

(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2007-5664

(P2007-5664A)

(43) 公開日 平成19年1月11日(2007.1.11)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z	5 F 0 8 3
HO 1 L 21/8246 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 4 7	
HO 1 L 27/105 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2005-185876 (P2005-185876)	(71) 出願人	000005234 富士電機ホールディングス株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(22) 出願日	平成17年6月27日(2005.6.27)	(74) 代理人	100133167 弁理士 山本 浩
		(72) 発明者	斉藤 明 神奈川県横須賀市長坂二丁目2番1号 富士電機アドバンステクノロジー株式会社 内
		Fターム(参考)	5F083 FZ10 GA05 JA37 JA38 PR39

(54) 【発明の名称】 スピン注入磁化反転素子

(57) 【要約】

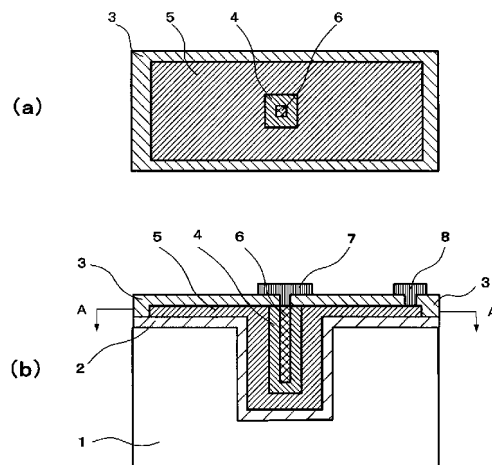
【課題】 記録された磁化を保持する特性と、少ない電流密度で磁化反転を可能とする磁化反転の容易さとを両立した記憶素子ならびに微弱電流センサーを提供することにある。

【解決手段】 強磁性固定層、分離層および強磁性フリー層備えたスピン注入磁化反転素子において、強磁性固定層が分離層に接している面積が、強磁性フリー層が分離層に接している面積よりも大きいことを特徴とする。

または、強磁性固定層が強磁性第1固定層と強磁性第2固定層に分割され、分離層が第1分離層と第2分離層に分割され、強磁性フリー層の対向する主平面の一方の面に第1分離層を介して強磁性第1固定層が配置され、強磁性フリー層の対向する主平面の他方の面に第2分離層を介して強磁性第2固定層が配置され、強磁性第1固定層と強磁性第2固定層が導通することを特徴とする。

強磁性固定層の磁化と体積の積の値が、強磁性フリー層の磁化と体積の積の値よりも大きいことが好ましい。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

強磁性固定層、分離層および強磁性フリー層をこの順に備え、該強磁性固定層と強磁性フリー層の間に流す電流によって、該強磁性固定層と強磁性フリー層の磁化の向きが相互に平行な状態と相互に反平行な状態との間の遷移をもたらすスピン注入磁化反転素子において、

前記強磁性固定層が前記分離層に接している面積が、前記強磁性フリー層が前記分離層に接している面積よりも大きいことを特徴とするスピン注入磁化反転素子。

【請求項 2】

前記強磁性フリー層の一つの面に電極を接続し、
前記強磁性フリー層の他の面には、前記分離層を介して前記強磁性固定層を配置したことを特徴とする請求項 1 に記載のスピン注入磁化反転素子。

10

【請求項 3】

強磁性固定層、分離層および強磁性フリー層を備え、該強磁性固定層と強磁性フリー層の間に流す電流によって、該強磁性固定層と強磁性フリー層の磁化の向きが相互に平行な状態と相互に反平行な状態との間の遷移をもたらすスピン注入磁化反転素子において、

前記強磁性固定層が強磁性第 1 固定層と強磁性第 2 固定層に分割され、

前記分離層が第 1 分離層と第 2 分離層に分割され、

前記強磁性フリー層の対向する主平面の一方の面に前記第 1 分離層を介して前記強磁性第 1 固定層が配置され、

20

前記強磁性フリー層の対向する主平面の他方の面に前記第 2 分離層を介して前記強磁性第 2 固定層が配置され、

前記強磁性第 1 固定層と前記強磁性第 2 固定層が導通することを特徴とするスピン注入磁化反転素子。

【請求項 4】

前記強磁性固定層の磁化と体積の積の値が、前記強磁性フリー層の磁化と体積の積の値よりも大きいことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子

【請求項 5】

前記強磁性フリー層の飽和磁化が前記強磁性固定層の飽和磁化よりも小さいことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

30

【請求項 6】

前記強磁性フリー層の保磁力が前記強磁性固定層の保磁力よりも小さいことを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

【請求項 7】

前記強磁性固定層が相互に導通する複数の電極に接続されていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

