

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6462425号
(P6462425)

(45) 発行日 平成31年1月30日(2019.1.30)

(24) 登録日 平成31年1月11日(2019.1.11)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 29/82 (2006.01) HO 1 L 29/82 Z
 HO 3 B 15/00 (2006.01) HO 3 B 15/00

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-42929 (P2015-42929)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成27年3月4日 (2015.3.4)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2016-162978 (P2016-162978A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成28年9月5日 (2016.9.5)	(74) 代理人	100108855
審査請求日	平成29年11月22日 (2017.11.22)		弁理士 蔵田 昌俊
		(74) 代理人	100103034
			弁理士 野河 信久
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100153051
			弁理士 河野 直樹
		(74) 代理人	100140176
			弁理士 砂川 克
		(74) 代理人	100179062
			弁理士 井上 正

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン照合器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁化の向きが可変な第1磁性層と、第1非磁性層と、を含み、入力データを格納可能な第1の磁化反転素子と、

磁化の向きが可変な第2磁性層と、第2非磁性層と、を含み、テンプレートデータを格納可能な第2の磁化反転素子と、

前記第1の磁化反転素子と前記第2の磁化反転素子との間に設けられたスピントルク発振素子と、

を備える単位セルと、

前記単位セルに接続され、前記スピントルク発振素子から発生した高周波信号を受信する回路部と、

前記高周波信号に基づいて、前記入力データと前記テンプレートデータとのマッチング度を測定する測定部と、

を具備するパターン照合器。

【請求項 2】

磁化の向きが可変な第1磁性層と、第1非磁性層と、を含み、第1のデータを格納可能な第1の磁化反転素子と、

磁化の向きが可変な第2磁性層と、第2非磁性層と、を含み、第2のデータを格納可能な第2の磁化反転素子と、

前記第1の磁化反転素子と前記第2の磁化反転素子との間に設けられたスピントルク

10

20

発振素子と、
を備える単位セルと、
前記単位セルに接続され、前記スピントルク発振素子から発生した高周波信号を受信する回路部と、
前記高周波信号に基づいて、前記第1のデータと前記第2のデータとの整合を検出する検出部と、
を具備するパターン照合器。

【請求項3】

前記単位セルが複数配置され、
 前記複数の単位セルは、
 第1方向に延在し、前記第1の磁化反転素子、前記第2の磁化反転素子、及び前記スピントルク発振素子に接続される第1電極線と、
 前記第1方向と異なる第2方向に延在し、前記第1の磁化反転素子に接続される第2電極線と、
 前記第2方向に延在し、前記スピントルク発振素子に接続される第3電極線と、
 前記第2方向に延在し、前記第2の磁化反転素子に接続される第4電極線と、
 をさらに備える、請求項1又は2に記載のパターン照合器。

10

【請求項4】

前記第1磁性層及び前記第2磁性層は、前記第1方向に面内磁気異方性を有する、請求項3に記載のパターン照合器。

20

【請求項5】

前記第1の磁化反転素子は、強磁性体を含む第1トップ層をさらに含み、前記第1非磁性層は、前記第1磁性層と前記第1トップ層との間に設けられ、
 前記第2の磁化反転素子は、強磁性体を含む第2トップ層をさらに含み、前記第2非磁性層は、前記第2磁性層と前記第2トップ層との間に設けられ、
 前記複数の単位セルに接続され、前記複数の単位セルの複数の第1の磁化反転素子及び複数の第2の磁化反転素子から選択される磁化反転素子に電流を供給する電流供給部をさらに具備する、請求項1乃至4のいずれか一項に記載のパターン照合器。

【請求項6】

前記第1非磁性層は、絶縁体を含み、
 前記第2非磁性層は、絶縁体を含み、
 前記第2電極線は、前記第1の磁化反転素子の前記第1磁性層側の面に接続され、
 前記第4電極線は、前記第2の磁化反転素子の前記第2磁性層側の面に接続され、
 前記第2電極線及び前記第4電極線に接続され、前記複数の単位セルの複数の第1の磁化反転素子及び複数の第2の磁化反転素子から選択される磁化反転素子に電流を供給する電流供給部をさらに具備する、請求項3又は4に記載のパターン照合器。

30

【請求項7】

前記複数の単位セルはマトリックス状に配置される、請求項3乃至6のいずれか一項に記載のパターン照合器。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、スピントルク発振素子を用いたパターン照合器に関する。

【背景技術】

【0002】

過去40年、Si系CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)の高集積化により半導体業界は発展してきた。しかしながら、微細化技術の経済的、工学的限界のために、CMOS高集積化をそのまま進めることは困難になりつつあると考えられている。そこで、トランジスタの概念にとらわれない新規デバイスを生み出そうとする“Beyond CMOS”というコンセプトが次世代デバイス開発コンセプトの1つとして打ち

50

出されている。

【 0 0 0 3 】

そうした方向性の中で近年、oscillator(振動子、発振器)を用いてデータ(例えば、画像データ、音声データ、テキストデータなど)のパターンマッチングを行なうハードウェアを構築する試みがなされている。発振器を並列に動作させてテンプレートデータと入力データとのマッチングを照合することで、従来のソフトウェアによるパターンマッチング実装よりも高速、低消費電力でパターンマッチングを実施できると期待されている。

