

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5147212号  
(P5147212)

(45) 発行日 平成25年2月20日 (2013. 2. 20)

(24) 登録日 平成24年12月7日 (2012.12.7)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z
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 29/82 Z
HO 1 L 29/82 (2006.01)	G 1 1 C 11/15 1 4 0
G 1 1 C 11/15 (2006.01)	

請求項の数 9 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2006-273329 (P2006-273329)	(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日 平成18年10月4日 (2006.10.4)	(73) 特許権者 504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(65) 公開番号 特開2008-91794 (P2008-91794A)	(74) 代理人 100091096 弁理士 平木 祐輔
(43) 公開日 平成20年4月17日 (2008.4.17)	(72) 発明者 大野 英男 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立 大学法人東北大学 電気通信研究所内
審査請求日 平成21年8月12日 (2009.8.12)	(72) 発明者 池田 正二 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立 大学法人東北大学 電気通信研究所内
(出願人による申告) 平成17年度、文部科学省、高機能・超低消費電力メモリの開発 委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気メモリセル及び磁気ランダムアクセスメモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

非磁性膜を挟んで強磁性自由層と強磁性固定層とが形成された磁気抵抗効果素子と、前記強磁性自由層の上面に接して配置された上部電極と前記強磁性固定層の下方に設置された下部電極とを有し、

前記強磁性自由層の上面の面積を  $A_C$ 、前記上部電極の前記強磁性自由層との接続面の面積を  $A_E$  とするとき、 $A_C > A_E$ 、かつ前記強磁性自由層の上面の重心座標と前記接続面の重心座標とは、前記強磁性自由層の上面の長辺方向においてほぼ一致し、前記長辺方向と直交する方向において異なり、前記磁気抵抗効果素子に電流を流してスピントランスファートルクによって前記強磁性自由層の磁化を反転させて情報の書き込みを行うことを特徴とする磁気メモリセル。

【請求項2】

請求項1記載の磁気メモリセルにおいて、前記非磁性膜は絶縁膜であることを特徴とする磁気メモリセル。

【請求項3】

請求項1記載の磁気メモリセルにおいて、前記磁気抵抗効果素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子を有することを特徴とする磁気メモリセル。

【請求項4】

請求項1記載の磁気メモリセルにおいて、前記上部電極は強磁性膜を備えることを特徴とする磁気メモリセル。

## 【請求項 5】

複数の磁気メモリセルと、所望の磁気メモリセルを選択する手段とを備え、  
前記磁気メモリセルは、

非磁性膜を挟んで強磁性自由層と強磁性固定層とが形成された磁気抵抗効果素子と、前記強磁性自由層の上面に接して配置された上部電極と前記強磁性固定層の下方に設置された下部電極とを有し、前記強磁性自由層の上面の面積を  $A_C$ 、前記上部電極の前記強磁性自由層との接続面の面積を  $A_E$  とするとき、 $A_C > A_E$ 、かつ前記強磁性自由層の上面の重心座標と前記接続面の重心座標とは、前記強磁性自由層の上面の長辺方向においてほぼ一致し、前記長辺方向と直交する方向において異なり、前記磁気抵抗効果素子に電流を流してスピントランスファートルクによって前記強磁性自由層の磁化を反転させて情報の書き込みを行うことを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

10

## 【請求項 6】

請求項 5 記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記非磁性膜は絶縁膜であることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

## 【請求項 7】

請求項 5 記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記磁気抵抗効果素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子を有することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

## 【請求項 8】

請求項 5 記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記上部電極は強磁性膜を備えることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

20

## 【請求項 9】

請求項 5 記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記情報書き込み時に書き込み電流  $I_1$  を印加する前及び / 又は後に、書き込み電流  $I_1$  より小さい電流を通電することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、低消費電力かつ高信頼性を有する不揮発性磁気メモリ及び磁気ランダムアクセスメモリに関するものである。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

