

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5653650号
(P5653650)

(45) 発行日 平成27年1月14日(2015.1.14)

(24) 登録日 平成26年11月28日(2014.11.28)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 21/8246 (2006.01) HO 1 L 27/10 4 4 7
 HO 1 L 27/105 (2006.01) HO 1 L 43/08 Z
 HO 1 L 43/08 (2006.01)

請求項の数 9 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-107161 (P2010-107161)	(73) 特許権者	509096201
(22) 出願日	平成22年5月7日(2010.5.7)		クロッカス・テクノロジー・ソシエテ・ア ノニム
(65) 公開番号	特開2010-263221 (P2010-263221A)		フランス国、38025 グルノーブル・ セデクス、プラス・ロベール・シューマン 、5
(43) 公開日	平成22年11月18日(2010.11.18)	(74) 代理人	100069556
審査請求日	平成24年10月19日(2012.10.19)		弁理士 江崎 光史
(31) 優先権主張番号	09290340.0	(74) 代理人	100111486
(32) 優先日	平成21年5月8日(2009.5.8)		弁理士 鍛冶澤 實
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100173521
前置審査			弁理士 篠原 淳司
		(74) 代理人	100153419
			弁理士 清田 栄章

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低書き込み電流を用いる熱支援スピン移動トルク書き込み手順を備えた磁気メモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱支援切り替え(TAS)書き込み手順を備えたスピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セルであって、

高温閾値で調整可能な第1の磁化を有する強磁性記憶層と、固定された第2の磁化を有する強磁性基準層と、前記強磁性記憶層と基準層との間に配置された絶縁層とから形成された磁気トンネル接合部と、

前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続され、かつ、ワード線を介して制御可能な選択トランジスタと、

前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続され、少なくとも書き込み電流を流す電流線と、
を備え、

前記強磁性記憶層の結晶磁気異方性が、前記強磁性記憶層の面内において、前記強磁性基準層の結晶磁気異方性及び前記強磁性記憶層の第1の磁化を低温閾値で固定するとともに、この第1の磁化を高温閾値で非固定化する反強磁性層の異方性とほぼ直角であり、スピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セルは、前記磁気トンネル接合部が高温閾値に加熱された場合にのみ、前記強磁性記憶層の第1の磁化が前記強磁性記憶層の面内において、前記基準層の第2の磁化の方向とほぼ直角に配向されるように構成されているスピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セル。

【請求項 2】

前記セル（100）が、前記電流線を介して前記接合部を流れる前記書き込み電流によって書き込み可能であり、前記書き込み電流が、

前記高温閾値に前記接合部を加熱するための第1の強度と、

前記記憶層の前記第1の磁化を切り替えるための、および前記第1の磁化が固定される低温閾値に前記磁気トンネル接合部を冷却するための、前記第1の強度より低い第2の強度と、

を有する、請求項1に記載のSTTベースTAS-MRAMセル。

【請求項 3】

前記書き込み電流が、前記スピン偏極電流によって決定される方向に前記第1の磁化を切り替えるためのスピン偏極電流である、請求項1に記載のSTTベースTAS-MRAMセル。

10

【請求項 4】

前記磁気トンネル接合部が、前記反強磁性基準層のブロッキング温度未満で、前記強磁性基準層の前記第2の磁化を固定する反強磁性基準層をさらに含む、請求項1に記載のSTTベースTAS-MRAMセル。

【請求項 5】

高温閾値で調整可能な第1の磁化を有する強磁性記憶層と、固定された第2の磁化を有する強磁性基準層と、前記強磁性記憶層と基準層との間に配置された絶縁層とから形成された磁気トンネル接合部と、

20

前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続され、かつ、ワード線を介して制御可能な選択トランジスタと、

前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続され、少なくとも書き込み電流を伝達する電流線とを備える複数のSTTベースTAS-MRAMセルであって、

前記強磁性記憶層の結晶磁気異方性が、前記強磁性記憶層の面内において、前記強磁性基準層の結晶磁気異方性及び前記強磁性記憶層の第1の磁化を低温閾値で固定するとともに、この第1の磁化を高温閾値で非固定化する反強磁性層の異方性とほぼ直角であり、前記磁気トンネル接合部が高温閾値に加熱された場合にのみ、前記強磁性記憶層の第1の磁化が前記強磁性記憶層の面内において、前記基準層の第2の磁化の方向とほぼ直角に配向されるように構成されている複数のSTTベースTAS-MRAMセルを含むアレイから形成された磁気メモリ装置。

30

【請求項 6】

熱支援切り替え（TAS）書き込み手順を備えたスピン移動トルク（STT）ベース磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）セルにデータを書き込む方法であって、

前記STTベースTAS-MRAMセルが、高温閾値で調整可能な第1の磁化を有する記憶層と、固定された第2の磁化を有する基準層と、前記記憶層と基準層との間に配置された絶縁層とから形成された磁気トンネル接合部を備え、

前記STTベースTAS-MRAMセルが、前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続され、かつ、ワード線を介して制御可能な選択トランジスタと、前記磁気トンネル接合部に電氣的に接続された電流線と、をさらに備え、

40

前記強磁性記憶層の結晶磁気異方性が、前記強磁性記憶層の面内において、前記強磁性基準層の結晶磁気異方性及び前記強磁性記憶層の第1の磁化を低温閾値で固定するとともに、この第1の磁化を高温閾値で非固定化する反強磁性層の異方性とほぼ直角であり、STTベースTAS-MRAMセルは、前記磁気トンネル接合部が高温閾値に加熱された場合にのみ、前記強磁性記憶層の第1の磁化が前記強磁性記憶層の面内において、前記基準層の第2の磁化の方向とほぼ直角に配向されるように構成されており、

前記方法が、

前記電流線を介して前記磁気トンネル接合部を通り、前記磁気トンネル接合部を加熱するための第1の強度を有する書き込み電流を通過させるステップであって、

前記磁気トンネル接合部が前記高温閾値に到達した後で、前記記憶層の前記第1の磁化

50

を切り替えるための、および前記磁気トンネル接合部を冷却するためのより低い第2の強度へ、前記書き込み電流の強度を低減するステップと、

前記磁気トンネル接合部が、前記第1の磁化が固定される低温閾値まで冷却された後で、前記書き込み電流を切るステップと、
を備える方法。

【請求項7】

前記書き込み電流が、スピン偏極電流のスピン方向に従う方向に前記第1の磁化を切り替えるスピン偏極電流である、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記第1の磁化の前記切り替えが、前記強磁性記憶層の面内において、前記第2の磁化の方向とほぼ直角な初期方向から、前記第2の磁化の方向とほぼ平行または逆平行の切り替え方向へ実行される、請求項6に記載の方法。

