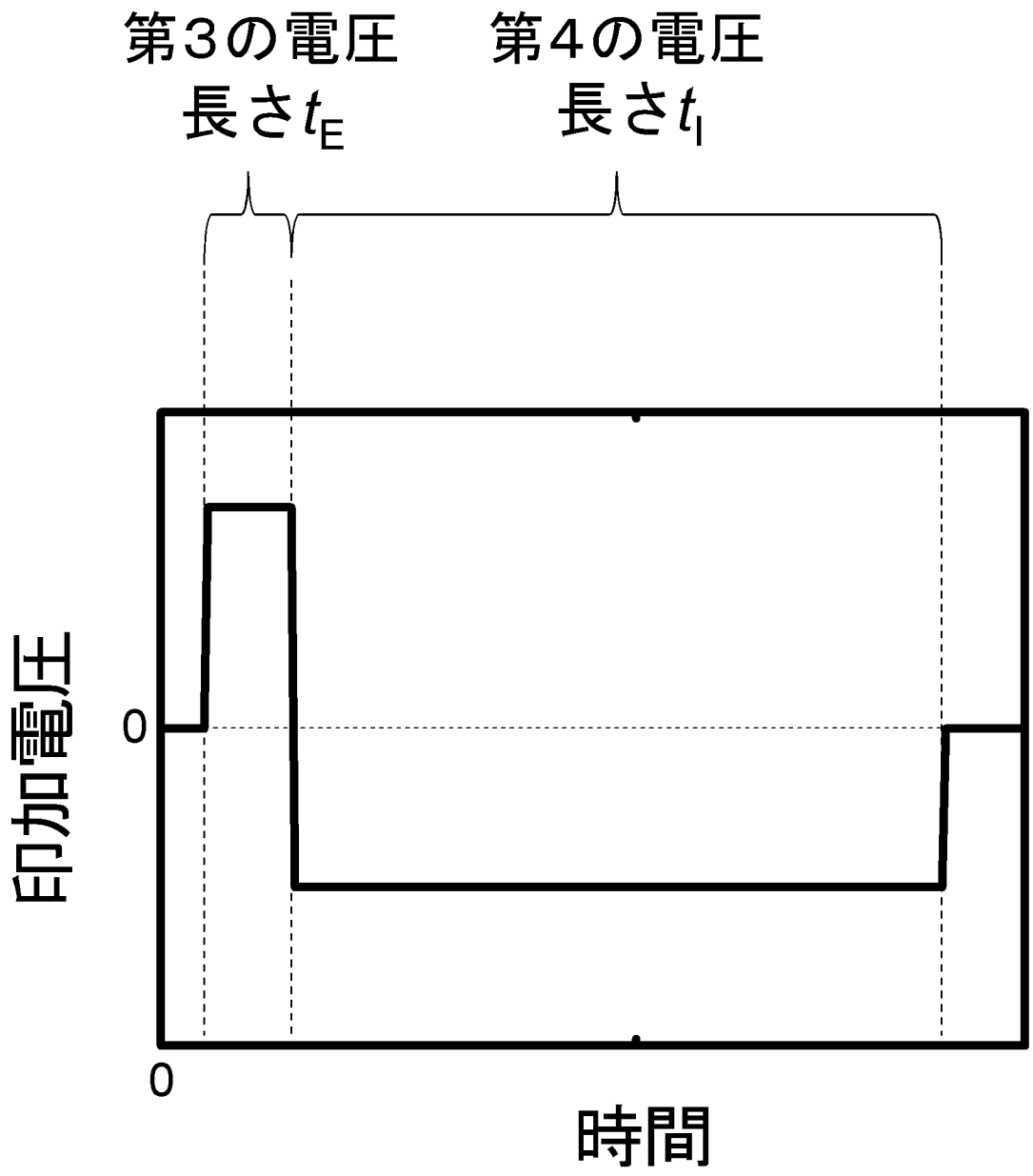
[図4]