磁気ランダムアクセスメモリは高集積度・高速アクセス・低消費電力を兼備するユニバーサルメモリの実現の可能性を持つ不揮発性メモリとして注目されている。磁気ランダムアクセスメモリは、 $Al$  もしくは  $Mg$  の酸化物を絶縁膜に用いたトンネル磁気抵抗効果素子 (T. Miyazaki and N. Tezuka, J. Magn. Magn. Mater. 139, L231 (1995), S. Yuasa, et al., Nature Material 3, 868(2004)) から成る磁気メモリセルとその磁気メモリセルを選択するトランジスタから構成され、トンネル磁気抵抗効果素子の出力電圧により情報を読み出す方式である。一方、従来の情報書き込みは、ビット線とワード線に通電させることにより発生する電流誘起の空間磁界を使ってトンネル磁気抵抗効果素子を構成する強磁性自由層の磁化方向を回転させる方式が採用されてきた。しかし、高集積化により磁気メモリセルの微細化が進むと、強磁性自由層の体積が減少し磁化反転に必要な磁界が増大する。そのため書き込みに要する電流が増し、消費電力が増大する結果となる。一方、別の情報書き込み方式として、トンネル磁気抵抗効果素子に電流を流すことにより磁化を回転させる、いわゆるスピントランスファートルク磁化反転、あるいは同義であるスピン注入磁化反転方式があり、例えば米国特許第 5,695,864 号明細書あるいは特開 2002-305337 号公報に開示されている。この書き込み手法は、上記空間磁界を用いる手法とは異なり、高集積化に伴うトンネル磁気抵抗効果素子の強磁性自由層の微細化により書き込みに要する電流が減少でき、低消費電力化に有利である。

40

## 【0003】

50

【非特許文献1】J. Magn. Magn. Mater. 139, L231 (1995)

【非特許文献2】Nature Material 3, 868(2004)

【非特許文献3】Appl. Phys. Lett. 85, 5358(2004)

【特許文献1】米国特許第5,695,864号明細書

【特許文献2】特開2002-305337号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

スピントランスファートルク磁化反転による書き込み方式は、図14に示すように、一般的なメモリの書き込み動作時間である10ナノ秒以下においては、スピントランスファートルク磁化反転の閾値電流が大幅に増大し、磁化反転に誤りが生じることが知られている。図14(a)は、Appl. Phys. Lett. 85, 5358 (2004)から引用した書き込み電流に対する反転確率のプロット図である。この図から反転確率が0, 1にならない領域が存在し、且つ書き込み時間の短い領域で、反転確率を1にする書き込み電流の値が著しく増大していることがわかる。図14(b)は、書き込み時間に対する書き込み電流の大きさを示した図であり、10ナノ秒以下の書き込み時間において、書き込み電流が増大することがわかる。図14(c)は、書き込み電流に対して反転確率をプロットした図であり、反転確率が0, 1にならない電流領域( $I_1$ 以上 $I_2$ 以下)が存在することがわかる。

10

【0005】

磁気メモリの情報の書き込みは、通常10ナノ秒以下の時間において行われる必要がある。低消費電力かつ高信頼性をもつ高集積不揮発性磁気メモリの実現には、そのような短い時間においてトンネル磁気抵抗効果素子の記録層の磁化を低電流で誤りなく確実に反転させる必要がある。

20

【0006】

本発明は、このような要請に応えることのできる磁気メモリセル及びランダムアクセスメモリ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】

【0007】

本発明では、磁気メモリセルを構成する巨大磁気抵抗効果素子やトンネル磁気抵抗効果素子の記録層である強磁性自由層に接する電極に流れる電流により発生する磁界を印加しながらスピントランスファートルクにより記録層の磁化反転を行う。磁界印加は、強磁性自由層とそれに接する電極の配置により、強磁性自由層内の磁化の方向が円弧を描くように行う。本明細書では、前記電流により発生する磁界印加手段によって生じた強磁性自由層内に発生する円弧形状の特徴をもつ磁区をC形状磁区と呼ぶ事にする。