10

【請求項9】

熱支援切り替え(TAS)書き込み手順を備えたスピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セルを製造する方法であって、

前記STTベースTAS-MRAMセルが、高温閾値で調整可能な第1の磁化を有する記憶層と、固定された第2の磁化を有する基準層と、前記記憶層と基準層との間に配置された絶縁層とから形成された磁気トンネル接合部を備え、

前記強磁性記憶層の結晶磁気異方性が、前記強磁性記憶層の面内において、前記強磁性基準層の結晶磁気異方性及び前記強磁性記憶層の第1の磁化を低温閾値で固定するとともに、この第1の磁化を高温閾値で非固定化する反強磁性層の異方性とほぼ直角であり、STTベースTAS-MRAMセルは、前記磁気トンネル接合部が高温閾値に加熱された場合のみ、前記強磁性記憶層の第1の磁化が前記強磁性記憶層の面内において、前記基準層の第2の磁化の方向とほぼ直角に配向されるように構成されており、

20

前記方法が、

第1の磁界方向を有する、印加された外部磁界を用いて前記基準層を積層するステップと、

前記強磁性記憶層の面内において、前記第1の磁界方向にほぼ直角な第2の磁界方向を有する、印加された外部磁界を用いて前記記憶層を積層するステップと、

第1の磁界方向とほぼ平行または逆平行の第3の磁界方向を有する、印加された外部磁界を用いて前記磁気トンネル接合部をアニールするステップと、
を備える方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)に関し、特に、熱支援切り替え(TAS)、低書き込み電流を用いるスピン移動トルク書き込み手順を備え、かつ低電力消費および高書き込み速度を有する磁気トンネル接合(MTJ)ベースメモリセルに関する。

【背景技術】

40

【0002】

磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)は、周囲温度において強い磁気抵抗を有する磁気トンネル接合の発見と共に、再び関心の対象となっている。これらのMRAMは、速度(数ナノ秒の書き込みおよび読み出し期間)、不揮発性、および電離放射線に対する非感受性などの多くの利点を提供する。したがって、それらは、コンデンサの荷電状態に基づいた、より従来的な技術を用いるメモリ(DRAM、SRAM、FLASH)にますます取って代わりつつある。

【0003】

最も単純な実装における従来のMRAMセル1が、図1の例に示されている。セル1には、磁気トンネル接合部2が含まれるが、この接合部2は、固定磁化を有する基準層23

50

と、メモリセルの書き込み時に方向を変更できる磁化を有する記憶層 2 1 との間に配置された絶縁層 2 2 から形成される。第 1 の力線 4 は、記憶層 2 1 と連通し、第 2 の電流線 5 は、第 1 の電流線 4 と直角に配置され、基準層 2 3 と連通する。M R A M セル 1 には、C M O S 選択トランジスタ 3 がさらに含まれるが、このトランジスタ 3 は、磁気トンネル接合部 2 に電氣的に接続され、かつその開閉は、各 M R A M セル 1 に個別にアドレスするためにワード線 6 によって制御される。

【 0 0 0 4 】

異なる保磁力の基準層および記憶層は、典型的には、F e、C oもしくはN iまたはそれらの合金などの 3 d 金属で作製される。最終的には、非晶質形態および平坦な界面を得るために、ホウ素を層組成物に添加することができる。絶縁層は、典型的には、アルミナ (A l ₂ O ₃) または酸化マグネシウム (M g O) からなる。好ましくは、基準層は、特許文献 1 に記載されているように、合成反強磁性層を形成するいくつかの層からなる。

10

【 0 0 0 5 】

書き込み動作中に、トランジスタ 3 は閉じられ、電流は接合部 2 を流れない。第 1 の界磁電流 4 1 が、第 1 の電流線 4 を通過して第 1 の磁界 4 2 を生成し、第 2 の界磁電流 5 1 が、第 2 の電流線 5 を通過して第 2 の磁界 5 2 を生成する。第 1 の界磁電流 4 1 および第 2 の界磁電流 5 1 の強度および同期は、第 1 の磁界 4 2 および第 2 の磁界 5 2 それぞれを合わせた影響の下で、2 つの活性電流線 4、5 の交差部に位置する記憶層 2 1 の磁化だけが切り替わり、その結果、データの書き込みができるように、調整される。

【 0 0 0 6 】

20

読み出し動作中に、トランジスタ 3 は開かれ、センス電流 (図示せず) が、第 1 の電流線 4 を介して磁気トンネル接合部 2 を流れ、磁気トンネル接合部抵抗 R を測定できるようにする。基準層 2 3 および記憶層 2 1 のそれぞれの磁化が、逆平行である場合には、接合部抵抗は、ハイ (R _{m a x}) であり、低論理状態「 0 」に対応する。他方で、それぞれの磁化が平行である場合には、抵抗は、ロー (R _{m i n}) になり、高論理状態「 1 」に対応する。セル 1 の論理状態は、通常、接合部抵抗 R を、基準セルまたは基準セルアレイと比較することによって決定されるが、各基準セルは、典型的には $R_{r e f} = (R_{m i n} + R_{m a x}) / 2$ の抵抗を有し、この抵抗は、高論理状態「 1 」と低論理状態「 0 」との中間の値を備えた低論理状態に対応する。

【 0 0 0 7 】

30

図 1 の M R A M セルが、書き込み動作中に適切に動作することを保証するために、すなわち、記憶層 2 1 の磁化の双安定切り替えを得るために、磁気トンネル接合部 2 は、好ましくは 1 . 5 以上のアスペクト比を備えた異方性形態を有しなければならない。接合部 2 の異方性形態により、線 4 および 5 の一方だけによってアドレスされるアレイにおける他のセル 1 と比較して、2 つの活性電流線 4、5 の交差部に位置する M R A M セル 1 の優れた書き込み選択性が可能になる。実際に、異方性形態を備えた接合部 2 における記憶層 2 1 の磁化の切り替えは、線 4、5 によって生成される 2 つの磁界 4 2、5 2 の影響下でのみ可能である。異方性形態を有する M R A M セル 1 はまた、書き込まれたデータの優れた熱的および / または時間的安定性を示す。