【請求項 8】

前記分離層が非磁性金属であることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

40

【請求項 9】

前記分離層が絶縁体であることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

【請求項 10】

前記分離層が銅であることを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

【請求項 11】

前記分離層が酸化アルミであることを特徴とする請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のスピン注入磁化反転素子。

【請求項 12】

50

前記強磁性固定層および前記強磁性フリー層が金属コバルトからなることを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載のスピ注入磁化反転素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気的なメモリーやセンサーを構成する基本構造素子およびこれを用いた装置に関する。より具体的には、電子スピンの注入を制御した、大容量かつ機械的な駆動部分を含まない磁気的なランダムアクセスメモリー、あるいは電子スピンの注入を検知する微弱電流センサーを構成する素子ならびに装置に関する。

【背景技術】

【0002】

図8は、従来提案されている巨大磁気抵抗(GMR、Giant Magneto-Resistance)効果を利用したGMR素子の断面構造を示したものである。例えば、表面にシリコン酸化膜を形成したシリコン絶縁基板200上に固定層電極208、Co等からなる強磁性固定層205(厚さ~40nm、直径~200nm)、非磁性金属からなる分離層204(厚さ~6nm、直径~200nm)、Co等からなる強磁性フリー層206(厚さ~2.5nm、直径~200nm)、フリー層電極207が順次形成されている。このようなGMR構造素子は、フリー層電極側からのスピン電流注入、即ち、固定層電極側からのスピン分極した電子の注入によって強磁性フリー層206の磁化を反転できることが知られている(例えば、特許文献1および非特許文献1参照。)

素子の動作原理は以下のように説明されている。はじめに素子に十分な磁界を印加し、強磁性固定層205、強磁性フリー層206の磁化状態を同一方向に揃える。図9aは磁化が右向きに揃った場合を示したもので、図中の矢印が各磁性層の磁化の方向を表している。この状態を平行状態(P状態)と呼ぶことにする。この状態で、電流を固定層電極側からフリー層電極の向きに流すと、電子はフリー層電極207から強磁性フリー層206に注入される。フリー層電極中の電子スピンの状態はアップスピンとダウンスピンの分布が一致しているが、強磁性層中では電子スピンと強磁性金属原子のスピンの間に相互作用(s-d相互作用)が働くために、伝導電子のスピンは強磁性フリー層206の磁化の向きに平行なスピンの多数を占めるように分極する。これをスピンの偏極と呼んでいる。しかし、今考えている積層膜の強磁性フリー層206は薄いために、分極はわずかなものにとどまる。このわずかに分極したスピンの伝導電子が分離層204を通過して強磁性固定層205の表面に到達すると、強磁性固定層205の磁化の向きに平行なスピンを持つ電子は強磁性固定層205に注入されるが、強磁性固定層205の磁化と反対のスピンの持つ電子は反射され、再び強磁性フリー層206に注入される。強磁性固定層205は厚いため、自分の持つ磁化に平行なスピンを優先して通過させるスピンフィルタとしての働きをする。この結果、強磁性フリー層206中の多数キャリアは強磁性固定層205の磁化と反対向きのスピンを持つ電子となり、この電子によって、強磁性フリー層206は磁化を反転させる向きのトルクを受ける。電流がある臨界電流を超えると、強磁性フリー層206の磁化はトルクによって回転し、図9bに示すように、強磁性フリー層206と強磁性固定層205の磁化はP状態から反平行状態(AP状態)に変化する。

【0003】

次にAP状態にある素子にフリー層電極から固定層電極に向けて電流を流す場合を説明する。この場合は、電子は固定層電極208から強磁性固定層205に注入される。固定層電極中の電子スピンの状態もアップスピンとダウンスピンの分布が一致しているが、強磁性層中では電子スピンと強磁性金属原子のスピンの間に相互作用(s-d相互作用)が働く。ここで強磁性固定層205は厚いために、伝導電子のスピンは強磁性固定層205の磁化に平行なスピンの大多数を占めるように分極する。この大きくスピン偏極した伝導電子が分離層204を通過して強磁性フリー層206の表面に到達すると、強磁性フリー層206の磁化の向きに反平行なスピンを持つ大多数の電子は強磁性フリー層206に注入される。この結果、強磁性フリー層206の磁化は強磁性固定層205の磁化と平行な

10

20

30

40

50

スピンを持つ電子によって磁化を反転させる向きのトルクを受ける。電流がある臨界電流を超えると、強磁性フリー層206の磁化はトルクによって回転し、強磁性フリー層206と強磁性固定層205の磁化はAP状態からP状態に戻る。

【0004】

GMR素子の両電極間の電気抵抗値は、P状態で小さくAP状態で大きく、その割合は数10%あることが知られている。このGMR効果を用いてメモリー素子を構成することができるが、電流注入によって磁化反転を起こすためには、現在は 10^8 A/cm^2 程度の大きな電流密度が必要とされている。