磁化反転確率
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
t_I (ns)
t_E (ns)
0
0.25
0.5
0.75
1.0
1.25

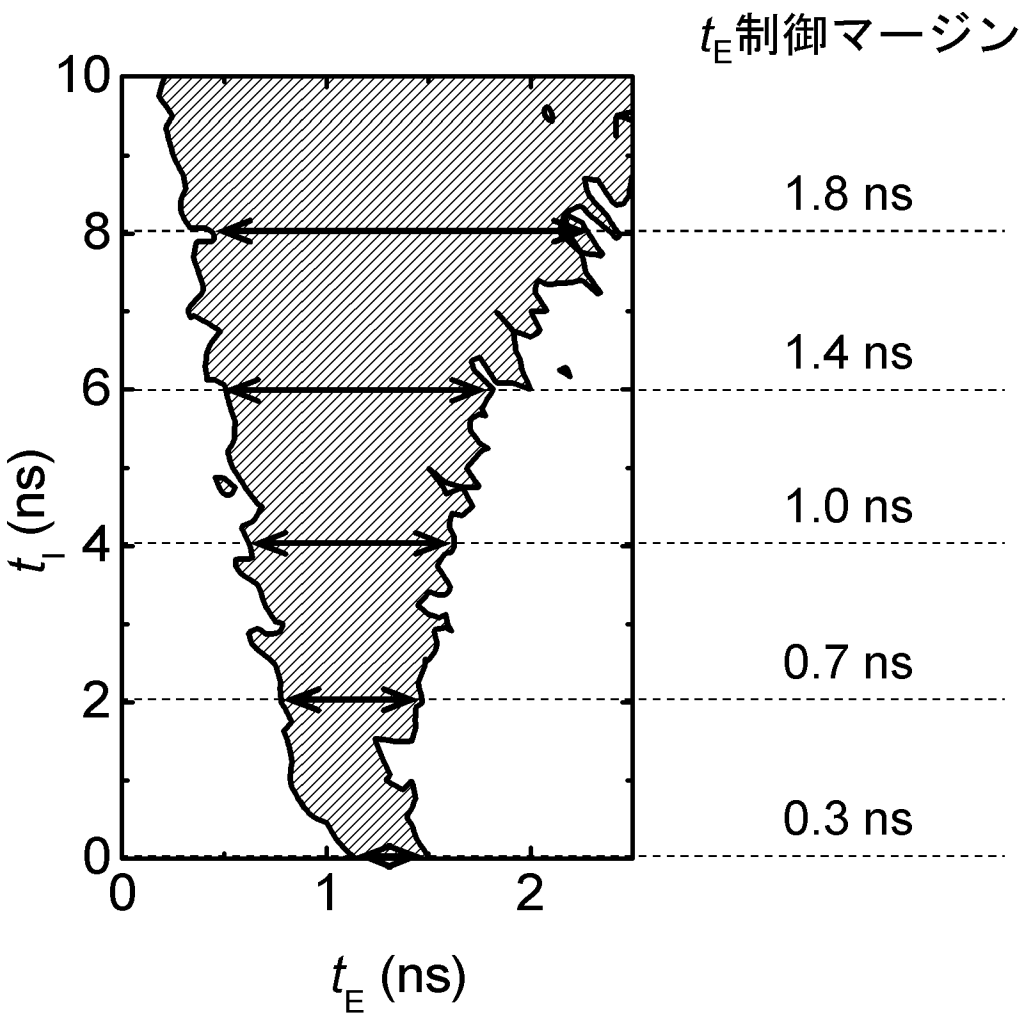
[図5]



