

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5644198号
(P5644198)

(45) 発行日 平成26年12月24日 (2014. 12. 24)

(24) 登録日 平成26年11月14日 (2014. 11. 14)

(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 2 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-136163 (P2010-136163)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成22年6月15日 (2010. 6. 15)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2012-4222 (P2012-4222A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成24年1月5日 (2012. 1. 5)	(74) 代理人	110000925
審査請求日	平成25年5月27日 (2013. 5. 27)		特許業務法人信友国際特許事務所
		(72) 発明者	肥後 豊
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	細見 政功
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	大森 広之
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 記憶装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁化の向きが膜面に平行な方向であり、情報を磁性体の磁化状態により保持する記憶層と、

前記記憶層に対して、非磁性層を介して下層に設けられ、磁化の向きが膜面に平行な方向に固定された固定磁化層と、

前記記憶層の前記固定磁化層とは反対の側である上層に、非磁性層を介して設けられ、磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層とを含む記憶素子と、

前記記憶素子に、前記記憶素子の各層の積層方向に流す電流を供給する配線とを含み、前記固定磁化層と前記記憶層との間の非磁性層が絶縁層であり、

前記磁性層は、膜面に平行な方向の磁化を形成する材料からなり、

前記磁性層の上に、前記磁性層の磁化を上下方向に固定する反強磁性層が形成されている

記憶装置。

【請求項 2】

磁化の向きが膜面に平行な方向であり、情報を磁性体の磁化状態により保持する記憶層と、

前記記憶層に対して、非磁性層を介して下層に設けられ、磁化の向きが膜面に平行な方向に固定された固定磁化層と、

前記記憶層の前記固定磁化層とは反対の側である上層に、非磁性層を介して設けられ、

磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層とを含む記憶素子と、
 前記記憶素子に、前記記憶素子の各層の積層方向に流す電流を供給する配線とを含み、
前記固定磁化層と前記記憶層との間の非磁性層が絶縁層であり、
前記磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層は、M n B i 又は P t M n S b から成
る、

記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピントルク磁化反転によって記憶素子に情報の記録が行われる、記憶装置 10
 (メモリ)に係わる。

【背景技術】

【0002】

モバイル端末から大容量サーバに至るまで、各種情報機器の飛躍的な発展に伴い、これ
 を構成するメモリやロジック等の素子においても、高集積化、高速化、低消費電力化等、
 さらなる高性能化が追求されている。

特に、半導体不揮発性メモリの進歩は著しく、就中大容量ファイルメモリとしてのフラ
 ッシュメモリは、ハードディスクドライブを駆逐する勢いで普及が進んでいる。

【0003】

一方、コードストレージ用さらにはワーキングメモリへの展開を睨み、現在一般に用い 20
 られているNORフラッシュメモリ、DRAM等を置き換えるべく、半導体不揮発性メモ
 リの開発が進められている。例えば、FeRAM (Ferroelectric Random Access Memory
)、MRAM (Magnetic Random Access Memory)、PCRAM (相変化RAM)等が挙
 げられる。これらのうち、一部はすでに実用化されている。

【0004】

これらの不揮発性メモリの中でも、MRAMは、磁性体の磁化方向によりデータ記憶を
 行うために、高速の書き換え、かつ、ほぼ無限(10¹⁵回以上)の書き換えが可能であり
 、既に産業オートメーションや航空機等の分野で使用されている。

MRAMは、その高速動作と信頼性から、今後、コードストレージやワーキングメモリ
 への展開が期待されている。 30

【0005】

しかしながら、MRAMは、低消費電力化や大容量化に課題を有している。

これは、MRAMの記録原理、即ち、配線から発生する電流磁界によって磁化を反転さ
 せる、という方式に起因する本質的な課題である。

【0006】

この問題を解決するための一つの方法として、電流磁界によらない記録(即ち、磁化反
 転)方式が検討されており、中でもスピントルク磁化反転に関する研究は活発である(例
 えば、特許文献1及び特許文献2を参照)。

