

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-87870

(P2004-87870A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 43/08	HO 1 L 43/08	5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/15	G 1 1 C 11/15	5 F 0 8 3
HO 1 F 10/16	HO 1 F 10/16	
HO 1 F 10/32	HO 1 F 10/32	
HO 1 L 27/105	HO 1 L 27/10 4 4 7	
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 14 頁)		

(21) 出願番号	特願2002-248002 (P2002-248002)	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成14年8月28日 (2002.8.28)	(74) 代理人	100086298 弁理士 船橋 國則
		(72) 発明者	別所 和宏 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	細見 政功 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	水口 徹也 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
最終頁に続く			

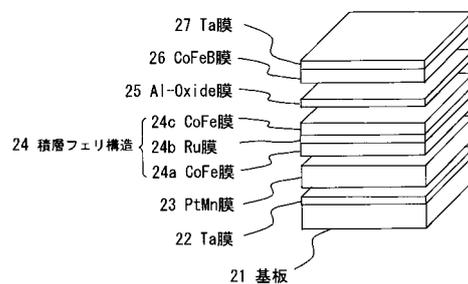
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子および磁気メモリ装置

(57) 【要約】

【課題】 各記憶素子間の反転磁界のばらつきおよびアステロイドのずれを抑制し、これにより各記憶素子への選択記録のマージンを大きく確保する。

【解決手段】 少なくとも二つの強磁性層 2 4 , 2 6 とこれら間に挟まれる絶縁層 2 5 とを含む積層構造を具備し、一方の強磁性層 2 6 が磁化方向の反転可能な自由層として機能し、他方の強磁性層 2 4 が磁化方向の反転しない固定層として機能する磁気抵抗効果素子において、前記固定層 2 6 が前記自由層 2 4 に静磁界を印加するための磁界印加部材としての機能を有しており、前記静磁界を印加すべく前記固定層 2 6 からの漏洩磁界の強さが所定値以上となるように設定されている。

【選択図】 図 4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも二つの強磁性層とこれらの中に挟まれる絶縁層とを含む積層構造を具備し、一方の強磁性層が磁化方向の反転可能な自由層として機能し、他方の強磁性層が磁化方向の反転しない固定層として機能する磁気抵抗効果素子において、前記自由層に静磁界を印加するための磁界印加部材を備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】

前記静磁界の強さ H と、磁気抵抗効果素子の磁化容易軸方向の長さ L の積の絶対値が 1.5 [エルステッド * ミクロンメートル] 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 3】

前記磁界印加部材は、前記固定層または当該固定層の前記絶縁層側と反対側に積層される反強磁性の参照層の少なくとも一方であり、前記静磁界は、前記固定層または前記参照層の少なくとも一方からの漏洩磁界であることを特徴とする請求項 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】

前記固定層および前記参照層のうちの前記磁界印加部材として機能する層の厚さ t と飽和磁化 M との積 Mt が、 $750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上または $-2000 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足するように構成されていることを特徴とする請求項 3 記載の磁気抵抗効果素子。

20

【請求項 5】

前記固定層および当該固定層の前記絶縁層側と反対側に積層される反強磁性の参照層として $\text{CoFe} / \text{Ru} / \text{CoFe} / \text{PtMn}$ が順に積層された積層構造を備え、前記静磁界として当該積層構造からの漏洩磁界を用いるとともに、当該積層構造を構成する各層の厚さ t と飽和磁化 M との積 Mt の符号を含めた合計 Mt が、 $750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上または $-2000 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足するように構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】

少なくとも二つの強磁性層とこれらの中に挟まれる絶縁層とを含む積層構造を具備し、一方の強磁性層が磁化方向の反転可能な自由層として機能し、他方の強磁性層が磁化方向の反転しない固定層として機能する磁気抵抗効果素子を備えており、当該磁気抵抗効果素子における自由層の磁化方向の変化を利用して情報記録を行う磁気メモリ装置において、前記自由層に静磁界を印加するための磁界印加部材を備えていることを特徴とする磁気メモリ装置。

30

【請求項 7】

前記静磁界の強さ H と、磁気抵抗効果素子の磁化容易軸方向の長さ L の積の絶対値が 1.5 [エルステッド * ミクロンメートル] 以上であることを特徴とする請求項 6 記載の磁気メモリ装置。

40

【請求項 8】

前記磁界印加部材は、前記固定層または当該固定層の前記絶縁層側と反対側に積層される反強磁性の参照層の少なくとも一方であり、前記静磁界は、前記固定層または前記参照層の少なくとも一方からの漏洩磁界であることを特徴とする請求項 6 記載の磁気メモリ装置。

【請求項 9】

前記固定層および前記参照層のうちの前記磁界印加部材として機能する層の厚さ t と飽和磁化 M との積 Mt が、 $750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上または $-2000 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足するように構成されていることを特徴とする請求項 6 記載の磁気メモリ装置。