【 0 0 0 8 】

40

従来の M R A M セルの他の例示的な構成が、特許文献 2 および特許文献 3 で見られる一方で、特許文献 4 は、M R A M セル構造に基づいたランダムアクセスメモリ (R A M) の実装に関連する。

【 0 0 0 9 】

熱支援切り替え (T A S) 書き込み手順を備えた M R A M セル構成が、特許文献 5 の文献に記載され、図 2 a および 2 b に示されている。図 2 a の例において、T A S - M R A M セル 1 0 は、磁気トンネル接合部 2 に電氣的に接続された電流線 7、および強磁性記憶層 2 1 と連通する電流線 7 の上方に直角に配置された力線 8 を有することによって、図 1 に示された M R A M セル 1 と異なる。

【 0 0 1 0 】

50

図 2 b により詳細に示された磁気トンネル接合部 2 は、隣接する強磁性基準層 2 3 に交換バイアスをかける反強磁性基準層 2 4 を含み、反強磁性基準層 2 4 のプロッキング温度 T_{BR} に対応する温度未満にその磁化を固定する。接合部 2 にはまた、交換結合する反強磁性記憶層 2 1 b が含まれるが、この記憶層 2 1 b は、隣接する強磁性記憶層 2 1 の磁化を、反強磁性記憶層 2 1 b のプロッキング温度 T_{BS} に対応する温度未満に固定することができる。典型的には、それぞれ、反強磁性基準層が Ni Mn または Pt Mn ベースの合金で作製されている場合には、約 400 までのプロッキング温度 T_{BR} を達成することができ、一方で、反強磁性記憶層が Ir Mn ベースの合金または Fe Mn ベースの合金で作製されている場合には、約 200 ~ 150 のプロッキング温度 T_{BS} が達成される。上記で説明したように、磁気トンネル接合部 2 にはまた、強磁性基準層 2 3 と強磁性記憶層 2 1 との間に配置された絶縁層 2 2 が含まれる。

10

【 0 0 1 1 】

TAS - MRAMセル 10 の書き込み動作中に、磁気トンネル接合部 2 の温度を上昇させるために、選択トランジスタ 3 が開いている場合に、加熱電流パルス 3 1 が、電流線 7 を介し、磁気トンネル接合部 2 を通して送られる。数ナノ秒続き、かつ $10^5 \text{ A/cm}^2 \sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ 間に含まれる大きさを有する加熱電流 3 1 を用いることによって、接合部 2 は、 T_{BS} と T_{BR} との間であって 120 ~ 200 間に含まれる高温閾値まで加熱することができる。かかる温度では、強磁性記憶層 2 1 と反強磁性記憶層 2 1 b との間の磁気結合は消え、記憶層 2 1 の磁化は、自由に調整することができる。次に、加熱電流 3 1 は、選択トランジスタ 3 を閉モードに設定することによって切られる。磁気トンネル接合部 2 の冷却中に、界磁電流 8 1 が、力線 4 中を送られて、記憶層 2 3 の磁化方向を反転できる磁界 8 2 を生成するようにする。次に、磁化は、記憶層 2 3 が固定される低温閾値にまで接合部 2 が冷却されてから、その反転された方向に固定される。

20

【 0 0 1 2 】

図 1 の MRAMセル構成とは対照的に、図 2 a および 2 b の TAS - MRAMセル 10 は、反強磁性記憶層 2 1 b によって交換バイアスをかけられる記憶層 2 1 のかなり改善された熱的安定性によって特徴づけられる。また、周囲温度のままに留まる隣接するセルと比較して、書き込まれる TAS - MRAMセル 10 の選択的加熱ゆえに、書き込み選択性の改善が、達成される。TAS - MRAMセル 10 は、周囲温度において高い磁気異方性を備えた材料、およびセル 10 の安定限界に影響を与えずにより高い集積密度を用いることによって、ゼロ磁界におけるより優れた安定性（保持）を可能にする。さらに、電力消費の低減が、TAS - MRAMセル 10 の書き込み動作中に達成される。なぜなら、セル 10 を加熱し、かつ記憶層 2 1 の磁化を切り替えるために必要とされる加熱電流 3 1 および界磁電流 8 1 が、それぞれ、図 1 の MRAMセル構成において用いられるそれぞれの第 1 の界磁電流 4 1 および第 2 の界磁電流 5 1 より低いからである。

30

【 0 0 1 3 】

磁気トンネル接合部が円形ジオメトリを有する TAS - MRAMセルの改善が、特許文献 6 に開示されている。ここでは、界磁電流は、形状異方性からの寄与なしに、記憶層の結晶磁気異方性によってのみ決定され、界磁電流のさらなる低減およびより低い電力消費をもたらす。

40

【 0 0 1 4 】

上記の MRAMアーキテクチャに関する別の改良が、スピン移動トルク (STT) アーキテクチャであるが、これは、図 3 に概略的に示されており、かつ特許文献 7 および特許文献 8 に最初に記載された。図 2 a のセル構成と対照的に、図 3 の STT ベース MRAMセル 100 は、力線 8 を必要としない。実際、図 3 のセルの書き込み動作中に、磁界を印加する代わりに、スピン偏極電流 3 2 が、選択トランジスタ 3 が開モード (ON) である場合に、磁気トンネル接合部 2 を通過する。スピン偏極電流 3 2 は、基準層 2 3 の磁化に対応する方向に記憶層 2 1 の磁化を切り替えることができるようにトルクを働かせる。

【 0 0 1 5 】

特許文献 9 は、図 3 に示されたセル構成および図 2 b に示された磁気トンネル接合部 2

50

を用いるTAS書き込み手順を備えたSTTベースMRAMセル100を記載している。STTベースTAS-MRAMセル100の書き込み動作中に、加熱電流パルス31は、接合部2を高温閾値まで加熱するために、磁気トンネル接合部2を通して送られるが、この高温閾値では、記憶層21の磁化は、上記のように、自由に調整することができる。次に、加熱電流31は、選択トランジスタ3を閉モードに設定することによって切られ、磁気トンネル接合部2の冷却中に、スピン偏極電流32は、強磁性記憶層21の磁化を切り替えるために、接合部2を通過する。

【0016】

STTベースTAS-MRAMセル100は、高密度MRAMのための有望なルートである。なぜなら、書き込み電流またはスピン偏極電流32は、セルサイズと直接的にスケールリングするからである（これは、前述の実装では当てはまらない）。実際には、スピン偏極電流32は、磁気トンネル接合部2の面積と反比例してスケールリングする。さらに、STTベースTAS-MRAMセル100は、記憶層磁化の高速切り替えおよびより高いセル密度を可能にする。なぜなら、磁力線が必要ではないからである。