【0007】

スピントルク磁化反転の記憶素子は、MRAMと同じく、MTJ (Magnetic Tunnel Ju 40
 nction)により構成されている。

そして、ある方向に固定された磁性層を通過するスピン偏極電子が、他の自由な(方向
 を固定されない)磁性層に進入する際に、その磁性層にトルクを与えることを利用したも
 ので、あるしきい値以上の電流を流せば、自由磁性層の磁化の向きが反転する。

0/1の書き換えは、記憶素子に流す電流の極性を変えることにより行う。

【0008】

自由磁性層の磁化の向きの反転のための電流の絶対値は、0.1μm程度のスケールの
 記憶素子で、1mA以下である。しかも、この電流値は、記憶素子の体積に比例して減少
 するため、スケールアップが可能である。

さらにまた、MRAMで必要であった記録用電流磁界を発生させるためのワード線が不 50

要であるため、セル構造が単純になるという利点もある。

【0009】

以下、スピントルク磁化反転を利用したMRAMを、ST-MRAM (Spin Torque - Magnetic Random Access Memory) と呼ぶことにする。

高速かつ書換え回数がほぼ無限大である、というMRAMの利点を保ったまま、低消費電力化や大容量化を可能とする不揮発メモリとして、ST-MRAMに大きな期待が寄せられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】米国特許第5695864号明細書

【特許文献2】特開2003-17782号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ST-MRAMにおいて、磁化反転を引き起こすスピントルクは、磁化の向きに依存して、その大きさが変化する。

【0012】

通常のST-MRAMの記憶素子の構造では、スピントルクがゼロとなる磁化角度が存在する。

初期状態の磁化角度がこの角度に一致したとき、磁化反転に必要な時間が非常に大きくなる。そのため、書き込み時間内に磁化反転が完了しない場合も有りうる。

書き込み時間内に反転が完了しないと、その書き込み動作は失敗（書き込みエラー）となり、正常な書き込み動作を行えないことになる。

【0013】

上述した問題の解決のために、本発明においては、エラーを生じることなく、短い時間で書き込み動作を行うことができる、記憶装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の記憶装置は、磁化の向きが膜面に平行な方向であり、情報を磁性体の磁化状態により保持する記憶層と、この記憶層に対して、非磁性層を介して下層に設けられ、磁化の向きが膜面に平行な方向に固定された固定磁化層とを含む。

さらに、記憶層の固定磁化層とは反対の側である上層に、非磁性層を介して設けられ、磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層とを含む記憶素子とを含む。

そして、この記憶素子に、記憶素子の各層の積層方向に流す電流を供給する配線とを含む。

また、固定磁化層と前記記憶層との間の非磁性層が絶縁層である。

第1の本発明の記憶装置は、さらに、磁性層は膜面に平行な方向の磁化を形成する材料からなり、磁性層の上に、磁性層の磁化を上下方向に固定する反強磁性層が形成されている。

第2の本発明の記憶装置は、さらに、磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層は、MnBi又はPtMnSbから成る。

【0015】

上述の本発明の記憶装置の構成によれば、記憶層に対して、磁化の向きが膜面に平行な方向に固定された固定磁化層とは反対の側に、非磁性層を介して、磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層を設けている。

記憶層の磁化の向きが膜面に平行な方向であるので、磁化の向きが膜面に垂直な方向である磁性層の磁化の向きとの相対角度は90度である。

これにより、記憶層及び固定磁化層のそれぞれの磁化の向きが平行又は反平行になることによる、磁化反転に要する時間の発散を抑えることができるので、所定の有限の時間内

10

20

30

40

50

に記憶層の磁化の向きを反転させて情報の書き込みを行うことが可能になる。

【発明の効果】

【0016】

上述の本発明によれば、所定の時間内に記憶層の磁化の向きを反転させて情報の書き込みを行うことが可能になることから、書き込みエラーを低減することができ、より短い時間で書き込み動作を行うことができる。

書き込みエラーを低減することができるので、書き込み動作の信頼性を向上することができる。

また、より短い時間で書き込み動作を行うことができるので、動作の高速化を図ることができる。

従って、本発明により、書き込み動作の信頼性が高く、高速に動作する記憶装置を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1の実施の形態の記憶装置を構成する記憶素子の概略構成図（断面図）である。

【図2】それぞれのスピンプーラライザ強度における、磁化角度と反転時間との関係を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の記憶装置（メモリ）の概略構成図（平面図）である。