【特許文献1】特開2004-207707号公報

【非特許文献1】カティン(J. A. Katine)、「Co/Cu/Co柱における電流駆動磁気反転およびスピン波励起(Current-Driven Magnetization Reversal and Spin-Wave Excitation in Co/Cu/Co Pillars)」、フィジカル・レビュー・レターズ(Physical Review Letters)、米国、2000年、第84巻、第14号、p. 3149-3152。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述した技術は、電流を流すことによって磁化を反転するものである。原理としては、スピン偏極した電子が強磁性体に注入されたときに、電子スピンによって強磁性体の磁化にトルクが加えられることによって磁化反転を引き起こすものである。したがって、磁化反転を起こすために必要な電流密度を下げるためには、わずかな注入電子で磁化の反転を起こすことが必要となり、このためには、磁化反転される強磁性フリー層の体積および飽和磁化の大きさを小さくしていくことが必要とされてきた。しかしながら、強磁性フリー層の飽和磁化および体積を小さくすることは、記録された磁化の熱擾乱に対する耐性を劣化させることにつながり、微小磁化が不安定となる結果、磁化を保持できなくなるという問題が生じることとなる。

20

本発明は上述の問題に鑑みなされたもので、記録された磁化を保持する特性と、少ない電流密度で磁化反転を可能とする磁化反転の容易さとを両立した記憶素子ならびに微弱電流センサーを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、強磁性固定層と強磁性フリー層を分離層を介して対向させるに当たって、その面積を増大するかあるいは強磁性固定層により強磁性フリー層を実質的に取り囲むことにより、強磁性固定層と強磁性フリー層との間で効率的にスピン偏極した電子を注入または反射することができることを見出したことに基づいている。

即ち、本発明は、強磁性固定層、分離層および強磁性フリー層をこの順に備え、該強磁性固定層と強磁性フリー層の間に流す電流によって、該強磁性固定層と強磁性フリー層の磁化の向きが相互に平行な状態と相互に反平行な状態との間の遷移をもたらすスピン注入磁化反転素子において、前記強磁性固定層が前記分離層に接している面積が、前記強磁性フリー層が前記分離層に接している面積よりも大きいことを特徴とする。

40

強磁性フリー層の一つの面に電極を接続し、強磁性フリー層の他の面には、分離層を介して強磁性固定層を配置してもよい。

【0007】

別法として、強磁性固定層、分離層および強磁性フリー層を備え、該強磁性固定層と強磁性フリー層の間に流す電流によって、該強磁性固定層と強磁性フリー層の磁化の向きが相互に平行な状態と相互に反平行な状態との間の遷移をもたらすスピン注入磁化反転素子において、前記強磁性固定層が強磁性第1固定層と強磁性第2固定層に分割され、前記分離層が第1分離層と第2分離層に分割され、前記強磁性フリー層の対向する主平面の一方の面に前記第1分離層を介して前記強磁性第1固定層が配置され、前記強磁性フリー層の

50

対向する主平面の他方の面に前記第2分離層を介して前記強磁性第2固定層が配置され、前記強磁性第1固定層と前記強磁性第2固定層が導通することを特徴とする。

強磁性固定層の磁化と体積の積の値が、前期強磁性フリー層の磁化と体積の積の値よりも大きいことが好ましい。

【0008】

また、強磁性フリー層の飽和磁化が強磁性固定層の飽和磁化よりも小さいことが好ましく、また、強磁性フリー層の保磁力が前記強磁性固定層の保磁力よりも小さいことが好ましい。

また、強磁性固定層が相互に導通する複数の電極に接続されていることが好ましい。

分離層は、非磁性金属もしくは絶縁体であることが好ましく、銅または酸化アルミであることが特に好ましい。

強磁性固定層および前記強磁性フリー層は金属コバルトからなることが好ましい。

【発明の効果】

【0009】

従来 of GMR 構造素子においては、電子スピン注入効率を改善するために、強磁性固定層の s - d 相互作用を強くし、100%近いスピン偏極を実現することに主眼が置かれてきた。

本発明では、強磁性固定層と強磁性フリー層の新規な配置方法を適用することにより、s - d 相互作用に依存せずに、強磁性固定層と強磁性フリー層との間で効率的に偏極したスピンを注入または反射することが可能となる。この結果、強磁性フリー層の磁化反転に必要な臨界電流密度を低減することが可能となり、あるいは、強磁性フリー層の体積または飽和磁化を増加して熱安定性を確保することが可能となる。

本発明により素子を構成することにより、磁気的なセンサーやメモリーを構成することが可能となる。たとえば、本発明の素子を多数個集積するとともに、シリコン半導体 CMOS 回路を集積した基板上に組み合わせて集積することにより、記録容量の大きな機械的な駆動部分を含まない磁気的なランダムアクセスメモリーが実現できる。また、本発明の素子は、電極端子間に流れる電流の向きによって、素子内部の磁化状態が変化し、電極端子間の電気抵抗が変わる磁気抵抗効果を発現するため、微弱な電流センサーとしても利用が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、図面を参照し、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