50

【請求項10】

前記固定層および当該固定層の前記絶縁層側と反対側に積層される反強磁性の参照層としてCoFe/Ru/CoFe/PtMnが順に積層された積層構造を備え、前記静磁界として当該積層構造からの漏洩磁界を用いるとともに、当該積層構造を構成する各層の厚さ t と飽和磁化 M との積 Mt の符号を含めた合計 Mt が、 750 emunm/cc 以上または -2000 emunm/cc 以下のいずれかを満足するように構成されていることを特徴とする請求項6記載の磁気メモリ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明は、外部から加える磁界によって抵抗値が変化するという、いわゆるMR (Magnetoresistive) 効果を生ずる磁気抵抗効果素子およびその磁気抵抗効果素子を用いて情報を記憶するメモリデバイスとして構成された磁気メモリ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、情報通信機器、特に携帯端末装置等の個人用小型機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成するメモリやロジックといったデバイスには、高集積化、高速化、低電力化等、より一層の高性能化が要請されている。特に、不揮発性メモリの高密度・大容量化は、可動部分(例えばヘッドシーク機構やディスク回転機構)の存在により本質的に小型化が困難なハードディスク装置や光ディスク装置を置き換える相補的な技術として、益々重要になりつつある。

20

【0003】

このような要求に応え得る不揮発性メモリとして注目されているのが、MRAM (Magnetic Random Access Memory) と呼ばれる磁気メモリ装置である。MRAMは、巨大磁気抵抗効果(Giant Magnetoresistive; GMR)型またはトンネル磁気抵抗効果(Tunnel Magnetoresistive; TMR)型の記憶素子を用いて情報記録を行うもので、特に近年のTMR材料の特性向上により注目を集めるようになってきている(例えば、「Najiet al. ISSCC 2001」)。

30

【0004】

ここで、MRAMの動作原理について簡単に説明する。MRAMは、マトリクス状に配列された磁気抵抗効果型の記憶素子(セル)を有するとともに、特定の記憶素子への情報記録のためにこれら素子群を縦横に横切る導線(ワード線)および読出し用線(ビット線)を有しており、その交差領域に位置する素子のみを選択的に情報の書き込みを行うように構成されている。つまり、記憶素子への書き込みは、ワード線およびビット線の両方に電流を流すことによって生ずる合成電流磁界を用いて、各記憶素子における磁性体の磁化方向を制御することにより行う。一般的には、磁化の向きに応じて、「0」または「1」のいずれかの情報を記憶させる。一方、記憶素子からの情報の読み出しは、トランジスタ等の素子を用いて記憶素子の選択を行い、磁気抵抗効果を通じてその記憶素子における磁性体の磁化方向を電圧信号として取り出すことによって行う。記憶素子の膜構成としては、強磁性体/非磁性体/強磁性体からなる三層構造、すなわち強磁性トンネル接合(Magnetic Tunnel Junction; MTJ)と呼ばれる構造が提案されている。MTJ構造では、片方の強磁性体を固定参照層(ピンド/リファレンス層)、他方を自由層(フリー層)として用いることによって、トンネル磁気抵抗効果を通じて自由層における磁化方向が電圧信号と対応するようになるので、上述したような電圧信号としての取り出しが実現可能となるのである。

40

【0005】

続いて、書き込み時における記憶素子の選択についてさらに詳しく説明する。一般に、強磁性体の容易軸方向に磁化方向と反対向きの磁界を印加すると、ある臨界値 $\pm H_{sw}$ (以

50

下「反転磁界」という)において、磁化方向が印加された磁界の方向に反転することが知られている。この反転磁界の値は、理論的にはエネルギー最小条件から求めることができる。さらに、磁化容易軸だけでなく磁化困難軸方向にも磁界を印加した場合には、この反転磁界の絶対値が減少することが知られている。これも、やはりエネルギー最小条件から求めることができる。すなわち、磁化困難軸方向に印加した磁界を H_x とすると、このときの反転磁界 H_y との間には、 $H_x^{(2/3)} + H_y^{(2/3)} = H_c^{(2/3)}$ という関係が成立する。 H_c は自由層の異方性磁界である。この曲線は、図 11 (a) に示すように、 $H_x - H_y$ 平面上でアステロイド(星芒)を形成するため、アステロイド曲線と呼ばれる。

【0006】

記憶素子の選択は、このアステロイドを用いて説明するのが簡単である。一般に、ワード線からの発生磁界が磁化容易軸方向と略一致している構成の MRAM においては、ワード線からの発生磁界により磁化を反転させて情報の記録を行う。ところが、そのワード線から等距離に位置する記憶素子は複数個あるため、ワード線に反転磁界以上の磁界を発生させる電流を流すと、これら等距離に位置する記憶素子の全てについて同様に記録をしてしまうことになる。ただし、このとき、選択したい記憶素子を横切るビット線に電流を流し、磁化困難軸方向の磁界を発生させると、その選択したい記憶素子における反転磁界が下がる。したがって、このときの反転磁界を $H_c(h)$ とし、ビット線磁界が「0」の場合の反転磁界を $H_c(0)$ とすると、ワード線磁界 H を $H_c(h) < H < H_c(0)$ となるように設定すれば、その選択したい記憶素子のみに対して選択的に情報記録を行うことができるようになる。これが MRAM における情報記録時の記憶素子選択の手法である。