【図4】従来から提案されているST-MRAMの概略構成図（断面図）である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、発明を実施するための最良の形態（以下、実施の形態とする）について説明する。

なお、説明は以下の順序で行う。

1. 本発明の概要
2. 第1の実施の形態

【0019】

< 1. 本発明の概要 >

まず、本発明の具体的な実施の形態の説明に先立ち、本発明の概要について説明する。

従来から提案されているST-MRAMの概略構成図（断面図）を、図4に示す。

【0020】

図4に示すように、下地層51の上に、磁化M52の向きが固定された固定磁化層（参照層とも呼ばれる）52、非磁性層（中間層）53、磁化M54の向きが反転する自由磁化層（記憶層）54、キャップ層55の順に積層されて、記憶素子が構成されている。

このうち、固定磁化層52は、高い保磁力等によって、磁化M52の向きが固定されている。

【0021】

図4に示すST-MRAM（記憶素子）において、一軸異方性を有する記憶層54の磁化（磁気モーメント）M54の向きにより、情報の記憶が行われる。

記憶素子への情報の書き込みは、記憶素子の各層の膜面に垂直な方向（即ち、各層の積層方向）に電流を印加して、記憶層54となる自由磁化層にスピントルク磁化反転を起こさせることにより行う。

【0022】

ここで、スピントルク磁化反転について、簡単に説明する。

電子は、2種類のスピン角運動量をもつ。仮にこれを上向き、下向きと定義する。

非磁性体の内部では、上向きのスピン角運動量を持つ電子と、下向きのスピン角運動量を持つ電子の両者が同数であり、強磁性体の内部では両者の数に差がある。

【0023】

10

20

30

40

50

まず、非磁性層（中間層）53を介して積層された2層の強磁性体（固定磁化層52及び自由磁化層54）において、互いの磁化M52, M54の向きが反平行状態にあり、電子を固定磁化層52から自由磁化層（記憶層）54に移動させる場合について考える。

固定磁化層52を通過した電子は、スピン偏極、即ち、上向きと下向きの数に差が生じている。

非磁性層53の厚さが十分に薄いと、スピン偏極が緩和して通常の非磁性体における非偏極（上向きと下向きが同数）状態になる前に、他方の磁性体、即ち、自由磁化層（記憶層）54に達する。

そして、2層の強磁性体（固定磁化層52及び自由磁化層54）のスピン偏極度の符号が逆になっていることにより、系のエネルギーを下げるために、一部の電子は、反転する、即ち、スピン角運動量の向きが変わる。このとき、系の全角運動量は保存されなくてはならないため、向きを変えた電子による角運動量変化の合計と等価な反作用が、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54にも与えられる。

【0024】

電流量、即ち、単位時間に通過する電子の数が少ない場合には、向きを変える電子の総数も少ないため、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54に発生する角運動量変化も小さいが、電流が増えると、多くの角運動量変化を単位時間内に与えることができる。

角運動量の時間変化はトルクであり、トルクがある閾値を超えると、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54は、歳差運動を開始して、自由磁化層（記憶層）54の一軸異方性により、180度回転したところで安定となる。即ち、反平行状態から平行状態への反転が起こる。

【0025】

一方、2層の強磁性体52, 54の互いの磁化M52, M54が平行状態にあるとき、電流を逆に自由磁化層（記憶層）54から固定磁化層52へ電子を送る向きに流すと、今度は固定磁化層52で電子が反射される。

そして、反射されてスピンの向きが反転した電子が、自由磁化層54に進入する際にトルクを与えて、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54の向きを反転させるので、互いの磁化M52, M54を反平行状態へと反転させることができる。

ただし、この際に、反転を起こすのに必要な電流量は、反平行状態から平行状態へと反転させる場合よりも多くなる。

【0026】

平行状態から反平行状態への反転は、直感的な理解が困難であるが、固定磁化層52の磁化M52が固定されているために反転できず、系全体の角運動量を保存するために自由磁化層54の磁化M54の向きが反転する、と考えるもよい。