はじめに、図7を参照して、本発明の原理について説明する。

図7は、本発明の原理を説明するための模式図で、絶縁基板100上に第2固定層電極112、強磁性第2固定層111、第2分離層114、強磁性フリー層106、第1分離層104、強磁性第1固定層105、第1固定層電極108が順次形成されており、第1固定層電極108と第2固定層電極112とは、素子の外部にて配線115により導通され、外部電源（図示せず）と接続されている。また、フリー層電極107が強磁性フリー層106に接続され、フリー層電極107も外部電源と接続されている。

強磁性第1固定層105と強磁性第2固定層111は、強磁性フリー層106に比べて、磁化が固定されやすい構成とする。具体的には、飽和磁化が大きいか、体積が大きいかまたはその両者を満たすように構成して、本素子に電流を印加した際に、強磁性フリー層106の磁化だけが反転するように構成する。

【0011】

本素子に印加する電流は、配線115とフリー層電極107の間で流れることになる。具体的には、次の2つの経路を流れることとなる。

< 第1の経路 >

配線115、第2固定層電極112、強磁性第2固定層111、第2分離層114、強磁性フリー層106、フリー層電極107

< 第2の経路 >

10

20

30

40

50

配線 1 1 5、第 1 固定層電極 1 0 8、強磁性第 1 固定層 1 0 5、第 1 分離層 1 0 4、強磁性フリー層 1 0 6、フリー層電極 1 0 7

はじめに、外部磁界を印加して、第 1、第 2 固定層 1 0 5、1 1 1 の磁化を同じ方向に磁化しておく。この磁化の向きに平行な電子スピンをアップスピンとする。この状態で、電流をフリー層電極 1 0 7 から配線 1 1 5 に流す場合を考える。この時、電子は配線 1 1 5 からフリー層電極 1 0 7 に流れることとなる。第 1、第 2 固定層 1 0 5、1 1 1 の膜厚を厚くすることにより、電子はスピン緩和距離に比べて長い距離を第 1、第 2 固定層 1 0 5、1 1 1 中で移動することとなり、この間に電子スピンはアップスピンに偏極される。従って、大部分がアップスピンである電子が強磁性フリー層 1 0 6 の上下の界面から同時に注入される。この結果、強磁性フリー層 1 0 6 はトルクをより効率的に受け、第 1、第 2 固定層の磁化の方向に速やかに反転する。従来技術である図 8 のように片側の強磁性固定層だけからスピン偏極した電子を注入する方法に対して、臨界電流密度は 1 / 2 程度に減少する。

10

【0012】

次に、電流を配線 1 1 5 からフリー層電極 1 0 7 に流す場合、すなわち、電子をフリー層 1 0 6 から第 1、第 2 固定層 1 0 5、1 1 1 に注入する場合を考える。フリー層電極 1 0 7 中でアップスピンとダウンスピンの割合が同じであった電子は、フリー層 1 0 6 が薄いために、十分にスピン偏極されないまま第 1、第 2 分離層を通り第 1、第 2 固定層 1 0 5 と 1 1 1 の界面に到達する。ここで、第 1、第 2 固定層 1 0 5 および 1 1 1 中では、厚い強磁性層である第 1、第 2 固定層の磁化と平行なアップスピンを持つ電子は低いポテンシャルエネルギーとなるが、反平行なダウンスピンを持つ電子は高いポテンシャルによって上下の界面で反射され、再び上下の界面からフリー層 1 0 6 中に効率的に注入されることになる。即ち、ダウンスピンを持つ電子は、厚い第 1、第 2 固定層の高いポテンシャル障壁によって、複数回反射されることとなり、フリー層 1 0 6 中に閉じ込められることになる。したがって、ダウンスピンが大多数を占める電子によってフリー層 1 0 6 の磁化は第 1、第 2 固定層 1 0 5 と 1 1 1 の磁化に反平行になるようなトルクを受け、閉じ込めがない場合に比べて、より速やかに磁化反転されることになる。従来技術である図 8 のように、片側の強磁性固定層だけで反射する場合に比べて、臨界電流密度は 1 / 2 から 1 / 10 に減少する。

20

【0013】

この効果は、図 7 に示すような、強磁性フリー層を両側から挟む構成に限らず、強磁性フリー層と強磁性固定層が対向する面の面積を増大することによって得ることができる。また、強磁性フリー層を強磁性固定層で実質的に取り囲む構造とすることによって大きな効果を得ることができる。面積の増大と実質的に取り囲む構造の両者を行うことで最も大きな効果を得ることができる。強磁性フリー層を強磁性固定層で実質的に取り囲む構造とするためには、例えば、強磁性フリー層とフリー層電極の接続部分を除いて、強磁性フリー層の周囲を分離層を介して強磁性固定層で囲む方法をとることができる。