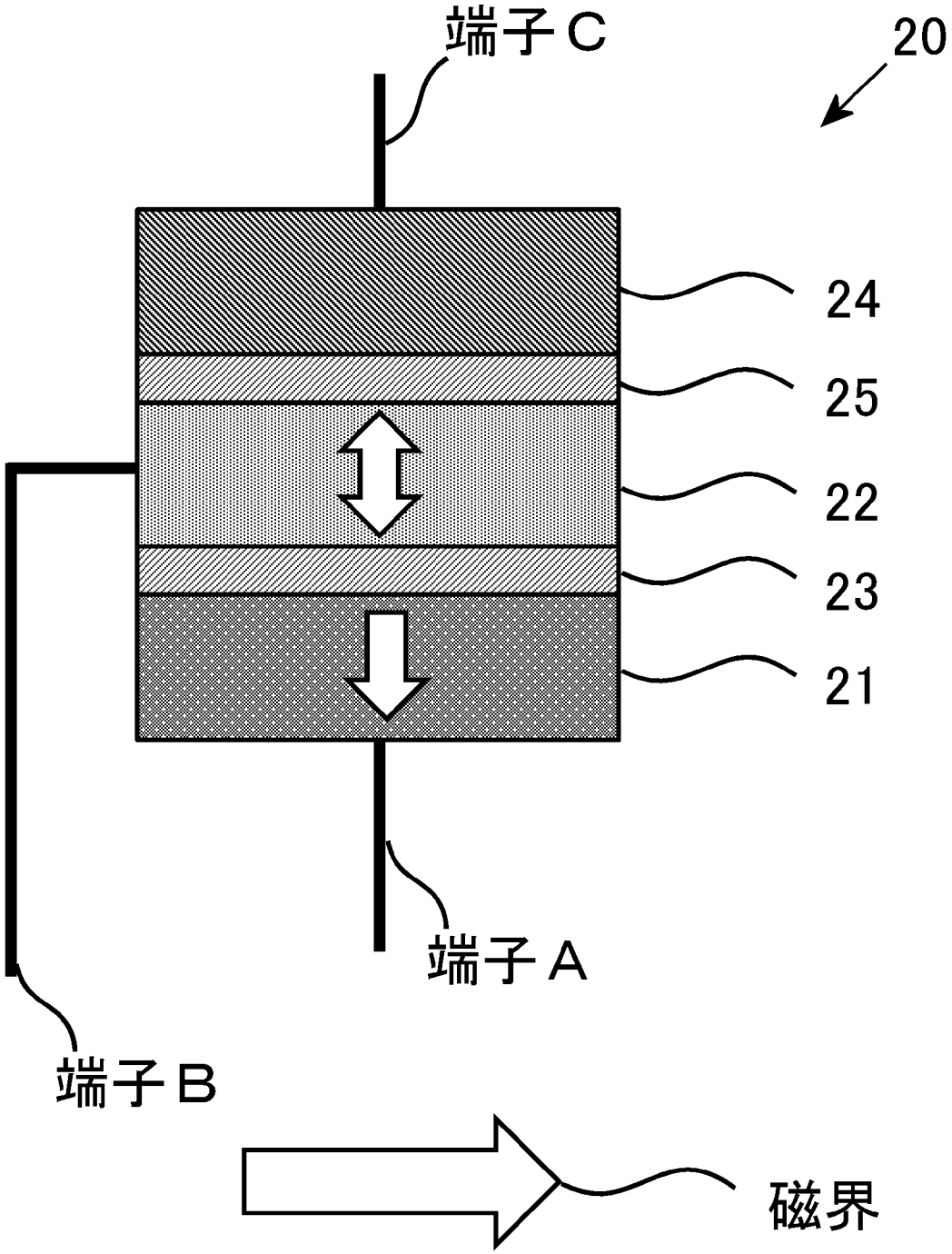
[図6]