10

【0017】

上記のSTTベースTAS-MRAMセル100には、いわゆる縦構成が含まれるが、この構成では、スピン偏極電流32のスピンは、記憶層23の磁化と共線的に注入される。かかる縦構成は、通常、セル100の製造プロセス中に、記憶層21の積層中に印加される磁界方向と共線的な、基準層23の積層中の磁界方向に印加される外部磁界がある状態で、基準層23および記憶層21を積層することによって実現される。これは、図5a~5cに示されているが、これらの図では、基準層21（図5a）および記憶層23（図5b）の積層中の外部磁界方向は、単純な矢印によって示されている。図5aにおいて、円は、上から見た磁気トンネル接合部2を概略的に示す。図5cは、層の積層後、磁気トンネル接合部2のアニール中に印加される外部磁界の方向（破線の矢印）を示す。接合部2のアニールは、典型的には300より高い温度で実行される。

20

【0018】

STTベースTAS-MRAMセル100は、記憶層21の磁化を切り替えるために、典型的には、10ナノ秒のパルス幅に対して約4MA/cm²で、より短いパルス幅に対しては増加する高スピン偏極電流密度を必要とするという難点がある。これは、かかる高電流を駆動するために必要な大きな選択トランジスタ3ゆえに、大きくて実際的でないセルサイズに帰着する。高電流はまた、高電力損失、ならびに特に絶縁層22において磁気トンネル接合部2の信頼性の起こり得る摩滅および低下をもたらす可能性がある。例えば45nm未満の小さなセルサイズについては、熱的安定性および小さな書き込みスピン偏極電流は、同時に達成するのが難しい。さらに、書き込み動作速度は、10nsの範囲に制限される。なぜなら、記憶層磁化の切り替えは、本質的に確率論的な熱活性化によってトリガされるからである。

30

【0019】

スピン偏極電流密度を低減するために、特許文献10は、「スピン偏極」層を追加すること、または合成反強磁性(SAF)積層を用いることを提案している。STTベースTAS-MRAMセルの安定性の改善はまた、垂直に磁化された磁気層の使用を提案する非特許文献1、またはTASおよびSTTの組み合わせを開示する特許文献9によって取り組まれた。しかしながら、上記の解決法のどれも、書き込み電流密度の著しい低減を可能にはしない。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

【特許文献1】米国特許第5583725号明細書

【特許文献2】米国特許第4949039号明細書

【特許文献3】米国特許第5159513号明細書

【特許文献4】米国特許第5343422号明細書

50

【特許文献5】米国特許出願公開第2005002228号明細書

【特許文献6】米国特許出願公開第20060291276号明細書

【特許文献7】米国特許第5695864号明細書

【特許文献8】米国特許第6172902号明細書

【特許文献9】米国特許第6950335号明細書

【特許文献10】米国特許第6603677号明細書

【特許文献11】米国特許出願公開第2005040433号明細書

【特許文献12】欧州特許出願第09157306号明細書

【特許文献13】欧州特許出願第9290127号明細書

【非特許文献】

10

【0021】

【非特許文献1】Nakayama et al, Journ. Appl. Phys. 103, 07A710 (2008)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

したがって、本発明の目的は、少なくとも先行技術のいくつかの制約を克服する熱支援切り替え(TAS)書き込み手順を備えたスピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セルを提案することである。

【0023】

20

本発明の別の目的は、従来のSTTベースTAS-MRAMセルにおいて用いられる書き込み電流より小さな書き込み電流で書き込みできるSTTベースTAS-MRAMセルを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

本発明によれば、これらの目的は、高温閾値で調整可能な第1の磁化を有する強磁性記憶層、固定された第2の磁化を有する強磁性基準層、ならびに絶縁層であって、強磁性記憶層と基準層との間に配置された絶縁層から形成された磁気トンネル接合部と、ワード線を介して、前記磁気トンネル接合部に電気的に接続され、かつ制御可能な選択トランジスタと、前記磁気トンネル接合部(200)に電気的に接続され、少なくとも書き込み電流を伝達する電流線と、を含み、強磁性記憶層の結晶磁気異方性が、強磁性基準層の結晶磁気異方性とほぼ直角であるSTTベースTAS-MRAMセルによって達成される。

30

【0025】

本発明の一実施形態において、セルは、電流線を介して接合部を通過する書き込み電流によって書き込み可能であるが、書き込み電流は、高温閾値に接合部を加熱するための第1の強度と、記憶層の第1の磁化を切り替えるための、および第1の磁化が固定される低温閾値に磁気トンネル接合部を冷却するための、第1の強度より低い第2の強度と、を有する。

【0026】

本発明の別の実施形態において、書き込み電流は、スピン偏極電流によって決定される方向に第1の磁化を切り替えるためのスピン偏極電流である。

40

【0027】

本発明のさらに別の実施形態において、磁気トンネル接合部には、強磁性記憶層の前記第1の磁化を低温閾値で固定し、かつ前記第1の磁化を高温閾値で自由にする反強磁性記憶層がさらに含まれる。

【0028】

本発明にはまた、TAS-MTJベースMRAMセルにデータを書き込むための方法が含まれ、この方法には、

電流線を介して磁気トンネル接合部に書き込み電流を通過させるステップであって、書き込み電流が、磁気トンネル接合部を加熱するための第1の強度を有するステップと、

50

磁気トンネル接合部が高温閾値に到達した後で、記憶層の第1の磁化を切り替えるための、および磁気トンネル接合部を冷却するためのより低い第2の強度へ、書き込み電流の強度を低減するステップと、

磁気トンネル接合部が、第1の磁化が固定される低温閾値まで冷却された後で、書き込み電流を切るステップと、
が含まれる。

【0029】

本発明の一実施形態において、前記書き込み電流は、スピン偏極電流のスピン方向に従う方向に第1の磁化を切り替えるためのスピン偏極電流である。

【0030】

本発明の別の実施形態において、第1の磁化の前記切り替えは、第2の磁化の方向とほぼ直角な初期方向から、第2の磁化の方向とほぼ平行または逆平行の切り替え方向へ実行される。