【0027】

このように、0/1の情報の記録は、固定磁化層（参照層）52から自由磁化層（記憶層）54への方向、又はその逆方向に、それぞれの極性に対応する、あるしきい値以上の電流を流すことによって行われる。

【0028】

情報の読み出しは、従来型のMRAMと同様に、磁気抵抗効果を用いて行われる。

即ち、上述のように説明した情報の記録の場合と同様に、各層の膜面に垂直な方向（各層の積層方向）に電流を流す。そして、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54の向きが固定磁化層（参照層）52の磁化M52の向きに対して、平行であるか反平行であるかに従って、記憶素子の示す電気抵抗が変化する現象を利用する。

【0029】

さて、非磁性層（中間層）53に用いる材料は、金属でも絶縁体でも構わないが、より高い読み出し信号（抵抗の変化率）が得られ、かつ、より低い電流によって記録が可能とされるのは、非磁性層53に絶縁体を用いた場合である。このときの素子を、強磁性トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction: MTJ）素子と呼ぶ。

【0030】

10

20

30

40

50

前述したスピントルクは、自由磁化層（記憶層）54の磁化M54と固定磁化層（参照層）52の磁化M52との角度によって、大きさが変化する。

磁化M54の向きを表す単位ベクトルを m_1 とし、磁化M52の向きを表す単位ベクトルを m_2 とすると、スピントルクの大きさは、 $m_1 \times (m_1 \times m_2)$ に比例する。ここで、“ \times ”はベクトルの外積である。

【0031】

通常、固定磁化層52の磁化M52は、記憶層54の磁化容易軸方向に固定されている。記憶層54の磁化M54は、記憶層54自身の磁化容易軸方向に向く傾向にある。このとき、 m_1 と m_2 は、0度もしくは180度の角をなす。そのため、前述のスピントルクの式に従えば、スピントルクは全く働かないことになる。

10

現実には、記憶層54の磁化M54は、熱ゆらぎによって磁化容易軸の周りにランダムに分布しているために、固定磁化層52の磁化M52とのなす角度が、0度もしくは180度から離れたときに、スピントルクが働き、磁化反転を起こすことができる。

【0032】

m_1 と m_2 のなす角を θ とすると、磁化反転に要する時間 t_s は、 $t_s = \ln(1/\cos\theta) / (I/I_{c0} - 1)$ と書くことができる。ここで、 τ は記憶層54の材料等で決まる時間パラメータであり、通常数 n_s （ナノ秒）である。IはMTJに流す電流、 I_{c0} は歳差運動を開始するのに必要な電流である。

この式を見てわかるように、 θ がゼロに近づくにつれて、 t_s は無限大に発散する。

今、 $\tau = 1\text{ ns}$ 、 $I/I_{c0} = 1.2$ とし、書き込み時間が 20 ns だったとすると、このとき、 θ が1.7度以下であれば、 $t_s > 20\text{ ns}$ となり、書き込み時間内に反転が終了しないことになり、即ち、書き込みエラーが発生する。

20

【0033】

ST-MRAMの用途にもよるが、書き込みエラー率は $10^{-10} \sim 10^{-15}$ が必要となるため、 $\theta < 1.7$ 度となる確率は無視できないものとなる。

書き込みエラー率を下げるためには、MTJに流す電流Iを大きくすることが効果的である。しかし、反面、電流Iを大きくすると、消費電流の増加や素子の絶縁破壊等の別の問題も生じるため、電流を大きくすることも制限される。

【0034】

そこで、本発明においては、上述した書き込みエラー率を減少させるために、記憶素子の各磁性層の膜面に垂直な方向（積層方向、上下方向）の磁化を持つスピンプォーライザ層を、通常のMTJ素子に付加して、記憶素子を構成する。

30

即ち、自由磁化層（記憶層）の固定磁化層（参照層）とは反対側に、スピンプォーライザ層を配置して、さらに、スピンプォーライザ層と自由磁化層（記憶層）との間に非磁性層を設ける。