30

なお、取り囲む構造を部分的に採用することにより、完全な閉じ込め効果にいたらないまでも、効果の一部を実現することが可能である。この場合の部分的に取り囲む構造は、分離層と接している部分の強磁性フリー層の面積と比べて、分離層と接している部分の強磁性固定層の面積を大きくすることで達成することができる。例えば、強磁性フリー層に凸型の曲面を形成し、この曲面に分離層を配置し、この分離層を介して強磁性固定層を配置することにより、分離層と接している部分の強磁性フリー層の面積と比べて、分離層と接している部分の強磁性固定層の面積を大きくすることができる。

40

【0014】

また、別法としては、強磁性フリー層の体積に対して、強磁性固定層と対向する面の面積を増大することでも効果を得ることができる。

強磁性フリー層の磁性材料としては、磁性金属、強磁性半導体もしくは強磁性酸化物を使用することができる。なかでも、Co、パーマロイ（たとえば $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ）、CoFe（好ましくは $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ）、Fe、NiMnSb、Co

50

2MnAl 、 Co_2MnSi 、 Co_2MnGe 、 CoCrFeAl 、 FePt 、 $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ 、 Fe_2O_3 、 CoFeB 、 CoHfTa 、 NiCoFe 、 $\text{Ni}_{45}\text{Fe}_{55}$ 、 NiFe 、 CoZrNb 、 FeCoN 合金、 FeAlN 合金、 NiFeMo 合金、 FeTaN 合金等が好ましい。

強磁性固定層の磁性材料としては、磁気異方性定数および保磁力の大きな材料が好ましく、なかでも、 Co 、 CoPt 合金、 FePt 、 CoCr 、 CoPtCr 、 CoPtCrB 、 CoPtCrTaB 、 CoPt 人工格子膜、 CoPd 人工格子膜、 CoPtCr-SiO_2 グラニューラ膜等が特に好ましい。

【0015】

分離層としては、非磁性金属、酸化物を使用することができる。非磁性金属の場合は Cu 、 V 、 Nb 、 Mo 、 Rh 、 Ta 、 W 、 Re 、 Ir 、 Pt 、および Pd が好ましく、酸化物の場合は、アルミの酸化物、 MgO が好ましい。また、これら非磁性金属膜と酸化物の二層積層膜を用いることができる。

10

以下、本発明の実施例に付き、さらに詳細に説明する。

【実施例1】

【0016】

図1は、本発明の第1の実施例を説明するためのもので、図1bは断面模式図、図1aは図1bの線分A-Aにそった断面模式図である。四角柱状の強磁性フリー層6を取り囲むように、強磁性固定層5を分離層4を介して配置している。強磁性固定層5は固定層電極8を介して外部電源(図示せず)と接続し、強磁性フリー層6はフリー層電極7を介して外部電源と接続している。

20

図4は、実施例1の素子を製作する工程の要部を説明するためのものである。まず、図4aを用いて説明する。基板1として厚さ $500\mu\text{m}$ のシリコン基板を用い、その表面に深さ 220nm で水平断面が正方形のトレンチ構造を形成した。引き続き、シリコン基板1の表面を酸素雰囲気中で熱酸化することによって厚さ 100nm のシリコン酸化膜を形成して基板絶縁層2とした。引き続き、 Co からなる強磁性固定層5を厚さ 100nm にて形成した。強磁性固定層5の膜厚は磁化を十分に固定するために、 20 ないし 100nm が好ましい。引き続き、 Cu からなる分離層4を厚さ 10nm にて形成した。分離層4は強磁性固定層5と強磁性フリー層6の磁気的な分離性を確保するために 3nm 以上とすることが好ましく、電気的な導通性を確保するために 10nm 以下とすることが好ましい。その材料は、非磁性金属あるいは酸化アルミ等の絶縁材料を使用することができる。引き続き、強磁性フリー層6を形成するために Co 層を厚さ 30nm で形成し、トレンチ構造の内部を強磁性フリー層6で充填した。形成する Co 層の厚みはトレンチ構造の内部を十分に充填できる厚みであれば良い。図4aの強磁性フリー層6で埋め込まれたトレンチ構造の幅 t は 10nm であった。 t は、磁化反転を容易にするために 2nm 以上、 10nm 以下が好ましい。基板絶縁層2の表面から強磁性フリー層のトレンチ底部までの深さ d は 10nm であった。 d は強磁性固定層5と強磁性フリー層6の界面の面積を十分に確保するために、 3nm から 200nm が好ましい。次に、図4bに示す如く、表面を基板絶縁層2までエッチバックを行う。次に、図4cに示す如く、フォトレジスト10を 100nm 厚で全面塗布後、パターンニングを行なって、強磁性フリー層6、分離層4および素子周縁部を被覆した後、その上に強磁性固定層5と同一材料の強磁性体で薄膜を形成した。引き続き、図4dに示す如く、フォトレジスト10の上の強磁性薄膜をリフトオフ法によってとり除いた。引き続き、図4eに示す如く、プラズマ CVD 法によってシリコン酸化膜を 200nm 形成して絶縁層3とした。引き続き、図4fに示す如く、シリコン酸化膜3の一部を取り除いて、強磁性固定層5および強磁性フリー層6と導通をとるためのスルーホールを設けた。引き続き、図4gに示す如く、金からなるフリー層電極7、固定層電極8を形成して実施例1を得た。