【0031】

STTベースTAS-MRAMセルによって、非常に短いパルス幅(10ns未満)における熱的安定性および最小の書き込み電流密度が同時に達成可能になる。

【0032】

本発明は、例として提示され、かつ図によって示される実施形態の説明によって、よりよく理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】先行技術の磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)を示す。

【図2a】磁気トンネル接合部を含む、先行技術の熱支援切り替え(TAS)書き込み手順を備えたMRAMセル構成を概略的に示す。

【図2b】図2aの磁気トンネル接合部の詳細図である。

【図3】先行技術のスピン移動トルク(STT)ベースTAS-MRAMセルを概略的に示す。

【図4a】磁気トンネル接合部の記憶層および基準層の磁化が低温閾値に対して示された、本発明の一実施形態によるSTTベースTAS-MRAMセルを示す。

【図4b】記憶層および基準層の磁化が高温閾値に対して示された、図4aのSTTベースTAS-MRAMセルを示す。

【図5】図3のSTTベースTAS-MRAMセルの接合部における、(a)基準層、(b)記憶層の積層中、および(c)アニール中に印加される外部磁界の方向を示す。

【図6】図4aのSTTベースTAS-MRAMセルの接合部における、(a)基準層、(b)記憶層の積層中、および(c)アニール中に印加される外部磁界の方向を示す。

【図7】(a)初期状態、(b)加熱ステップ、(c)書き込みステップ、および(d)冷却ステップを示す、本発明の一実施形態による、図4aのSTTベースTAS-MRAMセルに実行される書き込み動作を概略的に示す。

【図8a】図7aのセル構成に対して測定されたヒステリシスループを示す。

【図8b】図7bのセル構成に対して測定されたヒステリシスループを示す。

【発明を実施するための形態】

【0034】

本発明の一実施形態による、熱支援切り替え(TAS)書き込み手順を備えたスピン移動トルク(STT)ベース磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)セル100が、図4aおよび4bに示されている。STTベースTAS-MRAM100には、第1の磁化211を有する強磁性記憶層210と、第2の磁化231を有する基準層(ここでは強磁性基準層230)との間に配置された絶縁層220から形成された多層磁気トンネル接合部200が含まれる。接合部200は、ワード線(図示せず)によって制御される選択トランジスタ300と連通する。STTベースTAS-MRAMセル100には、磁気トンネル接合部200に電氣的に接続された電流線700がさらに含まれる。

10

20

30

40

50

【0035】

本発明の一実施形態において、磁気トンネル接合部200には、反強磁性記憶層210bがさらに含まれるが、この記憶層210bは、隣接する強磁性記憶層210と交換結合され、反強磁性記憶層210bのブロッキング温度 T_{BS} に対応する温度未満で強磁性記憶層210の第1の磁化211を保持し、かつ T_{BS} 以上で第1の磁化211を保持しない。磁気トンネル接合部200にはまた、反強磁性基準層(図示せず)が含まれるが、この反強磁性基準層は、典型的にはPtMnまたはNiMnなどのMnベースの合金で作製され、好ましくは隣接する強磁性基準層230に交換バイアスをかける。反強磁性基準層は、 T_{BS} より高いブロッキング温度 T_{BR} によって特徴づけられ、強磁性基準層230の磁気モーメントを配向し、 T_{BR} 未満の温度で強磁性基準層230の第2の磁化231を固定する固定磁界を生成する。

10

【0036】

本発明の別の実施形態(図示せず)において、基準層230は、第1および第2の強磁性基準層を含む合成反強磁性固定層(synthetic antiferromagnetic pinned layer)から形成されるが、これらの第1および第2の強磁性基準層は、両方ともFe、CoまたはNiベースの合金から形成され、かつそれらの間に、例えばルテニウムで作製された非強磁性基準層を挿入することによって反強磁性的に結合される。本実施形態において、反強磁性基準層は、第2の強磁性基準層の下に設けられる。

20

【0037】

本発明の一実施形態において、強磁性記憶層210は、本出願人による特許文献11に記載されているように、希土類および遷移金属に基づいた非晶質またはナノ結晶化合金で作製される。前記合金の磁気秩序は、フェリ磁性タイプとすることができ、強磁性記憶層210は、ほぼ平面磁化を有することができる。非晶質またはナノ結晶化合金の使用によって、磁気トンネル接合部200の両端にわたって印加される、かつ書き込み手順に必要なとされる電圧を著しく低減して、接合部200の絶縁破壊を回避しかつメモリセル100の電気消費を最小限にすることが可能になる。

【0038】

好ましくは、強磁性記憶層210は、約1~10nmの厚さを有し、かつパーマロイ($Ni_{80}Fe_{20}$)、 $Co_{90}Fe_{10}$ 、またはFe、Co、もしくはNiを含む他の合金の群から典型的に選択される、平面磁化を有する材料で作製される。また、好ましくは、反強磁性記憶層210bは、例えばIrMnまたはFeMnのマンガンベースの合金で作製される。反強磁性記憶層210bは、待機温度において、すなわち加熱がない状態で、強磁性記憶層210の磁化が、数年の期間にわたってその磁化を保持できるが、しかし全ての書き込みプロセス中に、接合部材料の劣化および/または高電力消費をもたらす可能性がある温度で接合部200を加熱することを必要にするほど高くないように、十分に固定されるのが確実になるほど十分に高いブロッキング温度 T_{BS} を有する。ここで、例えば120~220の範囲の T_{BS} が適切である。

30

【0039】

トンネル障壁の役割を果たす絶縁層220は、 Al_2O_3 およびMgOを含む群から選択される材料で作製するのが好ましい。接合部200のトンネル抵抗Rは、絶縁層220の厚さに指数関数的に依存し、接合部200の抵抗・面積の積(RA)によって測定される。RAは、反強磁性記憶層210bの温度をそのブロッキング温度 T_{BS} を超えて上昇させるように十分に高い加熱電流310を、接合部200を通して流すために、十分に小さくしなければならない。例えば、接合部の温度を100まで上昇させるために一般に必要とされる $10^5 A/cm^2 \sim 10^7 A/cm^2$ の範囲に加熱電流密度をするために、RA値は、 $1 \sim 500 \cdot \mu m^2$ にすべきである。

40

【0040】

本発明のさらに別の実施形態(図示せず)において、非常に低い熱伝導率を有する少なくとも1つの熱障壁層が、接合部200の上部および底部に追加される。これらの追加層

50

の目的は、接合部 200 を通って流れる電流 310 の熱効率を向上させる一方で、電極（図示せず）の方への熱の拡散を制限し、接合部 200 と、接続電流線 700 との間の電氣的接続を確保することである。