30

【0008】

すなわち、本発明による磁気メモリセルは、非磁性膜を挟んで強磁性自由層と強磁性固定層とが形成された磁気抵抗効果素子と、強磁性自由層の上面に接して配置された上部電極と強磁性固定層の下方に設置された下部電極とを有し、強磁性自由層の上面の面積を $A_C$ 、上部電極の強磁性自由層との接続面の面積を $A_E$ とすると、 $A_C > A_E$ 、かつ強磁性自由層の上面の重心座標と接続面の重心座標とが異なり、磁気抵抗効果素子に電流を流してスピントランスファートルクによって強磁性自由層の磁化を反転させて情報の書き込みを行うものである。

40

【0009】

また、本発明による磁気メモリセルは、非磁性膜を挟んで強磁性自由層と強磁性固定層とが形成された磁気抵抗効果素子と、強磁性自由層の上面に接して配置された上部電極と強磁性固定層の下方に設置された下部電極とを有し、強磁性自由層の上面全面が、それより大きく、かつ下面の重心座標が強磁性自由層の上面の重心座標と異なる上部電極によって覆われており、磁気抵抗効果素子に電流を流してスピントランスファートルクによって強磁性自由層の磁化を反転させて情報の書き込みを行うものである。

【発明の効果】

50

## 【0010】

本発明によると、スピントランスファートルクによる書き込み電流を低減して、書き込みの誤り率を低減することができ、信頼性の高い低消費電力不揮発性メモリを実現することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0011】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。以下では本発明を、トンネル磁気抵抗効果素子を組み込んだ磁気メモリセルを用いる例によって説明するが、本発明は、巨大磁気抵抗効果素子を組み込んだ磁気メモリセルに対しても同様に適用可能である。

## 【0012】

図1は本発明による磁気メモリセル1の一例を示す図であり、図1(a)は斜視図、図1(b)は上面図である。図1(a)に示すように、本実施例の磁気メモリセル1は、強磁性自由層101、絶縁膜102、強磁性固定層103で構成されるトンネル磁気抵抗効果素子100と、トンネル磁気抵抗効果素子100に流す電流のオン・オフを行うためのトランジスタ105、ビット線106、さらに2つの電極104、108により構成される。下部電極104と上部電極108は、それぞれトンネル磁気抵抗効果素子100の強磁性固定層103側、強磁性自由層101側においてトンネル磁気抵抗効果素子100と接続している。矢印107で示す順方向もしくはその逆方向に電流を流すことによって働くスピントランスファートルクにより、強磁性自由層101の磁化が反転する。

## 【0013】

図1(b)に示すように、強磁性自由層101と上部電極108とは実線で囲まれる接続面112において接続しており、その接続面の面積を $A_E (> 0)$ と定義する。さらに、接続面112の強磁性自由層101と接する面の重心110の座標を $(x_2, y_2)$ とする。一方、強磁性自由層101の上面の面積を $A_C$ と定義し、強磁性自由層において上部電極108と接する面の重心111の座標を $(x_1, y_1)$ とする。図1(b)の場合、 $A_C > A_E$ かつ $x_1 = x_2, y_1 = y_2$ の関係がある。本実施例の場合、 $A_C > A_E$ であって、座標 $(x_2, y_2)$ と座標 $(x_1, y_1)$ とが一致しない。このような関係を満たす強磁性自由層101と上部電極108の配置には、図2(a)のように接続面112の重心位置が強磁性自由層101の長辺方向の重心位置に一致しない場合 $(x_1 \neq x_2)$ や、図2(b)に示すように接続面112が強磁性自由層101の角部に位置するような場合も含まれる。あるいは、図3に示すように、強磁性自由層101の上面の面積 $A_C$ と上部電極108の下面の面積とは等しいが、両者が横方向にずれて配置されているために $A_C > A_E$ かつ $x_1 \neq x_2, y_1 \neq y_2$ となる場合も含まれる。

## 【0014】

このような強磁性自由層101と上部電極108の配置において電流107を流した場合、電流107により磁界109が発生する。この磁界109が、次に述べるように強磁性自由層101にC形状磁区を形成する役割を果たすことになる。