これによって、スピントルクが働かなくなる現象を回避して、どのような磁化角度であっても、有限の時間で磁化反転が起きるようにすることが可能になる。

【0035】

< 2. 第1の実施の形態 >

続いて、本発明の具体的な実施の形態を説明する。

40

本発明の第1の実施の形態の記憶装置を構成する記憶素子の概略構成図（断面図）を、図1に示す。

【0036】

図1に示す記憶素子10は、下地層11の上に、磁化M12の向きが固定された固定磁化層（参照層とも呼ばれる）12、非磁性層13（中間層とも呼ばれる）、磁化M14の向きが反転する自由磁化層（記憶層）14の順に積層されている。

固定磁化層12は、磁化M12の向きが、固定磁化層12の膜面に平行な方向（図1の場合は図中右向き）に固定されている。

ここまでは、図4に示した従来のST-MRAMの構成と同様である。

なお、図示しないが、下地層11と固定磁化層12との間に、固定磁化層12の磁化M

50

12の向きを固定するために、反強磁性体から成る反強磁性層を設けてもよい。

【0037】

さらに、本実施の形態の記憶素子10では、図4に示した従来のST-MRAMのMTJの構成とは異なり、記憶層14の上部に、非磁性層15を介して、前述したスピンプォーライザ層16が設けられている。キャップ層17は、スピンプォーライザ層16の上に積層されている。

他の磁性層12, 14とは異なり、スピンプォーライザ層16の磁気モーメント(磁化)M16は、記憶素子10の各層の膜面(スピンプォーライザ層16の膜面を含む)に対して垂直な方向(各層の積層方向、上下方向)を向いている。

【0038】

また、本実施の形態において、スピンプォーライザ層16の磁気モーメント(磁化)M16は、図1に示すように、上向きに固定されている。

なお、本発明においては、スピンプォーライザ層の磁気モーメント(磁化)が下向きに固定されている構成としても良い。

【0039】

スピンプォーライザ層16の材料としては、垂直磁化膜を形成する磁性材料を用いる。

このような材料としては、例えば、TePt, CoPt, TbFeCo, GdFeCo, CoPd, MnBi, MnGa, PtMnSb, Co-Cr系材料等が挙げられる。また、これらの材料以外の、垂直磁化膜を形成する磁性材料を使用することが可能である。

垂直磁化膜を形成する磁性材料を用いることにより、反強磁性体等によって磁化を上下方向に固定しなくても、スピンプォーライザ層16を形成することができる。

【0040】

なお、垂直磁化膜を形成する磁性材料を用いなくて、膜面方向の磁化を形成する磁性材料を用いてスピンプォーライザ層を形成するには、反強磁性体等によって磁化を上下方向に固定する必要がある。そのため、図1の構成に加えて、スピンプォーライザ層の上に反強磁性層を形成することになる。

【0041】

記憶層14とスピンプォーライザ層16との間の非磁性層15には、Ru等、磁気抵抗効果素子の磁性層の間に用いられる、非磁性の金属を使用することができる。

【0042】

なお、固定磁化層12と記憶層14との間の非磁性層(中間層)13には、トンネル絶縁膜を形成するための絶縁材料(各種酸化物等)、もしくは、磁気抵抗効果素子の磁性層の間に用いられる、非磁性の金属を使用することができる。

この非磁性層(中間層)13の材料として、絶縁材料を用いると、前述したように、より高い読み出し信号(抵抗の変化率)が得られ、かつ、より低い電流によって記録が可能となる。

【0043】

固定磁化層12及び記憶層14には、従来のST-MRAMのMTJにおいて使用されている、各種の磁性材料を使用することができる。

例えば、固定磁化層12にCoFeを使用し、記憶層14にCoFeBを使用することができる。

【0044】

本実施の形態の記憶素子10では、記憶層14の上部に、非磁性層15を介して、スピンプォーライザ層16が設けられているので、前述したように、スピントルクが働かなくなる現象を回避することができる。これにより、どのような磁化角度であっても、有限の時間で磁化反転が起きるようにすることが可能になる。

【0045】

ここで、本実施の形態の記憶素子10について、図4に示した従来のST-MRAMのMTJと同様に、磁化のなす角度と磁化反転に要する時間との関係を考察する。

スピンプォーライザ層16の磁化M16の向きを表す単位ベクトルを、 m_3 とする。

10

20

30

40

50

記憶層 1 4 の磁化 M_{14} に作用するスピントルクの大きさは、固定磁化層 1 2 に由来するスピントルクと、スピンプローライザ層 1 6 に由来するスピントルクとの和となる。