30

40

【0017】

表1に実施例1の動作条件と特性を示す。MR比は素子の高抵抗状態と低抵抗状態の測定値で定義され、 $\text{MR比} = (\text{高抵抗値} - \text{低抵抗値}) / (\text{高抵抗値} + \text{低抵抗値}) \times 100$ (

50

%) である。臨界電流密度は、磁化反転が生じる最小の電流密度である。表中で、例えば固定層電極 8 からフリー層電極 7 に電流密度 $5 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ で電流を流すことは、絶対値では 0.6 mA の電流を固定層電極 8 からフリー層電極 7 へ流すことに相当する。素子の抵抗値を検知電流 300 uA で測定した結果、高抵抗の状態が 4.6 、低抵抗の状態が 4.0 であった。

【0018】

【表 1】

試料	電流がフリー層電極から固定層電極に流れる場合の臨界電流密度	電流が固定層電極からフリー層電極に流れる場合の臨界電流密度	MR比
実施例1	$4 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	$5 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	7%
実施例2	$4 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	$5 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	7%
実施例3	$2 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	$3 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	12%
実施例4	$2 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	$3 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$	12%

10

20

【実施例 2】

【0019】

図 2 は図 1 a に相当する断面模式図で、図 2 に示す如く、トレンチ構造を円柱形状としたこと以外は実施例 1 と同様にして素子を製作し、実施例 2 とした。強磁性フリー層 6 の形状は、直径 10 nm 、深さ 10 nm の円柱状であった。

実施例 2 の動作条件と特性を表 1 に示す。検知電流 300 uA で素子の抵抗値を測定した結果、高抵抗の状態が 4.6 、低抵抗の状態が 4.0 であった。

【実施例 3】

【0020】

強磁性固定層に積層電極を付加して抵抗値を調整した例である。図 3 に、実施例 3 の構成を示す。図 3 b は断面模式図、図 3 a は図 3 b の線分 B - B にそった断面模式図である。

30

シリコン酸化膜による基板絶縁層 2 を形成した後、Cu からなる積層電極 9 を膜厚 20 nm にて形成し、引き続き強磁性固定層 5 の膜厚を 80 nm としたこと以外は実施例 1 と同様にして素子を製作し実施例 3 を得た。

実施例 3 の動作条件と特性を表 1 に示す。検知電流 300 uA で素子の抵抗値を測定した結果、高抵抗の状態が 3.6 、低抵抗の状態が 2.8 であった。

【実施例 4】

【0021】

図 2 に示す如く、トレンチ構造を円柱形状としたこと以外は実施例 3 と同様にして素子を製作し、実施例 4 とした。強磁性フリー層 6 の形状は、直径 10 nm 、深さ 10 nm の円柱状であった。

40

実施例 4 の動作条件と特性を表 1 に示す。検知電流 300 uA で素子の抵抗値を測定した結果、高抵抗の状態が 3.6 、低抵抗の状態が 2.8 であった。

上記の実施例では、トレンチ構造の水平方向の断面形状を正方形、円形としたが、これに限られるものではなく、楕円形、長方形としても良い。また、所望により、星型のようにして凹凸を設けることにより、強磁性固定層と強磁性フリー層界面の面積を増大して、効果を一層増大することも可能である。

また、上記の実施例ではフリー層電極方向を残して、強磁性固定層が強磁性フリー層を取り囲む構成としたが、これに限られるものでなく、例えば半円部で囲む構成のように、

50

一部だけを取り囲むように構成することも可能である。

【実施例 5】

【0022】

強磁性固定層、強磁性フリー層等を基板の上部に配置した例である。

図 5 は、本発明の第 5 の実施例を説明するためのもので、図 5 b は断面模式図、図 5 a は図 5 b の線分 C - C にそった断面模式図である。四角柱状の強磁性フリー層 5 6 を取り囲むように、強磁性第 1 固定層 5 5 と強磁性第 2 固定層 6 1 を分離層 5 4 を介して配置している。強磁性第 1 固定層 5 5 は第 1 固定層電極 5 8 を介して外部電源（図示せず）と接続し、強磁性第 2 固定層 6 1 は第 2 固定層電極 6 2 を介して外部電源と接続し、強磁性フリー層 5 6 はフリー層電極 5 7 を介して外部電源と接続している。