【0007】

このような構成の MRAM は、不揮発性であり、非破壊読み出しおよびランダムアクセスが可能であるという点の他に、以下に述べるような特徴を有する。すなわち、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また記憶素子における磁気モーメントの回転により情報記録を行うために書き換え可能回数が大である(例えば、 10^{16} 回以上)。さらには、アクセス時間についても非常に高速であることが予想され、既にナノ秒台で動作可能であることが確認されている(例えば、5 ns 以下)。また、MOS (Metal Oxide Semiconductor) 作製後に配線工程のみで形成されるため、プロセス整合性がよい。特に、書き換え可能回数、ランダムアクセス、高速動作の3点においてフラッシュメモリよりも優れ、またプロセス整合性の点で FeRAM (Ferroelectric Random Access Memory) に勝る。さらには、DRAM (Dynamic Random Access Memory) 並みの高集積度と SRAM (Static Random Access Memory) 並みの高速性を両立できると期待されるため、メモリ装置の主流となり得る可能性を秘めている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、MRAM については、フラッシュメモリや FeRAM 等といった他の不揮発性メモリあるいは DRAM や SRAM 等の揮発性メモリのような MOS スイッチ等ではなく、直交磁場による選択記録という特徴的な書き込み方式を採用しているため、MRAM 固有の技術的課題も存在する。直交磁場による選択記録については、既に図 11 (a) のアステロイド曲線を参照しながら説明したが、図例のアステロイド曲線は理想的なものであり、現実に MRAM を評価することで得られるアステロイド曲線は、図 11 (b) に示すような二つの特徴を有したものとなる。すなわち、現実に得られるアステロイド曲線においては、1 各困難軸方向磁界に対する反転磁界の値が各記憶素子間で異なっており(以下、このことを「反転磁界のばらつき」という)、また 2 アステロイド曲線自体に容易軸磁場方向(図中の上下方向)へのずれが生じている(以下、このことを「アステロイドのずれ」という)。

【0009】

これら二つの特徴 1 , 2 を有したアステロイド曲線の場合には、直交磁場による

10

20

30

40

50

選択記録を行うことが可能な領域が、図11(b)中におけるハッチング領域に限られてしまい、図11(a)に示す理想的なアステロイド曲線の場合に比べて、選択記録のマージン確保が困難になってしまう。このことから、情報記録時の素子選択を的確に行うためには、各記憶素子間の反転磁界のばらつきを抑制するとともに、アステロイドのずれを「0」に近づけることが重要である。

【0010】

ところが、現実的には、反転磁界ばらつきの制御は極めて困難である。すなわち、反転磁界のばらつきは、素子寸法のばらつきや形状、自由層の磁気異方性や磁気ひずみ、さらには界面粗さ等、多数の起源の複合によるものであり、回路設計の観点から要求されるばらつきスペックを満たすことは一般に困難であると考えられている。また、アステロイドのずれについては、固定参照層と自由層との間に磁気的な相互作用が存在するために起こる現象であり、界面粗さおよび素子端部の磁極間の静磁相互作用がその起源である。この静磁相互作用を「0」にすることは、極めて困難である。したがって、アステロイドのずれを「0」に近づけることも容易ではないと考えられている。

10

【0011】

本発明は、以上のような従来の実情に鑑みて、各記憶素子間の反転磁界のばらつきを抑制し、かつ、アステロイドのずれを「0」に近づけることを容易に実現可能とし、これにより選択記録のマージンを大きく確保して良好な記録特性を実現することができる磁気抵抗効果素子および磁気メモリ装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために案出された磁気抵抗効果素子で、少なくとも二つの強磁性層とこれらとに挟まれる絶縁層とを含む積層構造を具備し、一方の強磁性層が磁化方向の反転可能な自由層として機能し、他方の強磁性層が磁化方向の反転しない固定層として機能する磁気抵抗効果素子において、前記自由層に静磁界を印加するための磁界印加部材を備えていることを特徴とするものである。

20

【0013】

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された磁気メモリ装置で、少なくとも二つの強磁性層とこれらとに挟まれる絶縁層とを含む積層構造を具備し、一方の強磁性層が磁化方向の反転可能な自由層として機能し、他方の強磁性層が磁化方向の反転しない固定層として機能する磁気抵抗効果素子を備えており、当該磁気抵抗効果素子における自由層の磁化方向の変化を利用して情報記録を行う磁気メモリ装置において、前記自由層に静磁界を印加するための磁界印加部材を備えていることを特徴とするものである。

30

【0014】

上記構成の磁気抵抗効果素子および磁気メモリ装置によれば、磁界印加部材からの静磁界によって、自由層に例えば磁化容易軸方向に一定強さの静磁界が印加される。したがって、自由層では、その静磁界の印加によって、磁化方向の反転閾値の不均衡を補正し得るとともに、アステロイドのずれの補正も実現容易となる。つまり、静磁界の印加により磁化反転機構が単純化され、従来技術では困難であった反転磁界のばらつきを低減でき、選択記録マージンを拡大することが可能となる。

40

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、図面に基づき本発明に係る磁気抵抗効果素子および磁気メモリ装置について説明する。ここでは、磁気抵抗効果素子としてTMR型スピンバルブ素子(以下、単に「TMR素子」という)を、また磁気メモリ装置としてTMR素子を備えたMRAMを、それぞれ例に挙げて説明する。

【0016】

まず、はじめに、本発明に係る磁気メモリ装置全体の概略構成について説明する。図1は、MRAMの基本的な構成例を示す模式図である。MRAMは、マトリクス状に配された複数のTMR素子1を備えている。さらに、これらのTMR素子1が配された行および列