【 0 0 0 4 】

非特許文献1～3には、発振器としてスピントルク発振素子(Spin-Torque Oscillator; STO)(Spin-Torque Nano-Oscillator; STNOとも称される)を用いたパターン照合器に関する技術が開示されている。STOは、サイズが数十ナノメートル程度の微小な発振器であり、高集積化可能である。開示されているパターン照合器は、複数のSTOを並列に電氣的に接続し、それら複数のSTOが同時に発振可能なデバイス構造を有する。デバイスからの出力は、STOそれぞれからの出力を、平均化器(averager)を通じて合算した平均化出力である。デバイスへの入力は、入力データ(入力ベクトル)とテンプレートデータ(テンプレートベクトル)の差異であり、それによってSTOの発振周波数を変調させる。入力データとテンプレートデータの差異が小さいほど、より多数のSTOの発振周波数が互いに同一となり、並列動作させた際に、より多数のSTOが同期振動を示す。同期の程度(Degree of synchronization)によって、マッチング度(Degree of matching)を測定する。完全同期(full synchronization)は、入力データとテンプレートデータの2つのパターンが完全に一致していることを表す。

【 0 0 0 5 】

STOは、電流値又は外部磁場によって周波数を変調することが知られている(周波数非線形性)。開示されているパターン照合器においては、電流によるSTOの発振周波数変調性が利用されている。入力データ及びテンプレートデータを共にSTOに与える電圧値に割り当て、各STOに通電する電流値を制御することによってSTOの発振周波数を変調する。パターンマッチングの際には毎回、入力データ及びテンプレートデータを共に電圧値に割り当ててSTOに入力する動作が必要であり、入力データ及びテンプレートデータが共に揮発性の一時的なデータとして扱われる。ところで、テンプレートデータは、所定のデータベースに格納されているデータを基にする。そのため、データベースに不揮発に存在しているデータをそのままテンプレートデータとして利用することができれば効率的である。不揮発なデータをそのまま利用できれば、特に、高速性、低消費電力化の観点から有意である。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【非特許文献1】 Mehdi Kabir & Mircea Stan, "Computing with Hybrid CMOS /STO Circuits", Proceeding DAC '14 Proceedings of the The 51st Annual Design Automation Conference on Design Automation Conference, Pages 1-6.

【非特許文献2】 Csaba, G. & Porod, W., "Computational Study of Spin-Torque Oscillator Interactions for Non-Boolean Computing Applications", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, No. 7, July 2013.

【非特許文献3】 Tadashi Shibata, Renyuan Zhang, Steven P. Levitany, Dmitri Nikonovz and George Bourianoffz, "CMOS Supporting Circuitries for Nano-Oscillator-Based Associative Memories", Cellular Nanoscale Networks and Their Applications (CNNA), 2012 13th International Workshop on, Date of Conference: 29-31 Aug. 2012 Page(s):1 - 5.

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

本発明が解決しようとする課題は、テンプレートデータを不揮発に格納することができるパターン照合器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

一実施形態に係るパターン照合器は、複数の単位セル、回路部、及び測定部を備える。単位セルは、磁化の向きが可変である第1磁性層と、第1非磁性層と、を含み、入力データを格納するために使用される第1の磁化反転素子と、磁化の向きが可変である第2磁性層と、第2非磁性層と、を含み、テンプレートデータを格納するために使用される第2の磁化反転素子と、前記第1の磁化反転素子と前記第2の磁化反転素子との間に設けられたスピントルク発振素子と、を備える。回路部は、前記複数の単位セルに接続され、前記複数の単位セルの複数のスピントルク発振素子から選択されるスピントルク発振素子に電流を流すことにより発生する高周波信号を取得する。測定部は、前記高周波信号に基づいて、前記入力データと前記テンプレートデータとのマッチング度を測定する。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図1】第1の実施形態に係るパターン照合器を示す図。

【図2】図1に示した単位セルの1つを示す斜視図。

【図3】図2に示した磁化反転層の形状の一例を示す図。

【図4】図2に示した磁化反転層の形状の他の例を示す図。

20

【図5】実施形態に係るスピントルク発振素子の発振周波数の変調原理を説明する図。

【図6】第2の実施形態に係るパターン照合器を示す図。

【図7】図6に示した単位セルの1つを示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、図面を参照しながら種々の実施形態を説明する。実施形態は、スピントルク発振素子(STO)を用いて、テンプレートデータ(テンプレートベクトル)に対する入力データ(入力ベクトル)の類似性を評価するパターン照合器に関する。以下の実施形態では、同様の構成要素に同様の参照符号を付して、重ねての説明を省略する。

【 0 0 1 1 】

30

(第1の実施形態)

図1は、第1の実施形態に係るパターン照合器100を概略的に示している。パターン照合器100は、図1に示されるように、複数の単位セル(基本ブロックともいう)101と、回路部102と、測定部103と、電流発生部104と、を備える。図1に示される例では、8個の単位セル101が4行2列のマトリクス状に配置されている。図2を参照すると、図1に示される単位セル101の1つが概略的に示されている。他の単位セル101は、図2に示される単位セル101と同様の構成を有することができる。