【0041】

本明細書で開示するような、本発明による S T T ベース T A S - M R A M セル 100 において、強磁性記憶層 210 の結晶磁気異方性は、強磁性記憶層 210 を固定する反強磁性層 210 b の異方性に対して、および強磁性基準層 230 の結晶磁気異方性に対してほぼ直角である。これは、磁気トンネル接合部 200 が、反強磁性記憶層 210 b のプロッキング温度 T_{B_S} 以上だが、しかし反強磁性基準層の T_{B_R} のプロッキング温度未満に含まれる高温閾値に加熱される場合に、強磁性記憶層 210 の第 1 の磁化 211 は、基準層 230 の第 2 の磁化 231 の方向とほぼ直角に整列されることを意味する。図 4 b において、強磁性記憶層 210 の第 1 の磁化 211 は、ページに入るように示され、一方で強磁性基準層 230 の第 2 の磁化方向 231 は、左の方に向けて示されている。第 1 の磁化 211 および第 2 の磁化 231 は、それぞれ、ページの外へおよび右の方へ引くか、または第 1 の磁化 211 が第 2 の磁化 231 とほぼ直角な方向である限りは、任意の他の方向を有することができる。図 4 a は、 T_{B_S} 未満の温度、例えば室温における S T T ベース T A S - M R A M セル 100 を示し、第 1 の磁化 211 は、第 2 の磁化 231 とほぼ平行に整列される。ここで、第 1 の磁化はまた、第 2 の磁化 231 とほぼ逆平行にすることができる。

10

【0042】

強磁性基準層 230 の結晶磁気異方性とほぼ直角な、強磁性記憶層 210 の結晶磁気異方性は、強磁性基準層 230 の積層中に印加される外部磁界の磁界方向とほぼ直角な磁界方向で印加される外部磁界がある状態で、強磁性記憶層 210 を積層することによって得られる。これは、図 6 a ~ 6 c に概略的に示されているが、これらの図では、円は、上から見た磁気トンネル接合部 200 を示す。特に、

20

強磁性基準層 230 の積層プロセス中に（図 6 a）、外部磁界は、単純な矢印によって示された第 1 の磁界方向 110 に印加される。

強磁性記憶層 210 の積層中に（図 6 b）、外部磁界は、第 1 の磁界方向 110 とほぼ直角な、ページに対して平行に示された第 2 の磁界方向 120 に印加される。

【0043】

磁気トンネル接合部 200 の様々な層の積層後に、磁気トンネル接合部 200 は、典型的には 300 より高い温度でアニールされる。アニールステップ中に（図 6 c）、外部磁界は、第 1 の磁界方向 110 とほぼ平行または逆平行に向けられた、破線の矢印によって示される第 3 の磁界方向 130 に印加される。しかしながら、第 1 の磁界方向 110、第 2 の磁界方向 120、および第 3 の磁界方向 130 の他の方向が、第 2 の磁界方向 120 が第 1 の磁界方向 110 および第 3 の磁界方向 130 とほぼ直角に向けられている限り、可能である。

30

【0044】

本発明の別の実施形態において、強磁性基準層の磁化とほぼ直角な強磁性記憶層 210 の結晶磁気異方性は、1 より大きな楕円率を備えた接合部 200 を有することによって得られ、接合部 200 の長軸は、反強磁性記憶層 210 b の異方性方向と直角に向けられている。

40

【0045】

強磁性基準層 230 の結晶磁気異方性とほぼ直角な強磁性記憶層 210 の結晶磁気異方性は、T A S 書き込み動作の場合と同様に、強磁性記憶層 210 が反強磁性層 210 b と交換バイアスをかけられる場合には有利である。

【0046】

本発明の一実施形態に従って、S T T ベース T A S - M R A M セル 100 にデータを書き込むための書き込み動作が、図 7 a ~ 7 d に概略的に示されている。接合部 200 が、反強磁性記憶層 210 b のプロッキング温度 T_{B_S} 未満の低温閾値、例えば室温である、

50

図7 aに示された初期構成において、強磁性記憶層210の第1の磁化211の方向は、反強磁性記憶層210 bの異方性によって固定され、かつ強磁性基準層230の磁化と共線的である。セル100は、トランジスタ300が、接合部200を通して電流が流れない閉モード(OFF)にある状態で、示されている。この構成において、接合部抵抗Rは、第1の磁化211および第2の磁化231が、図7 aに示すように逆平行である場合には、高くなり得るし、または第1の磁化211および第2の磁化231が平行である場合には、低くなり得る。

【0047】

本発明の一実施形態によれば、図7 bおよび7 cに示される書き込み動作中に、書き込み電流、ここでは、第1の強度310を有するスピン偏極電流が、磁気トンネル接合部200の温度を上昇させるために、選択トランジスタ300がオープン(ON)である場合に電流線700を介して接合部に注入される。特に、接合部200は、高温閾値に加熱されるが、この高温閾値では、強磁性記憶層210と反強磁性記憶層210 bとの間の電磁結合は消える。自由に調整可能な第1の磁化211は、その異方性に沿って、すなわち、反強磁性基準層によって固定される、強磁性基準層230の第2の磁化231の方向とほぼ直角な方向に、それ自体を整列させる(図7 b)。

【0048】

次に、スピン偏極電流の強度は、第2の強度320に低下されるが、この第2の強度320は、磁気トンネル接合部200が低温閾値まで冷却され得るようにするほど低いが、低温閾値が到達されかつ第1の磁化211が固定される前に、スピン偏極電流が、強磁性記憶層210の第1の磁化211を切り替え得るほどに高い。これが可能なのは、強磁性記憶層210の磁化の反転に必要なスピン偏極電流の臨界的な第2の強度320が、接合部200を高温閾値に加熱するために必要な第1の強度310より小さいからである。ここで、第1の磁化211の切り替えは、第2の磁化231の方向とほぼ直角な初期方向から、第2の磁化231の方向とほぼ平行または逆平行な切り替え方向へと実行される。

【0049】

磁気トンネル接合部200が低温閾値まで冷却された後で、スピン偏極電流は、選択トランジスタ300を閉モードに設定することによって切られる。

【0050】

本発明の好ましい実施形態において、第2の強度320を有するスピン偏極電流は、ちょうど T_{BS} 未満の温度が到達されるまで、強磁性記憶層210の第1の磁化211を整列させることができる。これによって、第1の磁化211が反強磁性記憶層210 bによって完全に固定される低温閾値未満ちょうどに、温度が低下するまで、強磁性記憶層210の第1の磁化211が、スピン偏極電流に従って配向されるままであることが保証される。