50

のそれぞれに対応するように、相互に交差するワード線 2 およびビット線 3 が、各 TMR 素子 1 群を縦横に横切るように設けられている。そして、各 TMR 素子 1 は、ワード線 2 とビット線 3 とに上下から挟まれた状態で、かつ、これらの交差領域に位置するように、それぞれが配置されている。なお、ワード線 2 およびビット線 3 は、Al (アルミニウム)、Cu (銅) またはこれらの合金等の導電性物質を、化学的または物理的に堆積した後、選択的にエッチングする、といった周知の手法を用いて形成されるものとする。

【0017】

図 2 は、MRAM を構成する単一の TMR 素子部分の断面構成の一例を示す模式図である。それぞれの TMR 素子部分では、半導体基板 4 上に、ゲート電極 5、ソース領域 6 およびドレイン領域 7 からなる電界効果トランジスタが配設され、さらにその上方に、ワード線 2、TMR 素子 1 およびビット線 3 が順に配設されている。このことから明らかなように、TMR 素子 1 は、ワード線 2 とビット線 3 との交差点において、これらワード線 2 およびビット線 3 に上下から挟まれるように配されている。なお、TMR 素子 1 は、バイパス線 8 を介して電界効果トランジスタと接続している。

10

【0018】

このような構成により、MRAM では、TMR 素子 1 の自由層に対して、ワード線 2 およびビット線 3 の両方に電流を流すことによって合成電流磁界を発生させ、その合成電流磁界を用いて自由層の磁化方向を変化させることにより、情報の書き込みを行う。また、TMR 素子 1 からの情報の読み出しは、電界効果トランジスタを用いて TMR 素子 1 の選択を行い、その TMR 素子 1 における自由層の磁化方向を電圧信号として取り出すことによ

20

【0019】

続いて、このような MRAM に用いられる TMR 素子 1 自体の構成について説明する。TMR 素子 1 は、MTJ 構造の膜構成を有する。図 3 は、MTJ 構造の基本的な構成例を示す模式図である。MTJ 構造は、強磁性体 / 絶縁体 / 強磁性体からなる三層構造からなり、一方の強磁性層が磁化方向の反転可能な自由層 (フリー層) 11 として機能し、他方の強磁性層が磁化方向の反転しない固定参照層 (ピンド / リファレンス層) 12 として機能する。なお、固定参照層 12 は、強磁性層からなる固定層 (ピンド層) と、その固定層の磁化方向を固定するための反強磁性の参照層 (リファレンス層) とが、互いに積層されたものである。そして、ワード線 2 およびビット線 3 が発生する合成電流磁界によって、その自由層 11 の磁化方向を変化させることで、情報の書き込み (記録) を行うとともに、トンネル MR 効果を通じてその自由層 11 における磁化方向と電圧信号を対応させている。これら二つの強磁性体層、すなわち自由層 11 および固定参照層 12 の間に挟まれた絶縁層 13 は、例えば Al の酸化物からなり、トンネル障壁層として機能するものである。下地層 14 や保護層 15 といったその他の層は、一般には磁性を持たない材料からなる。

30

【0020】

図 4 は、MTJ 構造の TMR 素子をさらに具体的に説明するための模式図である。TMR 素子 1 としては、例えば、被成膜物である基板 (例えばバイパス線) 21 上に、Ta (タンタル) 膜 22 と、PtMn (白金マンガン) 膜 23 と、CoFe (コバルト鉄) 膜 24a と、Ru (ルテニウム) 膜 24b と、CoFe 膜 24c と、Al-Ox (酸化アルミニウム) 膜 25 と、CoFeB (コバルト鉄ホウ素) 膜 26 と、Ta 膜 27 とが、順に積層されてなるものが挙げられる。

40

【0021】

このような TMR 素子 1 のうち、Ta 膜 22 は下地層 14 として機能するようになっている。また、PtMn 膜 23 は反強磁性層として、非磁性層である Ru 膜 24b を介して CoFe 膜 24a、24c が積層された積層フェリ構造 24 は固定層として、それぞれ機能するものである。そして、その積層フェリ構造 24 の磁化方向を PtMn 膜 23 が直接的または間接的に固定することで、これらの各層 23、24 は固定参照層 12 として機能することになる。さらに、Al-Ox 膜 25 は絶縁層 13 として、CoFeB 膜 26 は自由層 11 として、Ta 膜 27 は保護層 15 として、それぞれ機能するようになっている。

50

【0022】

以上のような構成のTMR素子1は、以下のような手順で製造することが考えられる。例えば、背圧を超高真空領域にまで排気したマグネトロンスパッタ装置を用いて、表面を熱酸化したSi(ケイ素)基板21上に、Ta膜22を3nm厚、PtMn膜23を30nm厚、CoFe膜24aを2.5nm厚、Ru膜24bを0.8nm厚、CoFe膜24cを3.1nm、Al膜を1nm厚で、それぞれ順に積層する。このときのCoFe膜24a, 24cのターゲット組成は、例えばCo75Fe25(原子%)とすることが考えられる。そして、Al膜を純酸素中でプラズマ酸化させ、均一なAl-Ox膜27を得る。その後は、再びマグネトロンスパッタ装置により、CoFeB膜26を3nm厚、Ta膜27を5nm厚でそれぞれ順に成膜する。このときのCoFeB膜26のターゲット組成は、(Co90Fe10)80B20(原子%)とすることが考えられる。そして、最後に、PtMn膜23の規則合金化のための熱処理を、磁界中、例えば280で1時間行う。こうして得られるTMR積層膜に対して、その外形を例えば0.8μm×1.6μmの楕円形とする微細加工を施せば、上述した構成のTMR素子1を構成することができる。なお、微細加工は、例えばフォトリソグラフィとイオンミリングの組み合わせによって行えばよい。