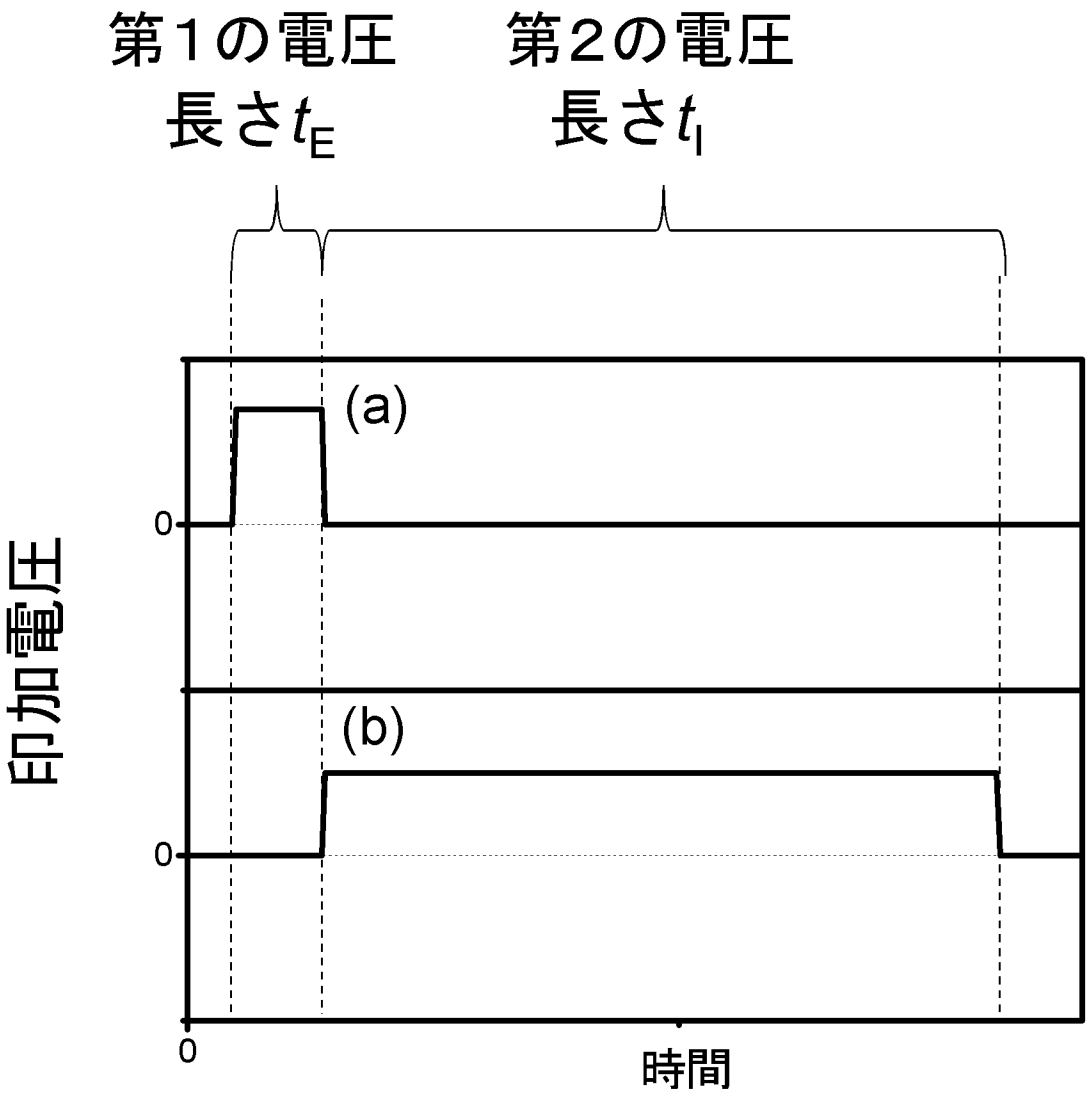
[図7]