【 0 0 1 2 】

図2に示される単位セル101は、第1の磁化反転素子111と、STO112と、第2の磁化反転素子113と、ロウ方向に延在するロウ電極線114、115と、ロウ方向と交差するカラム方向に延在するカラム電極線116、117、118と、を含む。第1の磁化反転素子111、STO112、及び第2の磁化反転素子113は、ロウ方向に配列されている。STO112は、第1の磁化反転素子111と第2の磁化反転素子113との間に設けられている。

40

【 0 0 1 3 】

STO112の一端はロウ電極線114に接続され、その他端はカラム電極線117に接続されている。第1の磁化反転素子111の一端はロウ電極線114に接続され、その他端はカラム電極線116に接続されている。カラム電極線116には、第1の磁化反転素子111を選択するためのトランジスタ119が設けられている。具体的には、第1の磁化反転素子111がトランジスタ119のドレイン(又はソース)に接続され、ロウ電

50

極線 115 がトランジスタ 119 のソース（又はドレイン）に接続され、カラム電極線 116 がトランジスタ 119 のゲートに接続されている。トランジスタ 119 の ON/OFF はカラム電極線 116 によって制御される。第 2 の磁化反転素子 113 の一端はロウ電極線 114 に接続され、その他端はカラム電極線 118 に接続されている。カラム電極線 118 には、第 2 の磁化反転素子 113 を選択するためのトランジスタ 120 が設けられている。具体的には、第 2 の磁化反転素子 113 がトランジスタ 120 のドレイン（又はソース）に接続され、ロウ電極線 115 がトランジスタ 120 のソース（又はドレイン）に接続され、カラム電極線 118 がトランジスタ 120 のゲートに接続されている。トランジスタ 120 の ON/OFF はカラム電極線 118 によって制御される。

【0014】

STO112 は、磁化発振層 206 と、磁性層 208 と、磁化発振層 206 と磁性層 208 との間に設けられたスペーサ層 207 と、を含む。STO112 は、ロウ電極線 114 及びカラム電極線 117 を介して通電される。STO112 に直流電流を流すと、磁化発振層 206 の磁化が電流値に応じた周波数で歳差運動する。具体的には、電流が磁性層 208 の磁化によってスピン偏極され、スピン偏極した電流が磁化発振層 206 の磁化 209 に作用し、それにより、磁化発振層 206 の磁化 209 の歳差運動が誘起される。この現象は、スピン注入磁化発振と呼ばれる現象である。磁化 209 の歳差運動に伴って素子抵抗が時々刻々と変化し、STO112 の両端に高周波電圧が発生する。

【0015】

第 1 の磁化反転素子 111 は、入力データ（入力ベクトル）を格納するために使用される。第 1 の磁化反転素子 111 は、入力データの 1 ビットを格納することができる。第 1 の磁化反転素子 111 は、磁化反転層 201A と、トップ層 203A と、磁化反転層 201A とトップ層 203A との間に設けられた非磁性層 202A と、を含む。

【0016】

磁化反転層 201A は面内磁化膜である。第 1 の磁化反転素子 111、STO112、及び第 2 の磁化反転素子 113 がロウ方向に配列される本実施形態では、磁化反転層 201A はロウ方向に面内磁気異方性を有する。以下では、ロウ方向において第 1 の磁化反転素子 111 から第 2 の磁化反転素子 113 へ向かう方向を右方向と呼び、これと逆の方向を左方向と呼ぶ。磁化反転層 201A の磁化 204A は、左方向及び右方向のいずれかを向く。磁化反転層 201A は、磁化 204A の向きによって表される 2 値のデータを保持することができる。例えば、左方向を情報“0”に対応させ、右方向を情報“1”に対応させる。

【0017】

トップ層 203A は、強磁性体で形成される。トップ層 203A の磁化 205A は、面内において所定の向きにピンされている、いわゆるピンド磁化であることが望ましい。図 2 に示される例では、トップ層 203A の磁化 205A は左方向にピンされている。トップ層 203A が強磁性体で形成されるため、第 1 の磁化反転素子 111 は、いわゆるスピン注入 MRAM（Spin-torque transfer Magnetoresistive Random Access Memory）セルに類似の構造を有する。

【0018】

上述した構造を有する第 1 の磁化反転素子 111 では、第 1 の磁化反転素子 111 に書き込み電流を流すことにより磁化反転層 201A の磁化 204A を反転させることができる。第 1 の磁化反転素子 111 に書き込み電流を流すと、スピン偏極した電子がトップ層 203A から磁化反転層 201A に注入され、磁化反転層 201A の磁化 204A にスピントルクが作用し、それにより磁化反転層 201A の磁化 204A が反転する。磁化反転層 201A の磁化 203A がトップ層 203A の磁化 205A と逆の方向を向いている場合、磁化反転層 201A からトップ層 203A に向かう方向に書き込み電流を流すことで、磁化反転層 201A の磁化 204A を反転することができる。これとは逆に、磁化反転層 201A の磁化 203A がトップ層 203A の磁化 205A と同じ方向を向いている場合、トップ層 203A から磁化反転層 201A に向かう方向に書き込み電流を流すことで