10

【0023】

ところで、本実施形態で説明するTMR素子1は、積層フェリ構造24を構成する各CoFe膜24a, 24cの厚さtとその飽和磁化Mとの積Mtの符号を含めた合計Mtが、750emu nm/cc以上または-2000emu nm/cc以下のいずれかを満足するように構成されている点に、大きな特徴がある。ここで、CoFe膜24cはCoFe膜24aと交換相互作用により反平行に結合し、CoFe膜24aはPtMn膜23により一方向に向きやすいように固定されているため、CoFe膜24cもある一方向に向きやすい性質を持つ。ここでは、Mtの符号は、Al-Ox膜25に隣接するCoFe膜24cの磁化容易方向を正としている。

20

【0024】

具体的には、CoFe膜24a, 24cの厚さがそれぞれ2.5nmであり、CoFeの飽和磁化は1500emu/ccであることから、積層フェリ構造24におけるMtは、-(1500×2.5nm)+(1500×3.1nm)=964emu nm/ccとなる。

30

【0025】

このように積層フェリ構造24を構成したのは、その積層フェリ構造24の側端面からの漏洩磁界を自由層11として機能するCoFeB膜26に印加させるためであり、さらには漏洩磁界の強さHと素子の磁化容易軸方向の長さLの積HLが150e*μm(エルステッド*マイクロメートル)以上となるようにするためである。なお、積層フェリ構造24による印加磁界の向は、CoFeB膜26における磁化容易軸方向に沿っているものとする。

【0026】

ここで、積層フェリ構造24におけるMtと漏洩磁界との関係について詳しく説明する。

40

【0027】

先ず、Mtと漏洩磁界との関係の説明に先立ち、CoFeB膜26への印加磁界とそのCoFeB膜26での反転磁界ばらつきについて説明する。ここでは、積層フェリ構造24におけるCoFe膜24aの厚さが異なる試料を4種類作成し、各試料に対する反転磁界ばらつきの評価結果を用いて、その説明を行うものとする。試料としては、CoFe膜24aが3.1nm厚のもの、2.6nm厚のもの、2.1nm厚のもの、1.6nm厚のものの4種類を用意した。素子サイズは0.8μm×1.6μmである。反転磁界ばらつきの評価手法は、公知であるため、ここではその説明を省略する。

【0028】

図5は、各試料に対する反転磁界ばらつきの評価結果を示す説明図である。図例のように

50

、4種類の試料の中では、CoFe膜24aの膜厚が最も厚いものが、CoFeB膜26での反転磁界ばらつきも最も小さいことがわかる。この起源を説明するために、続いて、各試料における反転磁界の非対称性を表すアステロイド曲線の容易軸方向へのずれHfと、素子サイズとの関係について説明する。

【0029】

図6は、アステロイドのずれHfと素子サイズとの関係を示す説明図である。図例より、アステロイドのずれHfと、素子の長軸寸法の逆数 $1/L$ とは、それぞれが互いに線形な関係にあることがわかる。そして、その変化率(傾き)は、積層フェリ構造24からの漏洩磁界を反映したものであると考えられる。つまり、変化率が大きいほど(傾きが急であるほど)、漏洩磁界も大きいのである。

10

【0030】

これら図5および図6に示した結果から、積層フェリ構造24からの漏洩磁界、すなわちCoFeB膜26への印加磁界が強いものほど、そのCoFeB膜26における反転磁界ばらつきは小さくなっていると言える。

【0031】

この関係をさらに多数の試料について示したものが図7である。図例では、図5に示した結果に加え、素子サイズ $0.8\mu\text{m} \times 1.2\mu\text{m}$ のもの、さらに積層フェリ構造24における各膜24a, 24c(参照層とピンド層)の厚さの組み合わせについての結果をまとめて図示してある。この図例からも、アステロイドのずれHfの逆数 $1/L$ に対する変化率の絶対値が大きくなる、すなわち漏洩磁界の影響が大きくなると、反転磁界ばらつきは小さくなっていることがわかる。これは、漏洩磁界の存在が磁化分布を安定化させることにより、磁化方向の反転のメカニズムが単純化されることに起因していると考えられる。また、漏洩磁界がバイアス磁界として機能することから、これにより磁化方向の反転動作の安定化が図られるためとも考えられる。