【0051】

ここで、スピン偏極電流は、強磁性記憶層210に貫入する電子のスピンが、大部分、強磁性基準層230の磁化方向に沿った方向になるように、電流フロー方向に従って基準層230を通過するときに偏極される。スピン偏極電流は、強磁性記憶層210の第1の磁化211にトルクを働かせ、強磁性基準層230の第2の磁化231に対応する方向に第1の磁化211を切り替えるようにする(図7 c)。注入されたスピンの方向とほぼ直角に整列されるので、第1の磁化211の反転を可能にするトルクは最大である。図7 dの例において、上記の書き込み動作後に、第1の磁化211は、図7 aに示されるその初期方向に対して反対方向に固定される。

【0052】

本明細書で開示するような、本発明によるSTTベースTAS-MRAMセル100によって、第1の磁化211の迅速な反転が可能になる。実際に、スピン偏極電流320のスピンは、第1の磁化211とほぼ直角な方向にされ、スピン偏極電流320が印加されて温度が低温閾値に達するかまたは超えた瞬間に、第1の磁化211に最大のトルクを働

10

20

30

40

50

させる。第1の磁化211の迅速な反転により、従来のSTTベースTAS-MRAMセルと比較して、より短くより小さなスピン偏極電流パルス320(10ns未満)の使用が可能になり、かくして、書き込み速度が向上され、電力消費が低減される。さらに、本明細書で開示するような、本発明によるSTTベースTAS-MRAMセル100は、磁気トンネル接合部200において追加的な直角偏極層の使用を必要とせず、接合部200の製造を単純化する。

【0053】

冷却ステップ(図7d)後、読み出し動作(図示せず)中に、選択トランジスタ300は開かれ(ON)、センス電流が、電流線700を介して磁気トンネル接合部200を通過する。低温閾値未満の温度、例えば室温で、電圧が、接合部200の両端にわたって測定され、対応する接合部抵抗Rが得られる。図7dの例では、第1の磁化211の方向が第2の磁化231の方向と平行であり、低い接合部抵抗Rが測定される。

10

【0054】

図7aおよび図7bのセル構成用のヒステリシスループが、図8aおよび8bにそれぞれ示されているが、図8aおよび8bにおいて、室温で測定された磁気トンネル接合部抵抗Rが、磁界Hに対してプロットされている。図8aにおいて、第1の磁化211は、第2の磁化231と逆平行であり、ヒステリシスループは、左にシフトされた反強磁性記憶層210bの交換結合磁界 H_{ex} を中心にする。これは、論理状態「1」に対応する、 $H=0$ で測定された高い接合部抵抗Rをもたらす。図8bにおいて、第1の磁化211は、第2の磁化231と平行であり、右にシフトされた交換結合磁界 H_{ex} 、および論理状態「0」に対応する、 $H=0$ で測定された低い接合部抵抗Rに帰着する。

20

【0055】

本発明が、上記の例示的な実施形態に限定されないこと、および実装の他の例がまた、特許請求の範囲内で可能であることが分かる。

【0056】

例えば、本発明の一実施形態(図示せず)において、書き込み動作は、電流の第1の部分、ここでは加熱電流310を、磁気トンネル接合部200に通過させ、接合部200が高温閾値に到達すると同時にまたはその後、電流の第2の部分、ここでは界磁電流を電流線700に通過させることによって実行される。界磁電流は、強磁性記憶層210の第1の磁化211を界磁電流の極性に依存する方向に切り替えるための磁界を発生することができる。かかる書き込み動作が、本出願人による未公開の特許文献12に記載されている。

30

【0057】

本発明の別の実施形態(図示せず)において、STTベースTAS-MRAMセル100には、磁気トンネル接合部200に電氣的に接続されたストラップ、および第2の選択トランジスタが含まれる。2つの選択トランジスタは、本出願人による未公開の特許文献13に記載されているように、ストラップの各対向する末端で電氣的に接続される。ここで、書き込み動作は、2つのトランジスタ間のストラップを流れる電流の第1の部分または加熱電流310で接合部200を加熱することによって実行される。電流の第2の部分、またはスピン偏極電流320は、電流線700を介して接合部200を通過する。本実施形態において、スピン偏極電流320は、加熱電流310から独立して制御することができる。

40

【0058】

磁気メモリ装置(図示せず)が、本明細書で開示するような本発明の一実施形態のいずれかに従って、複数のSTTベースTAS-MRAMセル100を含む装置から形成され得る。磁気メモリ装置において、STTベースTAS-MRAMセル100の各接合部200は、記憶層210の側で電流線700に接続され、反対側でワード線に接続されるが、このワード線は、電流線700とほぼ直角に配置される。STTベースTAS-MRAMセル100の1つが書き込まれることになる場合には、制御電流パルスが、1つまたはいくつかのワード線で送られ、対応するワード線のトランジスタ300の少なくとも1つ

50

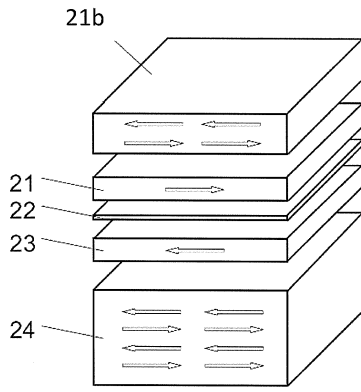
を開モード（ON）にするようにする。加熱電流310に対応する第1の強度を有する、かつ/またはおそらくスピン偏極書き込み電流320に対応する第2の強度を有する電流パルスが、書き込まれることになるSTTベースTAS-MRAMセル100、すなわち、活性接続電流線700および活性ワード線の交差部に配置されたSTTベースTAS-MRAMセル100に対応する各電流線700に送られる。