10

20

30

40

50

、磁化反転層 201A の磁化 203A を反転することができる。

【0019】

第2の磁化反転素子 113 は、テンプレートデータ（テンプレートベクトル）を格納するために使用される。第2の磁化反転素子 113 は、テンプレートデータの1ビットを格納することができる。第2の磁化反転素子 113 は、第1の磁化反転素子 111 と同様の構造を有することができる。第2の磁化反転素子 113 は、磁化反転層 201B と、トップ層 203B と、磁化反転層 201B とトップ層 203B との間に設けられた非磁性層 202B と、を含む。磁化反転層 201B、非磁性層 202B 及びトップ層 203B はそれぞれ、上述した磁化反転層 201A、非磁性層 202A 及びトップ層 203A と同様であるので、重複する説明を省略する。

10

【0020】

磁化反転層 201A、201B は、ロウ方向に面内磁気異方性を有する。面内磁気異方性は、例えば、磁化反転層 201A、201B の形状を調整して与えることができる。図3及び図4は、単位セル 101 を上方から見た場合の磁化反転層 201A、201B の形状の例を示している。磁化反転層 201A、201B は、図3に示されるように、長軸がロウ方向に平行である楕円形状に加工され、或いは、図4に示されるように、長辺がロウ方向に平行である長方形に加工される。これにより、ロウ方向の面内磁気異方性が磁化反転層 201A、201B に付与されている。

【0021】

スピン注入 MRAM セルでは、通常、非磁性層は、素子の磁気抵抗効果比が大きくなるような材料（例えば、絶縁体である MgO など）が用いられる。本実施形態の非磁性層 202A、202B の材料は、スピン注入磁化反転現象が生じるようなものであればいかなる材料であってもよい。例えば、非磁性層 202A、202B の材料として、Cu（銅）などの金属材料を用いることができる。磁化反転素子のセル構成をどのようにするのがよいかというのは、MRAM 及びその類似技術に関わる技術者の多くがおよそ見当のつくところである。

20

【0022】

上述したように、本実施形態に係るパターン照合器 100 においては、第1の磁化反転素子 111 及び第2の磁化反転素子 113 が Spin-RAM と呼ばれるスピン注入 MRAM におけるセルに類似の構造を有する。MRAM セルは不揮発である。従って、本実施形態に係るパターン照合器 100 においては、テンプレートデータが不揮発に格納される。

30

【0023】

図1に示されるように単位セル 101 がマトリクス状に配置される場合、ロウ方向に並ぶ単位セル 101 はロウ電極線 114、115 を共用し、カラム方向に並ぶ単位セル 101 はカラム電極線 116、117、118 を共用することができる。図1の例では、4つのロウ電極線 114 が設けられ、各ロウ電極線 114 に2つの単位セル 101 が接続されている。これらのロウ電極線 114 は、回路部 102 に接続されている。カラム電極線 116、117、118 は2つずつ設けられ、各カラム電極線 116 に4つの第1の磁化反転素子 111 が接続され、各カラム電極線 117 に4つの STO112 が接続され、各カラム電極線 118 に4つの第2の磁化反転素子 113 が接続されている。カラム電極線 117 には、STO112 を動作させるカラム電極線 117 を選択するためのトランジスタ 121 が設けられている。電流発生部 104 は、ロウ電極線 114 及びロウ電極線 115 に接続され、磁化反転素子（第1の磁化反転素子 111 又は第2の磁化反転素子 113）に書き込み電流を流すための4つの双極書き込みパルス発生器 105 を含む。

40

【0024】

回路部 102 は、複数の STO112 に通電し、それにより発生する高周波電圧 V_{ω} を取得する。回路部 102 には、直流電流 I_{dc} を供給する直流電流源 106 が接続されている。回路部 102 は、STO112 を動作させるロウ電極線 114 を選択するためのトランジスタ 107 を備える。

50

【 0 0 2 5 】

動作させる複数のSTO112はトランジスタ107、121を用いて選択される。回路部102は、選択された複数のSTO112に直流電流を通電する。通電された複数のSTO112は、これらのSTO112が並列接続した並列回路を形成し、同時に発振する。入力データとテンプレートデータの差異が小さいほど、より多数のSTO112の発振周波数が互い同一になり、すなわち、より多数のSTO112が同期振動を示す。回路部102によって取得される高周波電圧 V_{out} は、通電されたSTO112から出力される高周波電圧が合算された平均化出力である。高周波電圧 V_{out} は、回路部102内のバイアスティ108によって取り出され、高周波信号として測定部103に与えられる。高周波電圧 V_{out} に含まれる同期の程度(Degree of synchronization)は、回路部102に接続された測定部103によって測定される。同期の程度は、入力データとテンプレートデータのマッチング度に対応する。

10

【 0 0 2 6 】

各STO112の発振周波数は、それに隣接する第1の磁化反転素子111及び第2の磁化反転素子113からの漏れ磁場によって変調される。漏れ磁場の大きさは、第1の磁化反転素子111の磁化反転層201Aの磁化204Aの向きと、第2の磁化反転素子113の磁化反転層201Bの磁化204Bの向きと、に依存する。図5を参照して、STO112の発振周波数の変調原理を説明する。図5には、磁化反転層201Aの磁化204Aの向きと磁化反転層201Bの磁化204Bの向きの組み合わせが(左, 左)、(左, 右)、(右, 左)、(右, 右)の4つの場合が示されている。