即ち、記憶層 1 4 の磁化 M_{14} に作用するスピントルクの大きさは、 $A \cdot m_{1x} (m_{1x} m_{2y}) + B \cdot m_{1x} (m_{1x} m_{3z})$ に比例する。ここで、“ \times ” はベクトルの外積であり、 A 及び B はそれぞれスピントルクの寄与率を表す定数である。

従来の ST-RAM の MTJ と同様に、固定磁化層 1 2 の磁化 M_{12} は、記憶層 1 4 の磁化容易軸方向に固定されている。

記憶層 1 4 の磁化 M_{14} が記憶層 1 4 自身の磁化容易軸を向いているときには、 m_{1x} と m_{2y} は 0 度もしくは 180 度の角をなすから、固定磁化層 1 2 からのスピントルクは全く働かない。

しかしながら、このとき、 m_{3z} と m_{1x} は直交しているから、 $B \cdot m_{1x} (m_{1x} m_{3z})$ は非ゼロであり、スピンプローライザ層 1 6 からはスピントルクが働くことがわかる。

このように、従来の MTJ ではスピントルクがゼロになってしまう場合にも、本実施の形態の記憶素子においては、スピントルクが働き、磁化反転が推進されることがわかる。

【0046】

従来の MTJ においては、 m_{1x} と m_{2y} のなす角を θ とすると、反転に要する時間 t_s は $t_s = \ln(1/\cos\theta) / (I/I_{c0} - 1)$ と書くことができた。

磁性層が 3 層となった本実施の形態の構成では、このような解析的な式を得ることができない。

【0047】

そこで、スピンプローライザ層 1 6 を設けたことによる効果を調べるために、計算機シミュレーションを行った。

磁化の空間分布がないとする、いわゆるマクロスピンモデルを用い、磁化運動の時間発展をさまざまな磁化角度において計算した。スピントルクの寄与率を表す定数は、 A を 1.0 に固定して、 B を -0.8 から 0.8 まで 0.2 刻みで変えて、それぞれのスピンプローライザ強度 (B/A) の値に対して、計算を行った。また、磁化角度は -20 度から 20 度までの範囲、書き込み時間を 20 ns とした。

計算結果として、それぞれのスピンプローライザ強度における、磁化角度と反転時間との関係を、図 2 に示す。

【0048】

図 2 中、中央のスピンプローライザ強度 0 となっているグラフが、従来の MTJ に相当する。この場合、磁化角度がゼロの点で、グラフが途切れていることが分かる。これは、反転時間が 20 ns 以上となっていることを示している。磁化角度がこの途切れた領域内にいる場合、書き込みは失敗することになる。

この途切れた領域の範囲は、 ± 2 度程度と狭い範囲であるものの、前述したように、書き込みエラー率は $10^{-10} \sim 10^{-15}$ が必要となるため、無視できない大きさである。

また、磁化角度がゼロから大きくなるにつれて、書き込み時間は単調に減少している。これは、書き込み時間の式： $t_s = \ln(1/\cos\theta) / (I/I_{c0} - 1)$ において、対数部分が磁化角度の単調減少関数であるためである。

【0049】

次に、スピンプローライザ強度が ± 0.2 、 ± 0.4 の場合を見てみる。

これらの場合、スピンプローライザ層 1 6 の効果によって、磁化角度ゼロでもスピントルクが働くため、磁化角度ゼロの位置での反転時間は、 ± 0.2 の場合で 13 ns、 ± 0.4 の場合で 10 ns と有限の大きさになっている。そして、スピンプローライザ強度が大きいほど、反転時間が短くなる傾向にあることが分かる。

磁化角度がゼロになるのは、記憶層 1 4 の磁化 M_{14} が記憶層 1 4 自身の磁化容易軸方向を向いた、最も安定した状態である。

記憶層 1 4 の磁化 M_{14} の方向は、熱的にゆらぐものの、この最安定状態付近にいる確率が大きい。このため、磁化角度ゼロでの反転時間が短くなるのは、書き込みエラー率を減