10

本素子の製作は通常の半導体素子形成プロセスを使用して行った。

絶縁基板 5 0 としては、シリコン酸化膜を表面に形成した、厚み 5 0 0 μm のシリコン基板を用いた。強磁性第 1 固定層 5 5 および強磁性第 2 固定層 6 1 としては、それぞれ厚み 1 0 0 nm の CoPt 合金層を形成した。強磁性フリー層 5 6 としては、厚み 5 nm、底面 1 0 0 nm \times 1 0 0 nm の直方体形状の Co 層を形成した。分離層 5 4 としては、厚み 1 0 nm の Cu 層を形成して強磁性フリー層 5 6 と 2 つの強磁性固定層 5 5、6 1 を離間した。分離層 5 4 は強磁性フリー層 5 6 の周囲をフリー層電極 5 7 の方向を除いて取り囲んでいる。強磁性第 1 固定層 5 5 および強磁性第 2 固定層 6 1 により分離層 5 4 の周囲をフリー層電極 5 7 の方向を除いて取り囲んでいる。絶縁層 5 3 としては、厚み 2 0 0 nm の低温成膜シリコン酸化膜をプラズマ CVD 法にて形成した。第 1 固定層電極 5 8 および第 2 固定層電極 6 2 としては、Au を用い、絶縁層 5 3 に設けた 1 0 0 nm \times 1 0 0 nm の開口部を通してそれぞれ強磁性第 1 固定層 5 5、強磁性第 2 固定層 6 1 と導通した。第 1 固定層電極 5 8 および第 2 固定層電極 6 2 は、素子の外部で導通している。フリー層電極 5 7 は、Au を用いて、厚み 2 0 0 nm、底面 2 0 0 μm \times 2 0 0 μm の外部電源接続部 5 7 - 1 と幅 1 0 0 nm、長さ 2 0 0 nm の強磁性フリー層接続部 5 7 - 2 を形成した。フリー層電極 5 7 と強磁性第 1 固定層 5 5、フリー層電極 5 7 と強磁性第 2 固定層 6 1 はそれぞれ絶縁されている。

20

【0023】

表 2 に実施例 5 の動作条件と特性を示した。表中で、固定層電極からフリー層電極へ電流を流すとは、素子の外部の導通部から第 1 固定層電極 5 8 および第 2 固定層電極 6 2 を介してフリー層電極に向けて電流を流すことを意味している。また、固定層電極からフリー層電極に電流密度 $4 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ で電流を流すことは、絶対値では 8 mA の電流を流すことに相当している。検知電流 3 0 0 μA で素子の抵抗値を測定した結果、高抵抗の状態が 3 . 0、低抵抗の状態が 2 . 3 であった。

30

【0024】

【表 2】

試料	電流がフリー層電極から固定層電極に流れる場合の臨界電流密度	電流が固定層電極からフリー層電極に流れる場合の臨界電流密度	MR比
実施例 5	$1.7 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$	$4 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$	13%
実施例 6	$1.7 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$	$4 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$	19%

40

【実施例 6】

【0025】

強磁性固定層に積層電極を付加して抵抗値を調整した例である。図 6 に実施例 6 の断面模式図を示す。

強磁性第 1 固定層 5 5 の厚みを 8 0 nm とし、この上に厚み 2 0 nm の Cu からなる第 1 積層電極 6 0 を形成し、また絶縁基板 5 0 上に厚み 2 0 nm の Cu からなる第 2 積層電

50

極 6 3 を形成し、この上に強磁性第 2 固定層 6 1 を厚み 8 0 n m にて形成したこと以外は実施例 5 と同様にして素子を製作し実施例 6 を得た。

実施例 6 の動作条件と特性を表 2 に示す。検知電流 3 0 0 μ A で素子の抵抗値を測定した結果、高抵抗の状態が 2 . 0 、低抵抗の状態が 1 . 4 であった。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