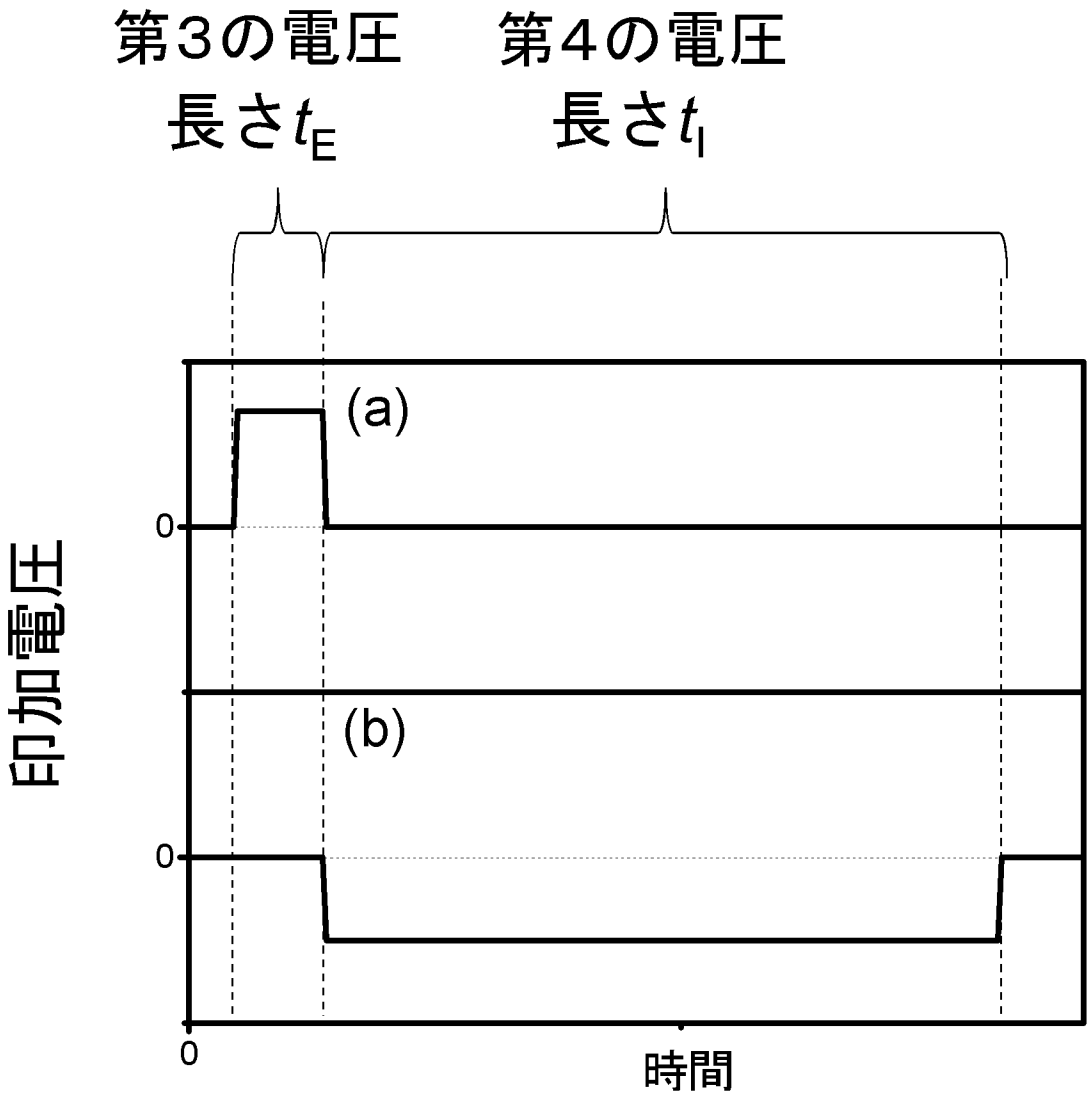
[図8]