## 【0015】

図4は、上部電極108の方向から見た強磁性自由層101の平面図である。強磁性自由層101と上部電極108を上記のような配置に構成し、電流を印加すると、図4に示すような磁氣的構造を得る事が可能となる。図4(a)は電流を上部電極108から下部電極104の方向に流したときに得られる磁氣的構造の一例を示す図であり、図4(b)は電流を下部電極104から上部電極108の方向に流したときに得られる磁氣的構造の一例を示す図である。114は、強磁性自由層101内の個々のスピンの方向を示し、全体としての磁区方向113に沿った形状に形成される。上記のとおり磁区方向113に示す円弧を描く形状の磁区をC形状磁区と定義する。一方、図4(b)の場合には、図4(a)の場合と逆の方向にC形状磁区が形成される。

## 【0016】

印加電流107により図4のようなC形状磁区が形成された場合、高速かつ円滑なスピントランスファートルク磁化反転を実現可能であり、低消費電力かつ高信頼性磁気メモリ

10

20

30

40

50

セル及び磁気ランダムアクセスメモリを実現することができる。下部電極104と上部電極108の間に電流が印加された瞬間に、個々のスピントランスポールクのエネルギーを受け、歳差運動と呼ばれる回転運動を始め、徐々に方向を変化させていく。その際、強磁性自由層101内の個々のスピントランスポールクは、全体として図4(a)あるいは図4(b)に示すようなC形状磁区を形成しながら、個々のスピントランスポールクが一斉に回転する。一方、C形状磁区が形成されない場合、個々のスピントランスポールクは秩序なく反転し、全スピントランスポールクが最終的に反転しない場合が生じ、磁化反転の誤りが存在してしまう。スピントランスポールク磁化反転が起こっているときにC形状磁区が形成されていると、スピントランスポールクは一斉に円滑に回転することが可能である。

【0017】

10

上部電極108と強磁性自由層101の配置を図1や図2あるいは図3のようにすることにより、電極104, 108間に電流107を流すことで強磁性自由層101内に常に図4に示すようなC形状磁区を誘起することができ、スピントランスポールク磁化反転を高速、円滑かつ低い誤り率で実現することが可能となる。従来の磁気メモリでは、上部電極108と強磁性自由層101の配置の関係は一般に、 $A_C = A_E$ 、 $x_1 = x_2$ 、 $y_1 = y_2$ である。この場合、印加電流107により発生する磁界によって強磁性自由層101の内部に磁区が形成されるが、その場合の磁区は図5に示すように強磁性自由層101の面の中心に対して同心円状になる。このような磁区を形成した場合、スピントランスポールク磁化反転過程においてコヒーレントな反転が実現できず、高速反転が期待できない。

【0018】

20

これまで、 $A_C > A_E$ の場合について説明してきたが、 $A_C = A_E$ であっても本発明の効果を得ることができる配置がある。それは、図6に示したように、強磁性自由層101の上面全面を、それより大きく、かつ下面の重心座標が強磁性自由層101の重心座標と一致しない上部電極108によって覆う場合である。この場合には、 $A_C = A_E$ かつ $x_1 = x_2$ 、 $y_1 = y_2$ である。しかし、電流107を印加すると、上部電極108から発生する空間磁界により、強磁性自由層101に矢印109で示される方向のC形状磁区が形成される。この場合も、C形状磁区が誘発されるので、従来よりもスピントランスポールクは一斉にかつ円滑に回転することができる。

【0019】

30

上記C形状磁区は、スピントランスポールク磁化反転を誤り率小さくかつ強磁性自由層101の磁化を一斉に円滑に反転させることに寄与し、さらにC形状磁区が形成された状態で電流107により発生する空間磁界が重畳することでスピントランスポールク磁化反転の閾値電流密度( $J_c$ )を低減させる効果をもつ。