20

【 0 0 2 7 】

(左, 左)及び(右, 右)は、入力ベクトルビットの磁化方向とテンプレートベクトルビットの磁化方向が一致する場合を表し、(左, 右)及び(右, 左)は、入力ベクトルビットの磁化方向とテンプレートベクトルビットの磁化方向が異なる(すなわち不一致である)場合を表す。STO112の磁化発振層206には、隣接した第1の磁化反転素子111の磁化反転層201Aからの漏れ磁場と、隣接した第2の磁化反転素子113の磁化反転層201Bからの漏れ磁場と、が作用する。(左, 左)又は(右, 右)の場合には、2つの漏れ磁場が重ね合わさり、左方向又は右方向の磁場が磁化発振層206に作用する。(左, 右)又は(右, 左)の場合には、2つの漏れ磁場が一部或いは完全にキャンセルし、(左, 左)又は(右, 右)の場合よりも小さい磁場が磁化発振層206に作用する。STO112の発振周波数は、外部磁場の大きさに依存する。もともとSTO112に外部磁場が作用していない場合には、STO112の発振周波数は、(左, 左)又は(右, 右)の場合に f_c となり、(左, 右)又は(右, 左)の場合に f_d となり、入力ベクトルビットとテンプレートベクトルビットとの差異に応じた重ね合わせ漏れ磁場の大きさによって、STO112の発振周波数が定まる。もともとある大きさの外部磁場(これは例えば、磁性層208からの漏れ磁場)が作用していて、ベクトルビットからの漏れ磁場なしの下でSTO112が発振周波数 f_0 で発振する(つまり、STO112の自由発振周波数が f_0)場合には、STO112の発振周波数は、(左, 左)の場合に $f_0 - f_c$ となり、(右, 右)の場合に $f_0 + f_c$ となり、(左, 右)の場合に $f_0 - f_d$ となり、(右, 左)の場合に $f_0 + f_d$ となる。 f_c 、 f_d は、入力ベクトルビットとテンプレートベクトルビットとの差異に応じた重ね合わせ漏れ磁場に伴うSTO112の発振周波数の変調量である。このように、入力ベクトルビットとテンプレートベクトルビットとの差異に応じた重ね合わせ漏れ磁場の大きさによって、STO112の発振周波数が定まる。なお、上で、ベクトルビットの磁化方向に対して一致、不一致という用語を用いたが、それは必ずしもデータの一致、不一致を意味しない。ベクトルビットの方向でデータをどのように表すのかはコーディングルールに依存するからである。

30

40

【 0 0 2 8 】

入力データとテンプレートデータとが完全に一致する場合(すなわち、完全パターンマッチ)、すべてのSTO112の発振環境が同一となり、すべてのSTO112が同一の周波数で発振する同期振動を示す。STO112が完全同期を示しているか部分同期を示

50

しているかなどを判別する方法としては、既に知っているいくつかの入力データとテンプレートデータの組それぞれについて高周波信号を取得し、それらの高周波信号の特徴を特定しておく方法がある。例えば、完全同期した場合には、所定の周波数を持った、極めてコヒーレンスの高い信号 V_{out} が得られる場合があり得る。信号 V_{out} がそのような特徴を持っている場合には、測定部 103 の回路に、その所定の周波数の信号を選択的に透過するバンドパスフィルターを組み込んでおいて、完全同期の有無を判別することができる。

【0029】

パターン照合器 100 の構造は、STO112 に係る部分を見れば、Spin-RAM と呼ばれるスピン注入 MRAM の基本構造に類似している。磁化 204A、204B 10
になされる書き込み動作は、トランジスタ 107、121 の ON で磁化反転素子を選択すると同時に、双極書き込みパルス発生器 105 を動作させるという形態が採用される。これは、スピン注入 MRAM でなされる書き込み動作と同一である。スピン注入 MRAM と異なるのは、読み出し動作（パターン照合）である。上述したように、本実施形態では、STO112 を用いて、磁化 204A、204B に書き込まれている入力データのビットとテンプレートデータのビットとの差異を比較する。それも、スピン注入 MRAM と異なり、多数のセルを一度に参照し、入力データとテンプレートデータの差異を比較する。

【0030】

次に、パターン照合器の動作例について説明する。

まず、テンプレートデータが第 2 の磁化反転素子 113 に格納される。例えば、パターン照合器 100 を画像認識に利用する場合、照合したい画像（例えば 1 万枚の画像）のデータが第 2 の磁化反転素子 113 に格納される。その際、画像データは所定のデータ配列ルールに従って格納されることが望ましい。例えば、画像データを 320×240 ピクセルデータに規格化し、画像の左上の画素から順に第 2 の磁化反転素子 113 に格納する。 20

【0031】

テンプレートデータの書き込みは次のようになされる。書き込みを行なう第 2 の磁化反転素子 113 を選択するために、トランジスタ 120 が ON にされる。その状態で双極書き込みパルス発生器 105 を動作させることにより、選択された第 2 の磁化反転素子 113 に対してスピン注入磁化反転がなされる。磁化の向き（左方向又は右方向）は、双極書き込みパルス発生器 105 の極性で決まる。 30