【符号の説明】

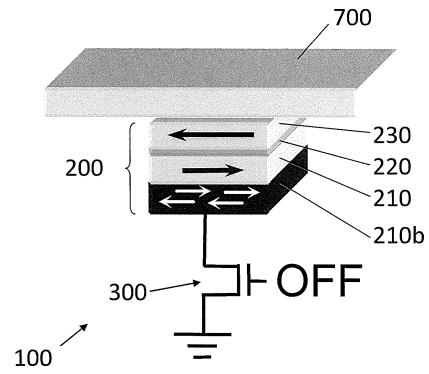
【0059】

1	従来のMRAMセル	
2	磁気トンネル接合部	
21	強磁性記憶層	10
21b	反強磁性記憶層	
22	絶縁層	
23	基準層	
24	反強磁性基準層	
3	選択トランジスタ	
31	加熱電流	
32	スピン偏極電流	
4	第1の力線	
41	第1の界磁電流	
42	第1の磁界	20
5	第2の電流線	
51	第2の界磁電流	
52	第2の磁界	
6	ワード線	
7	電流線	
8	従来のTAS-MRAMセルの力線	
81	界磁電流	
82	磁界	
10	従来のTAS-MRAMセル	
100	本発明のTAS-MRAMセル	30
110	第1の磁界方向	
120	第2の磁界方向	
130	第3の磁界方向	
200	磁気トンネル接合部	
210	記憶層	
210b	反強磁性記憶層	
211	基準層の第1の磁化	
220	絶縁層	
230	基準層	
231	基準層の第2の磁化	40
300	選択トランジスタ	
310	スピン偏極電流の第1の強度	
320	スピン偏極電流の第2の強度	
410	界磁電流	
420	磁界	
700	電流線	
H		
H _{e x}		
H _R	強磁性記憶層の反転磁界	
T _{B S}	反強磁性記憶層のブロッキング温度	50

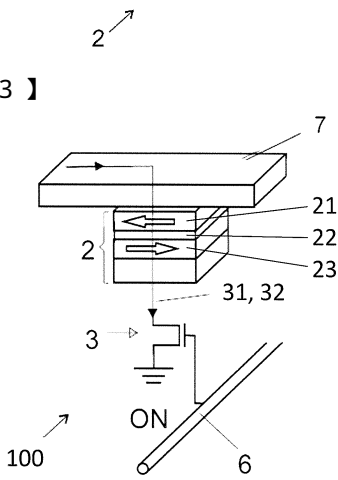
【図 2 b】



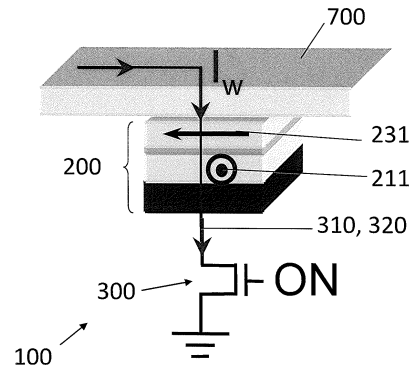
【図 4 a】



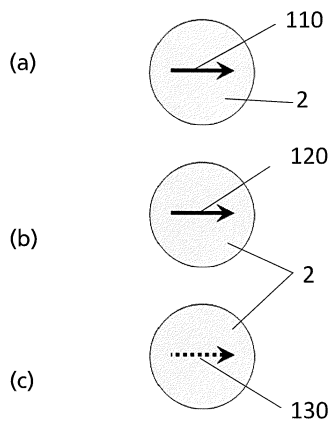
【図 3】



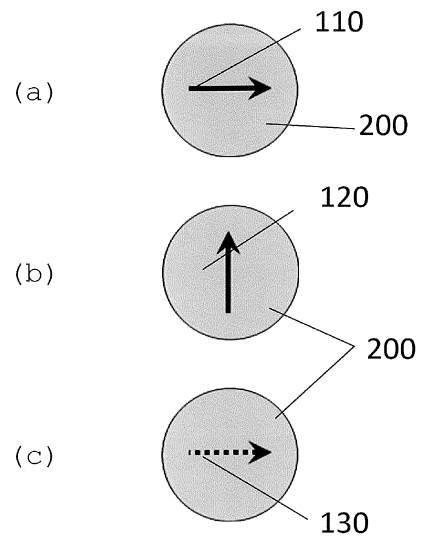
【図 4 b】



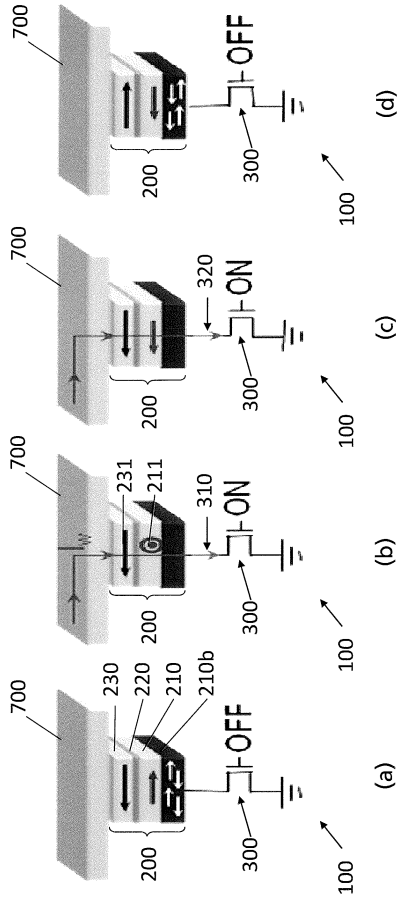
【図 5】



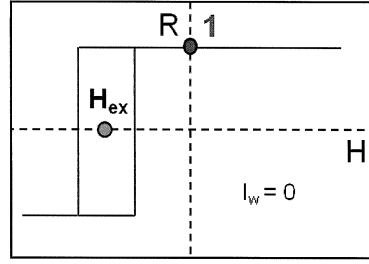
【図 6】



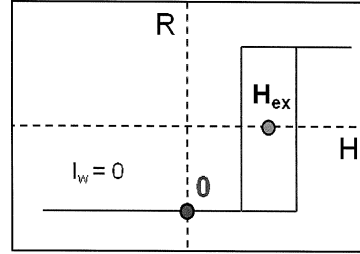
【 7 】



【 8 a 】



【 8 b 】



フロントページの続き

(72)発明者 ロアン・リュスィアン・プルジブアニュ
フランス国、38360 サッスナージュ、リュ・ルスディギユールス、14

審査官 境 周一

(56)参考文献 特表2005-510047(JP,A)
特表2007-525847(JP,A)
特表2007-525840(JP,A)
特表2008-524830(JP,A)
特開2008-177421(JP,A)
特表2007-523480(JP,A)
特表2010-506341(JP,A)
国際公開第2008/040561(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/10 - 27/118
H01L 29/82
G11C 11/00 - 11/16
H01L 43/00 - 43/14