20

【0032】

つまり、図7より、漏洩磁界の反転磁界ばらつき抑制効果は、横軸をアステロイドのずれHfの逆数 $1/L$ に対する変化率とすれば、素子サイズには大きく依存しない。また、アステロイドのずれHfの変化率が $0 \sim -150\text{e} \cdot \mu\text{m}$ 程度までは大きな効果はなく、 $-150\text{e} \cdot \mu\text{m}$ を超えるあたりから効果が現れ始めている。すなわち、抑制効果を得るためには、アステロイドのずれHfの変化率としての漏洩磁界を、絶対値で $150\text{e} \cdot \mu\text{m}$ 以上とする必要がある。漏洩磁界は、積層フェリ構造24の各膜24a, 24cの材料や膜厚配分等で決定され、その強さは各膜24a, 24cの厚さ t とその飽和磁化 M との積 Mt の合計 Mt がパラメータとなる。なお、各膜24a, 24cでは、それぞれの磁化方向が反平行配列しているため、合計 Mt は実質的にそれぞれの積 Mt の差 Mst となる。

30

【0033】

図8は、差 Mst と漏洩磁界(アステロイドのずれHfの変化率)との関係を示す説明図である。図例によれば、漏洩磁界を絶対値で $150\text{e} \cdot \mu\text{m}$ 以上とするためには、差 Mst が $750\text{e} \cdot \mu\text{m} / \text{cc}$ 以上または $-2000\text{e} \cdot \mu\text{m} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足する必要があることがわかる。

40

【0034】

このことから、本実施形態で説明するTMR素子1では、積層フェリ構造24を構成する各CoFe膜24a, 24cについての差 Mst が $750\text{e} \cdot \mu\text{m} / \text{cc}$ 以上または $-2000\text{e} \cdot \mu\text{m} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足するように、CoFe膜24a, 24cの厚さがそれぞれ 2.5nm 、 3.1nm であり、いずれも飽和磁化が $1500\text{e} \cdot \mu\text{m} / \text{cc}$ の材料であるCoFeによって形成されているのである。

【0035】

ただし、各膜24a, 24cの差 Mst を余りに大きくすると、漏洩磁界の増大は可能となるが、これと同時にピン磁界(PtMn膜23との相互作用磁界)やRu膜24bを介しての交換結合磁界も小さくなってしまうため、低い磁界でCoFeB膜26と積層フ

50

ェリ構造24との反平行配列が崩れてしまい、これが却って反転磁界ばらつきを招いてしまうおそれがある。そのため、漏洩磁界の強さには上限を設けることが望ましい。具体的には、ピン磁界や交換結合磁界等の減少を考慮すれば、 H_f の変化率としては $500 \text{ e} \cdot \mu\text{m}$ 以下にすることが考えられる。これを図8に示した関係に基づいて M_{st} に換算すると、 M_{st} は、 $-3750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上 $3250 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下の範囲に設定することが望ましい。

【0036】

つまり、積層フェリ構造24におけるCoFe膜24a, 24cは、各膜24a, 24cの厚さ t とその飽和磁化 M との差 M_{st} (または合計 M_t) が、 $-3750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上 $-2000 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下または $750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上 $3250 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下の範囲に属するように、それぞれが構成されているものとする。 10

【0037】

このように積層フェリ構造24が構成されていることによって、TMR素子1では、その積層フェリ構造24からの漏洩磁界、すなわちCoFeB膜26への印加磁界として、絶対値で $150 \text{ e} \cdot \mu\text{m}$ 以上の強さを確保することができ、これによりCoFeB膜26における反転磁界ばらつきは小さくすることが可能となる。

【0038】

ところで、反転磁界ばらつき抑制のためには、漏洩磁界 (CoFeB膜26への印加磁界) を強くすることが有効である一方、漏洩磁界は一般にアステロイドずれを大きくするように作用する傾向がある。つまり、反転磁界ばらつきを抑制することによって、積層フェリ構造24とCoFeB膜26の間では、静磁相互作用が大きくなる傾向にある。ところが、アステロイドのずれは、反転磁界ばらつき抑制と同様に、これを「0」に近づける必要があるのは既に述べたとおりである。 20

【0039】

漏洩磁界を強くしつつ、アステロイドのずれを「0」に近づけるためには、当該ずれが発生する別の起源、具体的にはネール結合磁界を強くすることが考えられる。一般に、ネール結合磁界は正の値をとるため、漏洩磁界を負の値に設定するとともに、ネール結合磁界の大きさを調整すれば、そのベクトル和を小さくすることができる。ネール結合磁界の強さは、例えば積層フェリ構造24やCoFeB膜26等の界面のラフネス (表面粗さ) によって調整すればよい。このように、ネール結合磁界とのベクトル和を利用すれば、例えば図9に示すように、漏洩磁界によってアステロイドずれが大きくなる傾向にあっても (図9(a)参照)、そのアステロイドのずれを「0」に近づけるように調整することが可能となる (図9(b)参照)。 30

【0040】

以上のように、本実施形態で説明したTMR素子1およびそのTMR素子1を用いて構成されたMRAMによれば、CoFeB膜26への静磁界の印加によって、そのCoFeB膜26における磁化方向の反転閾値の不均衡を補正し得るとともに、アステロイドのずれを「0」に近づけるように調整することも実現容易となる。つまり、静磁界の印加により磁化反転機構が単純化されるので、各TMR素子1間の反転磁界のばらつきを抑制し、かつ、アステロイドのずれを「0」に近づけることが容易に実現可能となる。したがって、MRAMを構成した場合であっても、選択記録マージンを大きく確保して、良好な記録特性を実現することが可能となる。 40