【0020】

40

ここで $75 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$ の面積をもつ強磁性自由層101に上部電極108が $50 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$ で接続された構造の例を図7(a)に示す。例えば $2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ の電流密度をもつ電流107が、電流中心からy方向に距離r離れた場所に作る磁界の大きさの関係を図7(b)に示す。電流107が作る磁界は、電流の中心から25 nmの距離で最大30 eの大きさになることが分かる。一方、磁気抵抗効果素子100のスピントランスポールクにおける $J_c$ は、磁気抵抗効果素子100を構成する強磁性自由層101の保磁力( $H_c$ )に依存する。例えば $J_c$ は保磁力 $H_c$ に対して図8の実線に示すような特性を示し、保磁力が小さくなると $J_c$ は低減する。今、図7に示した電流密度 $2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ を $J_c$ とする磁気抵抗効果素子を例にとる。ここに示した $J_c$ と $H_c$ の関係は、強磁性自由層の材料や形状あるいは磁気抵抗効果素子100の磁気抵抗比に依存して変化する。 $J_c = 2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ では、図8において黒丸で示すデータに相当する。このときの磁気抵抗効果素子において $H_c = 40 \text{ e}$ である。図7に示したように、電流107が強磁性自由層101の中に作る最大磁界の大きさが30 eである場合、実効的に $H_c = 10 \text{ e}$ となり、実質的な $J_c$ は白丸で表される値 $1.5 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ を取ることが可能である。ここに示した電流107が作る磁界による $J_c$ の低減は、本例以外にもC形状磁区を形成可能な強磁性自由層101と上部電極108の配置構造において実現可能である

50

。  $J_c$  の低減は、 C 磁区形状ができた状態で、空間磁界の大きさが重畳することで生まれる効果である。

#### 【 0 0 2 1 】

次に、上部電極 1 0 8 の構造的・材料的特徴について述べる。図 9 ( a )、図 9 ( b ) は上部電極 1 0 8 と強磁性自由層 1 0 1 の接続部分の例の上面図である。通常、上部電極 1 0 8 は Cu , Al などの非磁性金属材料で構成されるが、図 9 ( a ) あるいは図 9 ( b ) に示すように、非磁性金属材料 7 0 8 を強磁性金属膜 8 0 1 で被覆した構造を有することも可能である。このときの強磁性金属膜 8 0 1 の膜厚は、 1 0 0 nm 以下が望ましい。強磁性金属層 8 0 1 は、 Co , Fe , Ni のいずれか一つの元素を含む材料であることが望ましい。強磁性金属層 8 0 1 の形成法は、スパッタ法を用いる事が望ましいが、電解め 10  
つきや無電解めつきもしくはスパッタ以外の物理的堆積法を適用してもよい。このような電極を用いることにより、電流を印加したときに発生する磁界を約 2 倍に増大させることが可能であり、ひいては  $J_c$  を低減する効果をもつ。

#### 【 0 0 2 2 】

次に、上記 C 形状磁区を形成可能な構造に使用される磁気抵抗効果素子 1 0 0 の材料構成について述べる。強磁性自由層 1 0 1 及び強磁性固定層 1 0 3 に用いる材料構成及び組み合わせを図 1 0 に示す。強磁性自由層 1 0 1 及び強磁性固定層 1 0 3 には、 Co Fe B , Co Fe , Co B , Co Fe , Co , Fe , Ni Fe などの磁性材料を単層で用いることができる。また、強磁性自由層 1 0 1 及び強磁性固定層 1 0 3 は、それぞれ第一の強磁性層 1 0 1 1 と第三の強磁性層 1 0 1 2、第二の強磁性層 1 0 3 1 と第四の強磁性層 1 0 20  
3 2 を、図 1 1 に示した材料の組み合わせに従って、反平行結合する Ru などの中間層 1 0 0 0 を選択して 3 層の構成で使用してもかまわない。これらの材料はスパッタ法により形成されることが望ましい。図 1 0 に記載した材料を用いることにより、高いトンネル磁気抵抗比と低い  $J_c$ 、及び安定したスピントルク磁化反転が可能となる。特に強磁性固定層 1 0 3 は、その磁化を安定して固定するために、 Mn Pt , Mn Fe、 Mn Ir など、 Mn 化合物で構成される反強磁性膜を隣接させてよい。絶縁膜 1 0 2 は、酸化マグネシウム、アルミニウム酸化物、酸化シリコンなどの材料を用いることができる。