【0032】

続いて、入力データを読み込み、第 1 の磁化反転素子 111 に格納する。この処理を入力データのロードと呼ぶ。その際、入力データは、テンプレートデータが従うデータ配列ルールと同一のルールに従っている必要がある。また、ターゲットとするテンプレートデータの先頭アドレスに合わせて読み込み格納する必要がある。

【0033】

入力データの書き込みは次のようになされる。書き込みを行なう第 1 の磁化反転素子 111 を選択するために、トランジスタ 119 が ON にされる。その状態で双極書き込みパルス発生器 105 を動作させる。その状態で双極書き込み電流発生器 105 を動作させることにより、選択された第 2 の磁化反転素子 113 に対してスピン注入磁化反転がなされる。磁化の向き（左方向又は右方向）は、双極書き込みパルス発生器 105 の極性で決まる。 40

【0034】

次に、トランジスタ 107、121 によって選択された複数の STO112 を動作させ、測定部 103 を用いて、データのマッチングを判別する。この処理をマッチング判別と呼ぶ。具体的には、選択された複数の STO112 に直流電流が流され、測定部 103 がそれにより発生した高周波信号 V_{out} に基づいて入力データとテンプレートデータとのマッチング度を測定する。

【0035】

基本的な動作としては、照合したい画像（例えば 1 万枚の画像）それぞれに対して、入 50

カデータのロード及びマッチング判別を繰り返し実行する。

【 0 0 3 6 】

以上のように、本実施形態に係るパターン照合器 1 0 0 においては、入力データが第 1 の磁化反転素子 1 1 1 の磁化反転層 2 0 1 A に保持され、テンプレートデータが第 2 の磁化反転素子 1 1 3 の磁化反転層 2 0 1 B に保持され、磁化反転層 2 0 1 A、2 0 1 B からの漏れ磁場の大きさで S T O 1 1 2 の発振周波数が制御される。磁性体の磁化の向きは不揮発であり、従って、テンプレートベクトルが不揮発に格納される。

【 0 0 3 7 】

(第 2 の実施形態)

図 6 は、第 2 の実施形態に係るパターン照合器 6 0 0 を概略的に示している。パターン照合器 6 0 0 は、図 6 に示されるように、複数の単位セル 6 0 1 と、回路部 1 0 2 と、測定部 1 0 3 と、電流発生部 6 0 4 と、電圧源 6 0 6 と、を備える。回路部 1 0 2 及び測定部 1 0 3 については、第 1 の実施形態で説明したので、ここでは説明を省略する。図 6 の例では、6 つの単位セル 6 0 1 が 3 行 2 列のマトリックス状に配置されている。図 7 を参照すると、図 6 に示される単位セル 6 0 1 の 1 つが概略的に示されている。他の単位セル 6 0 1 は、図 7 に示される単位セル 6 0 1 と同様の構成を有することができる。

【 0 0 3 8 】

図 7 に示される単位セル 6 0 1 は、第 1 の磁化反転素子 6 1 1 と、S T O 1 1 2 と、第 2 の磁化反転素子 6 1 3 と、ロウ方向に延在するロウ電極線 1 1 4 と、ロウ方向と交差するカラム方向に延在するカラム電極線 6 1 6、1 1 7、6 1 8 と、を含む。第 1 の磁化反転素子 6 1 1、S T O 1 1 2、及び第 2 の磁化反転素子 6 1 3 は、ロウ方向に配列されている。S T O 1 1 2 は、第 1 の磁化反転素子 6 1 1 と第 2 の磁化反転素子 6 1 3 との間に設けられている。S T O 1 1 2 については、第 1 の実施形態で説明したので、ここでは説明を省略する。

【 0 0 3 9 】

S T O 1 1 2 の一端はロウ電極線 1 1 4 に接続され、その他端はカラム電極線 1 1 7 に接続されている。第 1 の磁化反転素子 6 1 1 の一端はロウ電極線 1 1 4 に接続され、その他端はカラム電極線 6 1 6 に接続されている。第 2 の磁化反転素子 6 1 3 の一端はロウ電極線 1 1 4 に接続され、その他端はカラム電極線 6 1 8 に接続されている。

【 0 0 4 0 】

第 1 の磁化反転素子 6 1 1 は、入力データを格納するために使用される。第 1 の磁化反転素子 6 1 1 は、磁化 7 0 4 A の方向が可変である磁化反転層 7 0 1 A と、磁化反転層 7 0 1 A に積層され、絶縁体で形成される非磁性層 7 0 2 A と、を含む。磁化反転層 7 0 1 A は、第 1 の実施形態において説明した磁化反転層 2 0 1 A (図 2) と同様であるので、ここでの説明は適宜省略する。第 1 の磁化反転素子 6 1 1 の磁化反転層 7 0 1 A 側の面はカラム電極線 6 1 6 に接触している。

【 0 0 4 1 】

第 2 の磁化反転素子 6 1 3 は、テンプレートデータを格納するために使用される。第 2 の磁化反転素子 6 1 3 は、磁化 7 0 4 B の方向が可変である磁化反転層 7 0 1 B と、磁化反転層 7 0 1 B に積層され、絶縁体で形成される非磁性層 7 0 2 B と、を含む。磁化反転層 7 0 1 B は、第 1 の実施形態において説明した磁化反転層 2 0 1 A (図 2) と同様であるので、ここでの説明は適宜省略する。第 2 の磁化反転素子 6 1 3 の磁化反転層 7 0 1 B 側の面はカラム電極線 6 1 8 に接触している。