【0041】

なお、本実施形態では、積層フェリ構造24からCoFeB膜26に対して静磁界を印加する具体的な構成を例に挙げて説明したが、その膜構成の材料および膜厚は一例に過ぎず、これに限定されるものではない。すなわち、少なくとも漏洩磁界を発生させる各膜の厚さ t とその飽和磁化 M との積 M_t の合計 M_t が、 $750 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以上または $-2000 \text{ emunm} / \text{cc}$ 以下のいずれかを満足するように構成されていれば、本実施形態で説明した膜構成に限定されないことは言うまでもない。また、漏洩磁界を発生させる部分の構成も、必ずしも積層フェリ構造24である必要はなく、単層の固定層であっても 50

構わない。さらには、参照層として機能するPtMn膜23の端面を露出させて、そのPtMn膜23からも漏洩磁界が発生するように素子形状を形成し、そのPtMn膜23からの漏洩磁界を利用することも考えられる。

【0042】

また、本実施形態では、CoFeB膜26に対する印加磁界として積層フェリ構造24からの漏洩磁界を利用しており、これによりCoFeB膜26での磁化分布安定化を図るとともに、構成の簡略化を実現している場合を例に挙げて説明したが、磁化分布安定化のための起源となる印加磁界は漏洩磁界に限定されるものではなく、他の磁界発生源を具備したものであっても構わない。図10は、他の磁界発生源を具備した構成例を示す模式図である。図例のように、他の磁界発生源としては、例えばCoFeB膜26上に積層された高保磁力材料からなるCoPt(コバルト白金)膜31(図10(a)参照)や、CoFeB膜26の端面両側に個別に配されたCoPt膜32(図10(b)参照)を用い、その周囲を埋め込み絶縁材33で覆うようにすることも考えられる。この場合であっても、CoPt膜31またはCoPt膜32からCoFeB膜26への印加磁界の強さが150e以上であれば、本実施形態の場合と同様に、反転磁界のばらつきを抑制しつつ、アステロイドのずれを「0」に近づけることが容易に実現可能となる。

10

【0043】

また、本実施形態では、本発明の好適な具体例として、いわゆるボトム型のTMR素子について説明したが、それ以外のものであっても本発明を全く同様に適用することが可能と考えられる。例えば、金属からなる非磁性層を二つの強磁性領域と挟んで巨大磁気抵抗効果を発生させるGMR素子であっても、本発明を適用することで、反転磁界のばらつきやアステロイドずれについての改善効果が期待される。

20

【0044】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明に係る磁気抵抗効果素子および磁気メモリ装置によれば、自由層における静磁界を一定範囲に制御することにより磁化反転過程を単純化し、反転磁界のばらつきを抑制することが可能となる。つまり、各磁気抵抗効果素子間の反転磁界のばらつきを抑制し、かつ、アステロイドのずれを「0」に近づけることを容易に実現可能とすることができる。したがって、磁気メモリ装置を構成した場合であっても、選択記録のマージンを大きく確保して、良好な記録特性を実現することができるようになる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】MRAMの基本的な構成例を示す模式図である。

【図2】MRAMを構成する単一のTMR素子部分の断面構成の一例を示す模式図である。

【図3】MTJ構造の基本的な構成例を示す模式図である。

【図4】MTJ構造のTMR素子をさらに具体的に説明するための模式図である。

【図5】複数種類のTMR素子に対する反転磁界ばらつきの評価結果を示す説明図である。

【図6】図5の各TMR素子におけるアステロイドのずれと素子サイズとの関係を示す説明図である。

40

【図7】複数種類のTMR素子におけるアステロイドのずれと素子サイズとの関係の評価結果を示す説明図である。

【図8】飽和磁化Mとの積Mtの合計Mtと漏洩磁界との関係を示す説明図である。

【図9】アステロイドのずれの一具体例を示す説明図であり、(a)は調整前の状態を示す図、(b)は調整後の状態を示す図である。

【図10】本発明に係る磁気抵抗効果素子の変形例を示す模式図であり、(a)は他の磁界発生源を具備した構成例を示す図(その1)、(b)は他の磁界発生源を具備した構成例を示す図(その2)である。

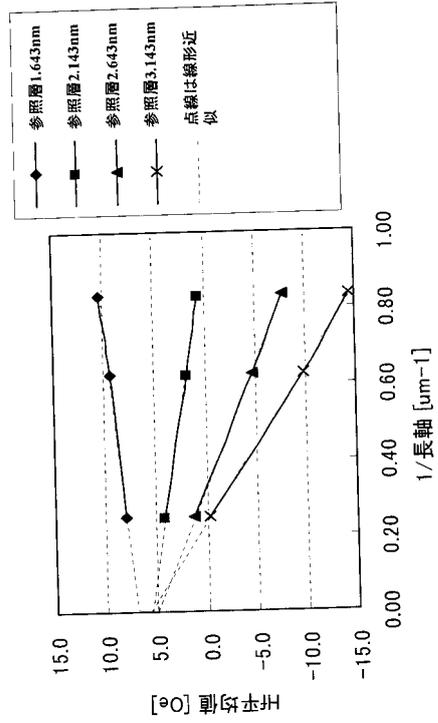
【図11】そのアステロイドの容易軸方向へのずれHfを、TMR素子の長軸方向の寸法Lの逆数に対してプロットして示した説明図である。