#### 【 0 0 2 3 】

図 1 2 は、本発明の磁気メモリセル 1 にスピントランスファートルク磁化反転方式を用いて書込みを行う際の、電流パルスの印加方法の例について図示したものである。ここに 30  
示すパルス電流は、上記した電流 1 0 7 に相当する。まず図 1 2 ( a ) 示す電流パルス印加方法は従来の方法であり、時間に対して矩形形状の  $J_c$  に相当するパルス電流 (  $I_1$  ) を印加することになる。この方式を用いた場合、印加電流パルス幅が 1 0 ナノ秒以下になると、強磁性自由層 1 0 1 の磁化が完全に反転しない場合が生じ、メモリセルへの書込みの誤りが発生する問題が生ずる。一方、図 1 2 ( b ) に示す電流パルス印加方法は、  $I_1$  を印加した後、連続的に (  $I_H < I_1$  ) のパルス電流を印加する方式である。また図 1 2 ( c ) は、図 1 2 ( b ) に示した方法の逆で、  $I_1$  を印加する前に  $I_H$  (  $I_H < I_1$  ) のパルス電流を印加する方式である。さらに図 1 2 ( d ) は、  $I_{H1}$  (  $I_{H1} < I_1$  ) 及び  $I_{H2}$  (  $I_{H2} < I_1$  ) を  $I_1$  印加の前後で印加する方式である。図 1 2 ( b ) ~ ( d ) に示したように、  $I_1$  印加に加えて  $I_H$  (  $I_{H1}$  ,  $I_{H2}$  ) の電流パルスを印加する方法は、スピントランスファート 40  
ルク磁化反転をアシストし、誤り率を低減させる効果が期待できる。  $I_H$  を印加することは、スピントルク磁化反転のウォームアップ状態において C 形状磁区を形成し、  $I_1$  印加による完全なスピントルク磁化反転を円滑かつ高速化を可能とする。上記電流パルス印加方式を、 C 形状磁区を形成できる構造をもつ磁気メモリセルに具備することで、さらなるスピントランスファートルク磁化反転書込みの誤り率の低減を可能とする。

#### 【 0 0 2 4 】

図 1 3 は、磁気メモリセル 1 を複数個アレイ状に配置して構成した本発明による磁気ランダムアクセスメモリの構成例を示す図である。ビット線 1 0 6 とゲート電極 1 1 5 がメモリセルに電気的に接続されている。ビット線 1 0 6 を制御するドライバーとしてビット線ドライバー 2 0 0 1 が設置され、ゲート電極 1 1 5 を制御するドライバーとしてゲート 50

ドライバー 2002 が設置され、ギガビット級の容量をもつ磁気ランダムアクセスメモリが実現可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の磁気メモリセルの構成例を示す図であり、(a)は斜視図、(b)は上面図。

【図2】上部電極と強磁性自由層の配置例を示す図。

【図3】本発明の磁気メモリセルの構成例を示す図。

【図4】本発明の磁気メモリセルに電流を印加したときに強磁性自由層に形成される磁気的構造の特徴を示した図。

10

【図5】従来の磁気メモリセルに電流を印加したときに強磁性自由層に形成される磁気的構造の特徴を示した図。

【図6】本発明の磁気メモリセルの構成例を示す図。

【図7】電流による磁界の大きさを示す図であり、(a)は磁界発生の模式図、(b)は電極径方向と磁界の大きさの関係を示す図。

【図8】本発明の磁気メモリセルにおいて強磁性自由層の保磁力  $H_c$  とスピントランスファートルク磁化反転に必要な閾値電流密度  $J_c$  の関係を示した図。

【図9】強磁性体を被覆した上部電極と強磁性自由層の接続部の上面図。

【図10】強磁性自由層と強磁性固定層に用いられる材料の例を示す図。

【図11】強磁性自由層と強磁性固定層に用いられる材料の例を示す図。

20

【図12】スピントランスファートルク磁化反転書き込みに使用可能なパルス形状を示した図であり、(a)は従来のパルス形状を示す図、(b)~(d)は本発明によるパルス形状を示す図。