【 0 0 4 2 】

図 6 に示されるように単位セル 6 0 1 がマトリックス状に配置される場合、ロウ方向に並ぶ単位セル 6 0 1 はロウ電極線 1 1 4 を共用し、カラム方向に並ぶ単位セル 6 0 1 はカラム電極線 6 1 6、1 1 7、6 1 8 を共用することができる。図 6 の例では、3 つのロウ電極線 1 1 4 が設けられ、各ロウ電極線 1 1 4 に 2 つの単位セル 6 0 1 が接続されている。これらのロウ電極線 1 1 4 は、回路部 1 0 2 に接続され、さらに、トランジスタ 6 0 7 を介して電圧源 6 0 6 に接続されている。各電圧源 6 0 6 は、対応するロウ電極線 1 1 4

10

20

30

40

50

に接続される単位セル601中の第1の磁化反転素子611の磁化704A及び第2の磁化反転素子613の磁化704Bに電界効果を及ぼすために電圧 V_E を発生する。

【0043】

カラム電極線616、117、618は2つずつ設けられ、各カラム電極線616に3つの第1の磁化反転素子611が接続され、各カラム電極線117に3つのSTO112が接続され、各カラム電極線618に3つの第2の磁化反転素子613が接続されている。カラム電極線616の一端は、書き込み電流を発生する双極書き込み電流発生器605に接続され、その他端は、トランジスタ622を介して接地される。カラム電極線618の一端は、書き込み電流を発生する双極書き込み電流発生器605に接続され、カラム電極線618の他端は、トランジスタ623を介して接地される。電流発生部604は、これら

10

【0044】

本実施形態では、第1の磁化反転素子611に対する入力データの書き込み及び第2の磁化反転素子613に対するテンプレートデータの書き込みは、スピンホール効果及び電界効果の重ね合わせでなされる。パターン照合器600は、STO112に係る構造部を無視すれば、スピンホールメモリと呼ばれることもあるスピン注入MRAMの一種に類似の構造を有する。

【0045】

入力データの書き込みは次のようになされる。書き込みを行なう第1の磁化反転素子611を選択するために、カラム電極線616の選択(トランジスタ622の動作)及びロウ電極線114の選択(トランジスタ607の動作)を行なう。その状態で双極書き込み電流発生器605を動作させる。同様に、テンプレートデータの書き込みは次のようになされる。書き込みを行なう第2の磁化反転素子613を選択するために、カラム電極線618の選択(トランジスタ623の動作)及びロウ電極線114の選択(トランジスタ607の動作)を行なう。その状態で双極書き込み電流発生器605を動作させる。

20

【0046】

トランジスタ607の動作により、磁化反転層701A又は磁化反転層701Bの面内磁気異方性は電界効果により低減する。その状態で双極書き込み電流発生器605を動作させて選択されたカラム電極線に通電することにより、磁化反転層701Aの磁化704A又は磁化反転層701Bの磁化704Bには、スピンホール効果による磁化反転がなされる。磁化の向きの左右は、双極書き込み電流発生器605の極性で決まる。スピンホール効果による磁化反転が効率的になされるように、カラム電極線616及び618は、スピンホール効果が大きい材料である、4d遷移金属であるRh又はPd、或いは、5d遷移金属であるTa又はW又はRe又はOs又はPt、或いは、これらの少なくとも1つを含む合金で形成されることが望ましい。

30

【0047】

上記の方法で書き込まれた入力データ及びテンプレートデータに対するパターン照合は、トランジスタ107、121及び回路部102を動作させ、選択された複数のSTO112を共振させることでなされる。

40

【0048】

以上のように、第2の実施形態に係るパターン照合器は、第1の実施形態と同様に、テンプレートベクトルを不揮発に格納することができる。

【0049】

上述した各実施形態では、単位セル101はマトリクス状に配置されている。単位セル101の配置はマトリクス配置に限定されない。例えば、単位セル101は一列に配置されていてよい。さらに、配線パターンは、実施形態で説明した例に限定されない。例えば、回路部102は、カラム電極線117に接続されていてよい。