50

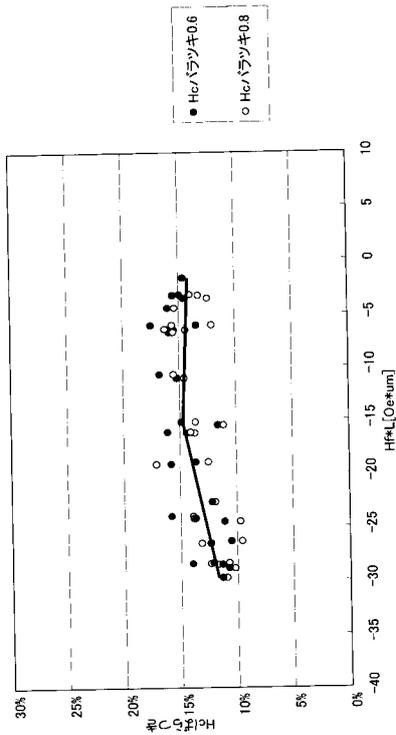
【 図 5 】

Cofe膜厚さ	反転磁界ばらつき (相対標準偏差)
1.6nm	13.8%
2.1nm	12.0%
2.6nm	11.1%
3.1nm	9.7%

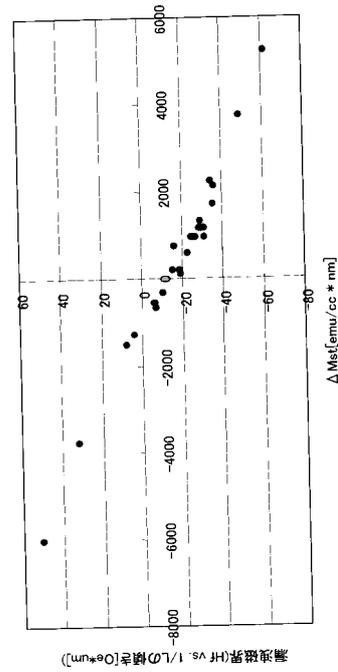
【 図 6 】



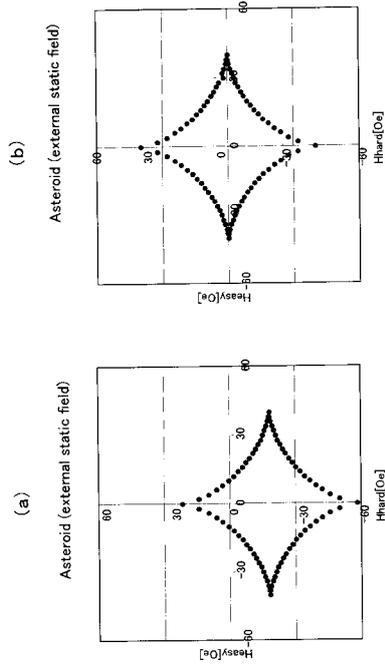
【 図 7 】



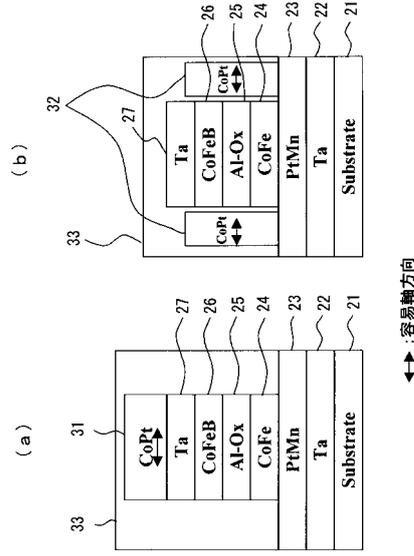
【 図 8 】



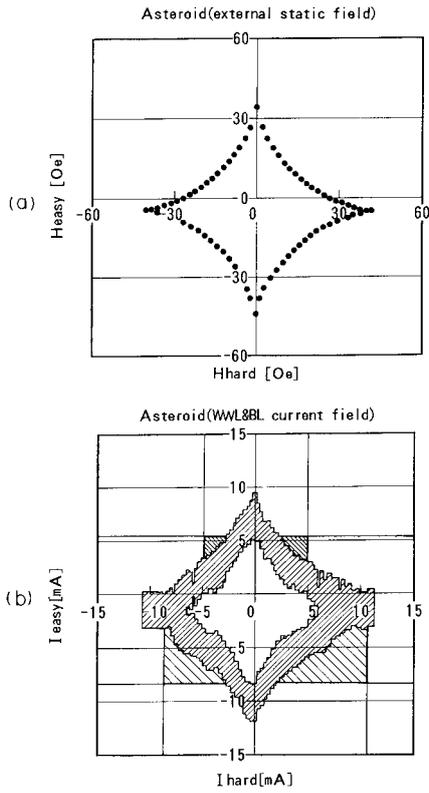
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (72)発明者 大場 和博
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 肥後 豊
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 山元 哲也
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 遠藤 敬太郎
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 窪 真也
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 曾根 威之
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 成沢 浩亮
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 鹿野 博司
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- Fターム(参考) 5E049 AA01 AA04 BA06
5F083 FZ10 LA12 LA16