【図13】本発明による磁気ランダムアクセスメモリの構成例を示す図。

【図14】スピントランスファートルク磁化反転による書き込み方式の問題点を説明する図。

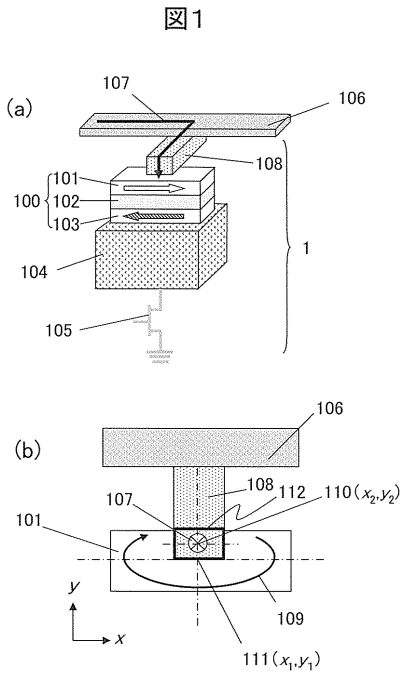
【符号の説明】

【0026】

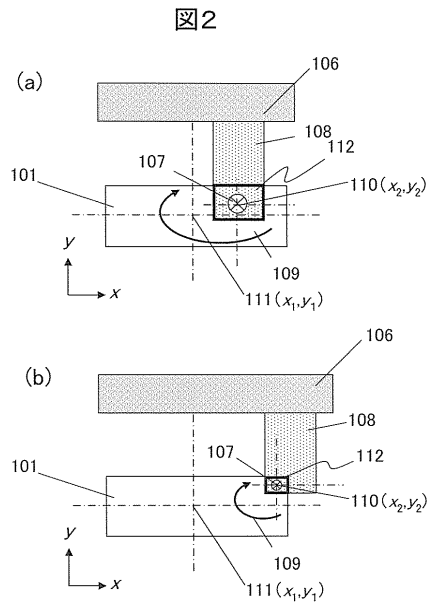
1 ... 磁気メモリセル、100 ... トンネル磁気抵抗効果素子、101 ... 強磁性自由層、102 ... 絶縁膜、103 ... 強磁性固定層、104 ... 下部電極、105 ... トランジスタ、106 ... ビット線、107 ... 電流、108 ... 上部電極、109 ... 磁界、112 ... 接続面、113 ... 磁区方向、114 ... スピン、115 ... ゲート電極、708 ... 非磁性金属膜、801 ... 強磁性金属被覆、1000 ... 中間層、1011 ... 第一の強磁性層、1012 ... 第三の強磁性層、1031 ... 第二の強磁性層、1032 ... 第四の強磁性層、2001 ... ビット線ドライバー、2002 ... ゲートドライバー