10

20

30

40

50

小さくさせる上で効果が大きい。

一方、磁化角度がゼロでない部分で、従来のMTJと同様に反転時間が増大していることが分かる。具体的には、 ± 0.2 の場合で ± 2.5 度付近、 ± 0.4 の場合で ± 5 度付近である。これらの点でグラフが途切れていて、反転時間が 20 ns 以上となっていることを示している。これは、従来のMTJの反転時間曲線を左右にシフトしたものとみなすことができる。これらの反転時間が発散する角度は、磁化容易軸とは離れているために、その近辺に磁化がくる確率は角度ゼロの場合にくらべて小さい。即ち、従来のMTJのときほど深刻でないが、依然として $10^{-10} \sim 10^{-15}$ の書き込みエラー率を達成するには障害となりうる。

【0050】

さらに、スピンプローライザ強度が ± 0.6 、 ± 0.8 の場合をしてみる。

これらの場合、磁化角度ゼロの位置での反転時間は、 ± 0.6 の場合で 8 ns 、 ± 0.8 の場合で 6 ns とさらに小さくなっている。

また、 ± 0.6 の場合で ± 8 度、 ± 0.8 の場合で ± 11 度付近で反転時間がピークになる。

ただし、スピンプローライザ強度の絶対値が 0.4 以下の場合と比較して、顕著な違いがみられる。それは、グラフが途切れずに連続につながっている点である。これは、いかなる磁化角度においても反転時間が 20 ns を上回ることがないということの意味している。その結果として、 20 ns の書き込み時間であれば、書き込みエラーは全く起きない。

このように、適切なスピンプローライザ強度を満たせば、 $10^{-10} \sim 10^{-15}$ といった極めて小さな書き込みエラー率でも達成可能となることがわかる。

【0051】

次に、図1に示した記憶素子10を用いた、本発明の第1の実施の形態の記憶装置(メモリ)の概略構成図(平面図)を、図3に示す。

この記憶装置(メモリ)30は、図3に示すように、マトリクス状に直交配置させたそれぞれ多数の第1の配線(例えばビット線)31及び第2の配線(例えばワード線)32の交点に、記憶素子10を配置して構成されている。

記憶素子10は、平面形状が楕円形状とされ、図1に示した断面構造を有する

また、記憶素子10は、図1に示したように、固定磁化層12と、記憶層(自由磁化層)14と、スピンプローライザ層16を有している。

そして、各記憶素子10によって、記憶装置30のメモリセルが構成される。

【0052】

第1の配線31及び第2の配線32は、図示しないが、それぞれ記憶素子10に電氣的に接続され、これらの配線31, 32を通じて、記憶素子10に記憶素子10の各層の積層方向(上下方向)の電流を流すことができる。

そして、この電流を記憶素子10に流すことにより、記憶層14の磁化の向きを反転させて、情報の記録を行うことができる。具体的には、従来のST-MRAMと同様に、記憶素子10に流す電流の極性(電流の方向)を変えることにより、記憶層14の磁化の向きを反転させて、情報の記録を行う。

【0053】

上述の本実施の形態によれば、記憶装置30のメモリセルを構成する各記憶素子10において、記憶層14に対して、固定磁化層(参照層)12とは反対の側に、非磁性層15を介して、上向きの磁化M16を有するスピンプローライザ層16を設けている。

スピンプローライザ層16の磁化M16の向きが上向きであり、記憶層の面内方向である記憶層14の磁化M14の向きに対して垂直であることから、記憶層14の磁化M14の向きを記憶層14の磁化容易軸方向から動かすことが可能になる。

これによって、記憶層14の磁化M14に対するスピントルクが働かなくなる現象を回避することができる。

即ち、記憶層14の磁化M14の向きと固定磁化層12の磁化M12の向きとのなす角

10

20

30

40

50

度が、0度や180度もしくはその近傍であっても、所定の有限の時間内で記憶層14の磁化M14の向きを反転させて、情報を記録することが可能になる。

【0054】

従って、本実施の形態によれば、所定の時間内に記憶層の磁化の向きを反転させて情報の書き込みを行うことが可能になることから、書き込みエラーを低減することができ、より短い時間で書き込み動作を行うことができる。