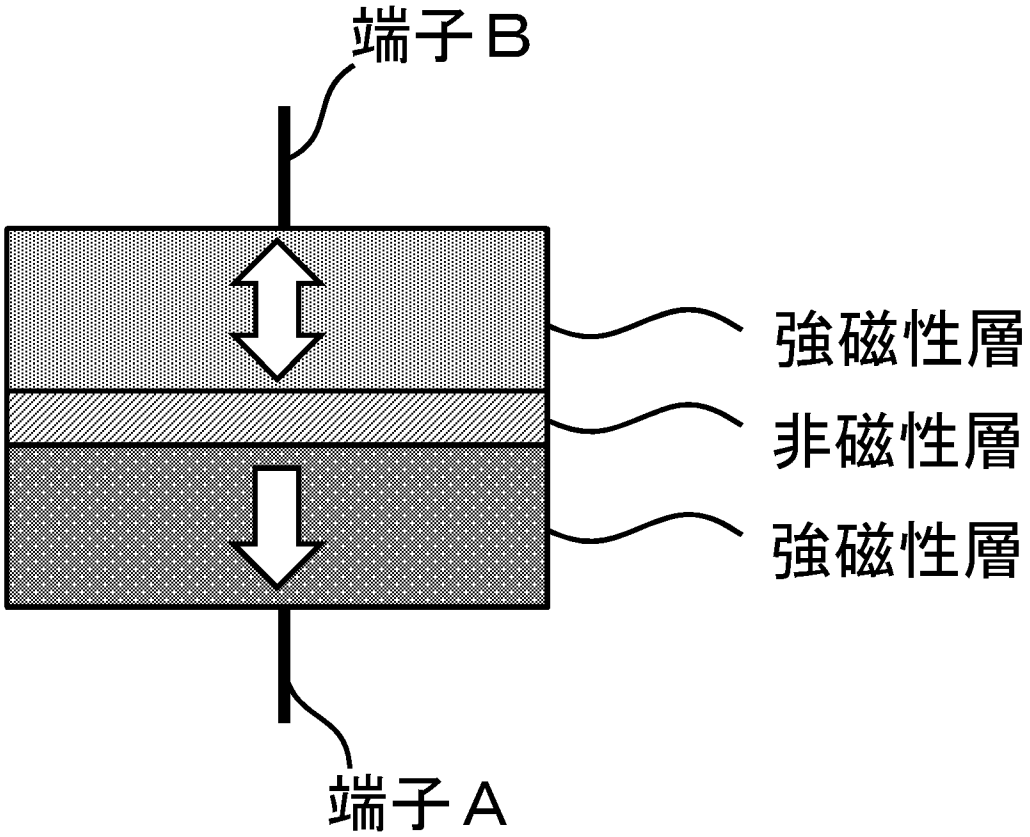
[図9]