30

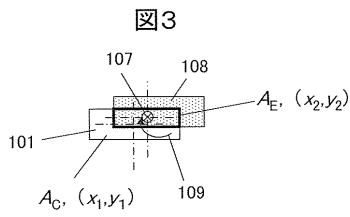
【 図 1 】



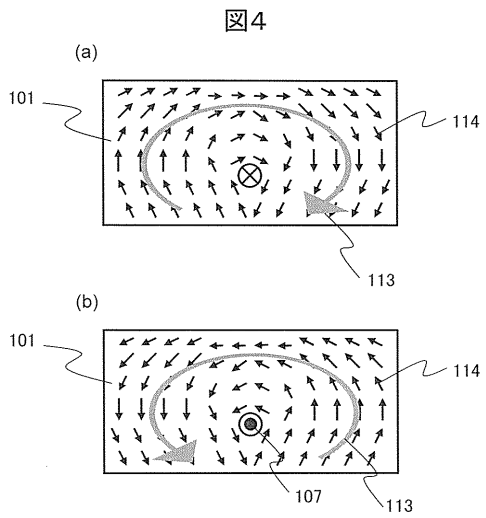
【 図 2 】



【 図 3 】

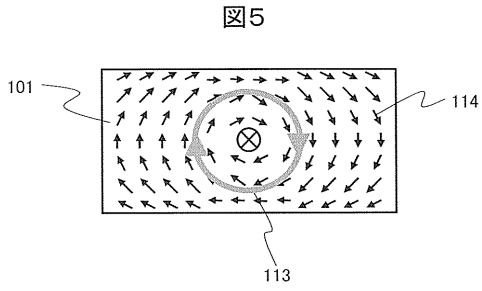


【 図 4 】

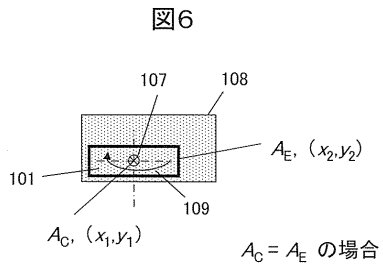




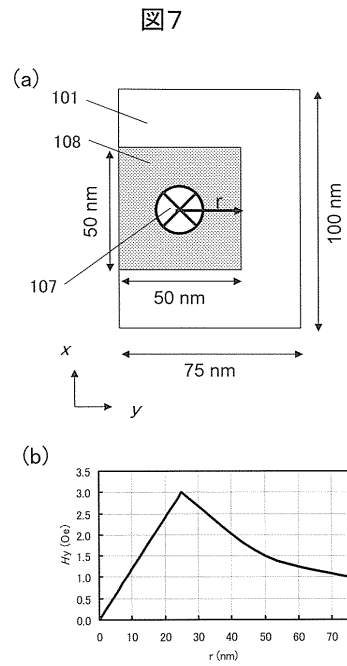
【 図 5 】



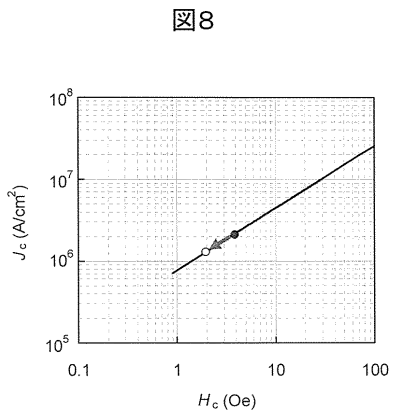
【 図 6 】



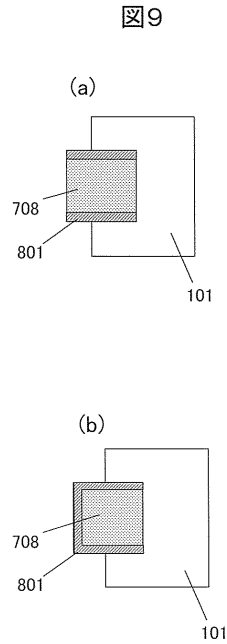
【 図 7 】



【 図 8 】



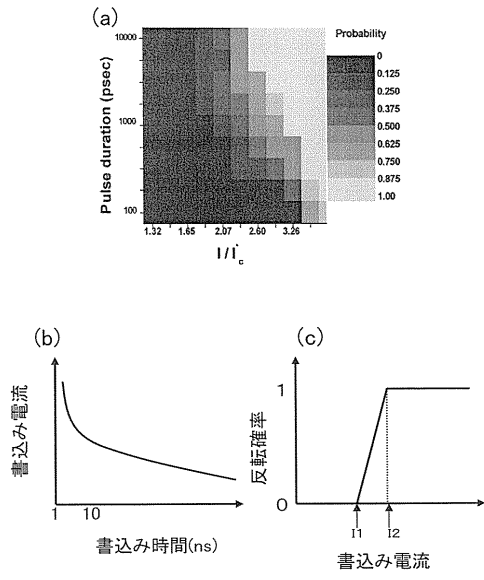
【 図 9 】





【 図 1 4 】

図14



---

フロントページの続き

(72)発明者 早川 純

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 特開2005-116888(JP,A)

特開2006-156477(JP,A)

特開2006-210711(JP,A)

特開2007-087524(JP,A)

特開2007-227653(JP,A)

特開2008-066606(JP,A)

特開2004-006775(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/8246、27/105、

27/22、29/82、

43/00-43/14、

G11C 11/15