【0050】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したも

50

のであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

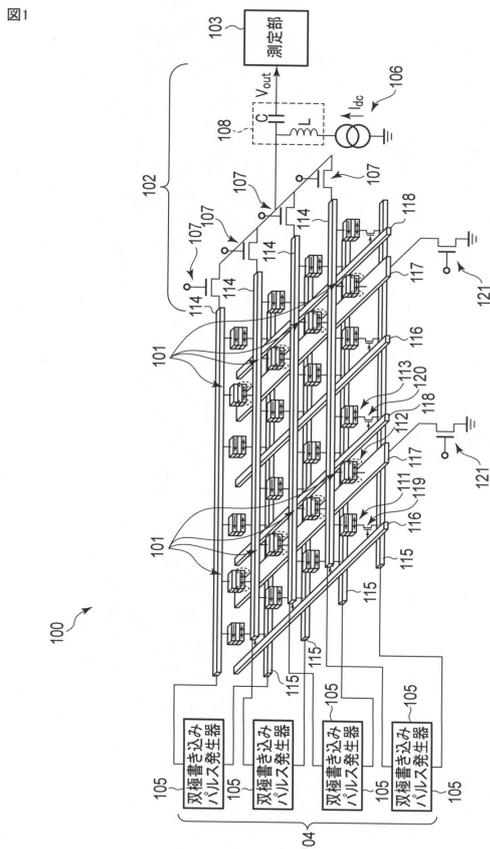
【符号の説明】

【0051】

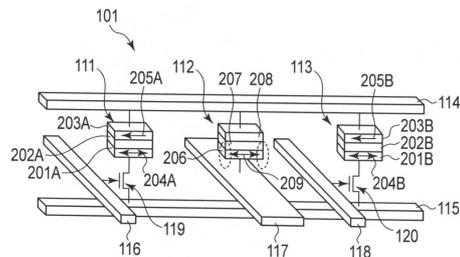
100 ... パターン照合器、101 ... 単位セル、102 ... 回路部、103 ... 測定部、104 ... 電流発生部、105 ... 双極書き込みパルス発生器、106 ... 直流電流源、107 ... トランジスタ、108 ... バイアスティ、111, 113 ... 磁化反転素子、114, 115 ... 口ウ電極線、116, 117, 118 ... カラム電極線、119, 120, 121 ... トランジスタ、201A, 201B ... 磁化反転層、202A, 202B ... 非磁性層、203A, 203B ... トップ層、206 ... 磁化発振層、207 ... スペース層、208 ... 磁性層、600 ... パターン照合器、601 ... 単位セル、604 ... 電流発生部、605 ... 双極書き込み電流発生器、606 ... 電圧源、607 ... トランジスタ、611, 613 ... 磁化反転素子、616, 618 ... カラム電極線、622, 623 ... トランジスタ、701A, 701B ... 磁化反転層、702A, 702B ... 非磁性層。

10

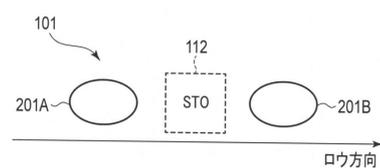
【図1】



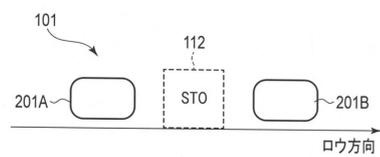
【図2】



【図3】

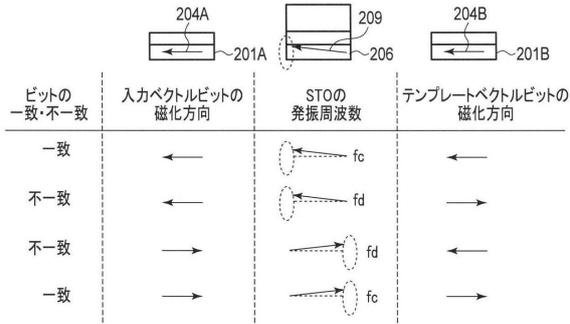


【図4】



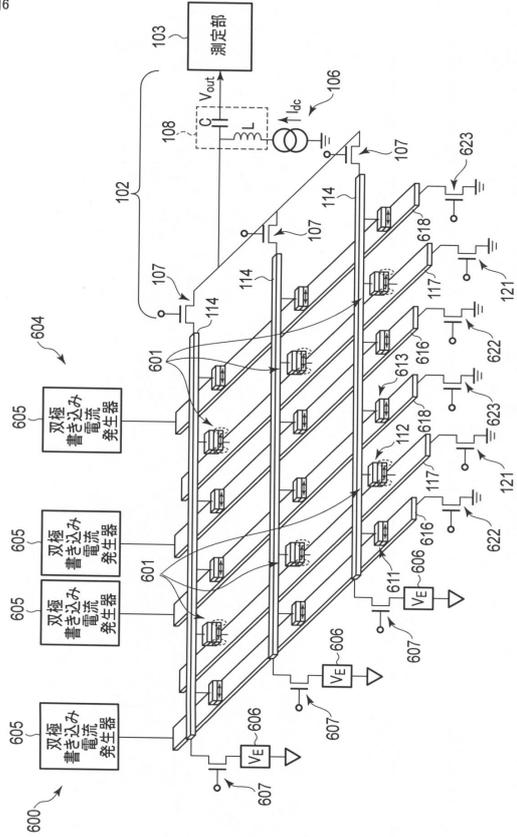
【図5】

図5



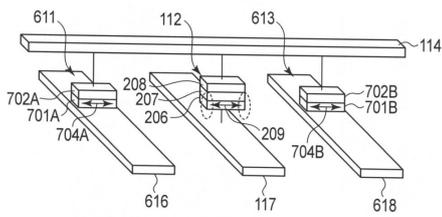
【図6】

図6



【図7】

図7



フロントページの続き

- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (72)発明者 工藤 究
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 小山 満

- (56)参考文献 特開2010-206023(JP,A)
特開2008-170416(JP,A)
国際公開第2014/046361(WO,A1)
特開2005-259206(JP,A)
特開2013-164893(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H01L | 29/82 |
| H03B | 15/00 |