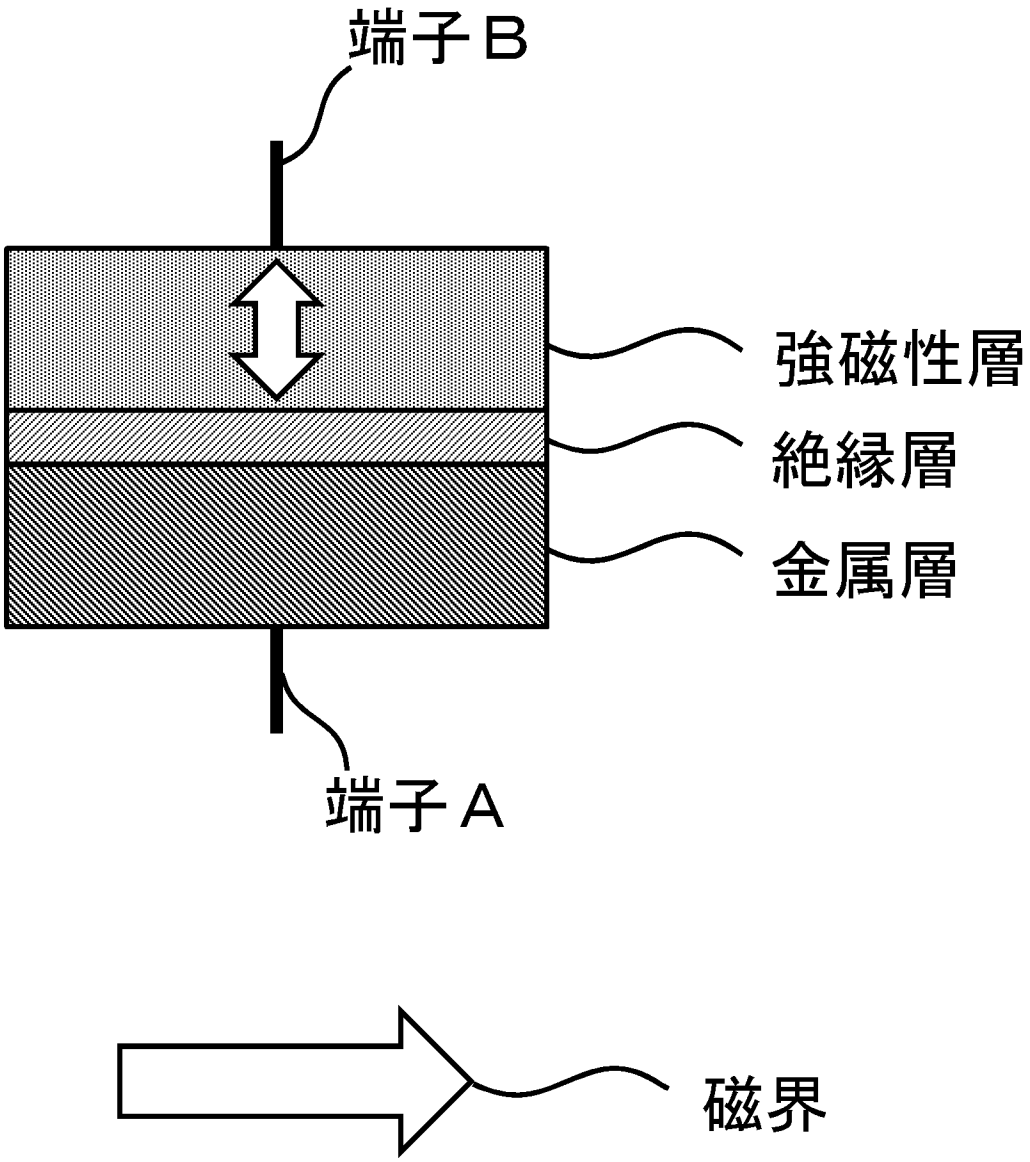
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/080008

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G11C11/15(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)
G11C11/15, G11C11/16

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 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

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 2007-123455 A (Renesas Technology Corp.), 17 May 2007 (17.05.2007), paragraphs [0012] to [0016], [0037] to [0040]; fig. 1 (Family: none)	13,14 1-12
A	WO 2009/128485 A1 (Sony Corp.), 22 October 2009 (22.10.2009), paragraphs [0060], [0061], [0080] to [0082]; fig. 4, 14 & JP 5299423 B & US 2011/0026322 A1 & CN 102007542 A	1-14

☒ 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	Date of mailing of the international search report
16 December 2014 (16.12.14)	22 December 2014 (22.12.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/080008

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-79986 A (Toshiba Corp.), 08 April 2010 (08.04.2010), paragraphs [0024], [0025], [0029], [0046] to [0049]; fig. 2, 5 (Family: none)	1-14

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０８０００８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G11C11/15(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.　G11C11/15, G11C11/16

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	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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 2007-123455 A (株式会社ルネサステクノロジ) 2007.05.17, 段落【００１２】－【００１６】,【００３７】－【００４０】、図１ (ファミリーなし)	13,14 1-12
A	WO 2009/128485 A1 (ソニー株式会社) 2009.10.22, 段落［００６０］,［００６１］,［００８０］－［００８２］、 図４，１４ & JP 5299423 B & US 2011/0026322 A1 & CN 102007542 A	1-14

☑　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	国際調査報告の発送日
１６．１２．２０１４	２２．１２．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　５Ｕ　４２２６
後藤　彰
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５６５

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 2010-79986 A（株式会社東芝）2010.04.08，段落【００２４】，【００２５】，【００２９】，【００４６】－【００４９】、図２，５（ファミリーなし）	1-14