書き込みエラーを低減することができるので、書き込み動作の信頼性を向上することができる。

また、より短い時間で書き込み動作を行うことができるので、動作の高速化を図ることができる。

即ち、書き込み動作の信頼性が高く、高速に動作する記憶装置を実現することが可能になる。

【0055】

上述の実施の形態では、自由磁化層（記憶層）14及び固定磁化層（参照層）12を、単層の磁性層により形成していた。

本発明では、これら自由磁化層及び固定磁化層の少なくとも一方を、複数の磁性層により形成しても構わない。例えば、組成の異なる複数層の磁性層を直接積層したり、複数層の磁性層を非磁性層を介して積層して反強磁性的に結合させた構成としたりしても、構わない。

【0056】

また、上述の実施の形態では、下層側から、固定磁化層（参照層）12、非磁性層13、自由磁化層（記憶層）14、非磁性層15、スピンプーライザ層16の順で配置されていたが、本発明では、これら各層の順序を上下逆にした配置も可能である。

上述の実施の形態のように、固定磁化層12を下層側にした場合には、図示しない反強磁性層等、比較的厚い層が下層側になるため、上層側にある構成よりも、記憶素子をパターンニングするエッチングが容易にできる利点を有する。

【0057】

本発明は、上述の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲でその他様々な構成が取り得る。

【符号の説明】

【0058】

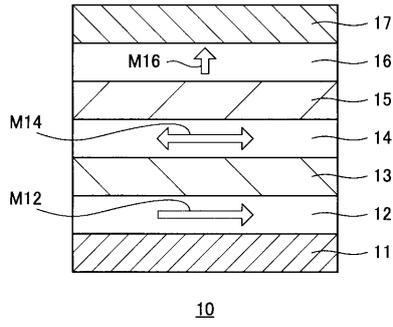
10 記憶素子、11 下地層、12 固定磁化層（参照層）、13 非磁性層（中間層）、14 自由磁化層（記憶層）、15 非磁性層、16 スピンプーライザ層、17 キャップ層、30 記憶装置（メモリ）、31 第1の配線、32 第2の配線

10

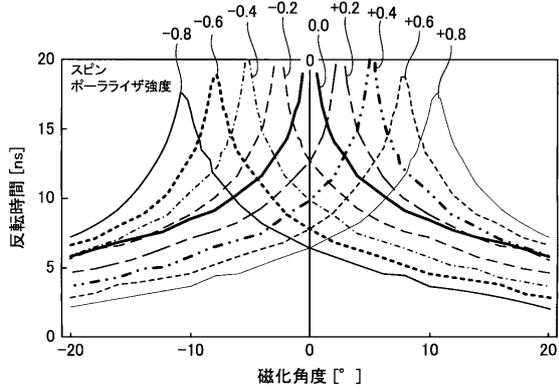
20

30

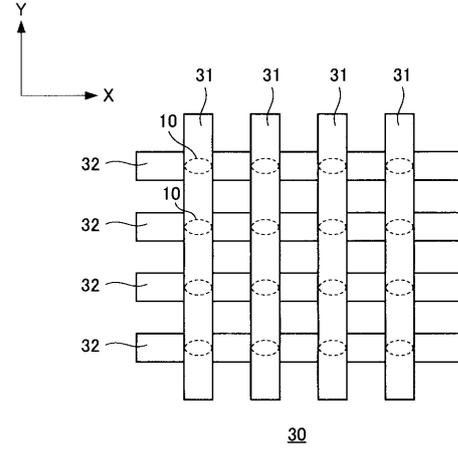
【図1】



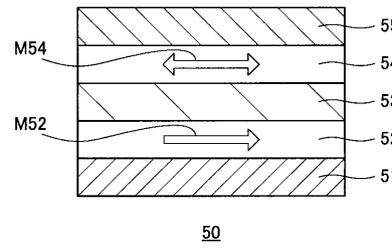
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

- (72)発明者 別所 和宏
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 山根 一陽
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 内田 裕行
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

審査官 上田 智志

- (56)参考文献 特開2008-028362(JP,A)
国際公開第2009/145161(WO,A1)
国際公開第2009/157100(WO,A1)
国際公開第2010/065753(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/8246,
27/105, 27/22,
29/82,
43/00 - 43/14