【図 1】本発明の実施例 1 の構成を説明するための断面模式図である。

【図 2】本発明の実施例 2 の構成を説明するための断面模式図である。

【図 3】本発明の実施例 3 の構成を説明するための断面模式図である。

【図 4】本発明の実施例 1 ないし 4 に係る素子の製造方法を説明するための模式図である 10

【図 5】本発明の実施例 5 の構成を説明するための断面模式図である。

【図 6】本発明の実施例 6 の構成を説明するための断面模式図である。

【図 7】本発明の原理を説明するための断面模式図である。

【図 8】従来の G M R 素子の構成例を説明するための断面模式図である。

【図 9】従来の G M R 素子の動作を説明するための断面模式図である。

【符号の説明】

【 0 0 2 7 】

1 基板

2 基板絶縁層 20

3、5 3 絶縁層

4、5 4、2 0 4 分離層

5、2 0 5 強磁性固定層

6、5 6、1 0 6、2 0 6 強磁性フリー層

7、5 7、1 0 7、2 0 7 フリー層電極

8、2 0 8 固定層電極

9 積層電極

1 0 レジスト

5 0、1 0 0、2 0 0 絶縁基板

5 5、1 0 5 強磁性第 1 固定層 30

5 8、1 0 8 第 1 固定層電極

6 0 第 1 積層電極

6 1、1 1 1 強磁性第 2 固定層

6 2、1 1 2 第 2 固定層電極

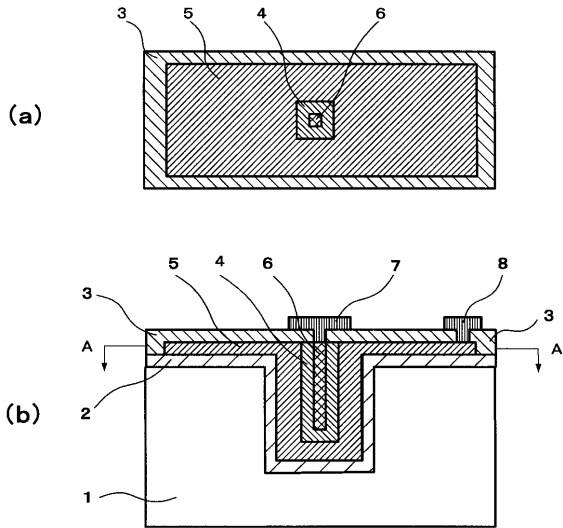
6 3 第 2 積層電極

1 0 4 第 1 分離層

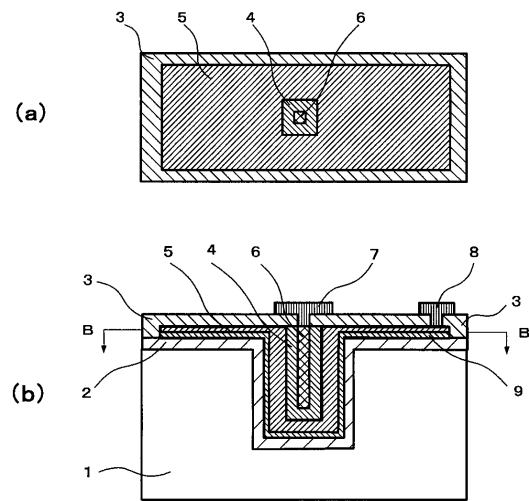
1 1 4 第 2 分離層

1 1 5 配線

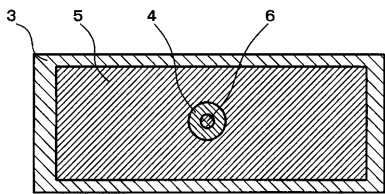
【 図 1 】



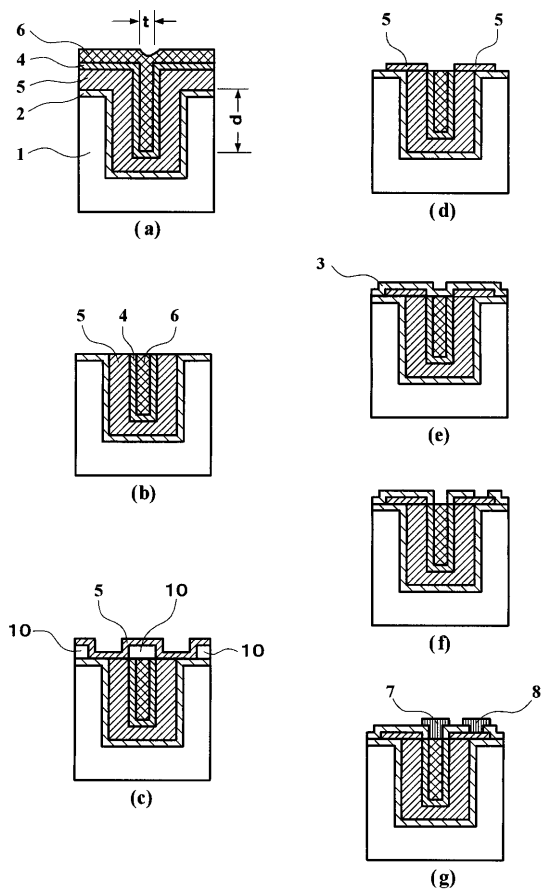
【 図 3 】



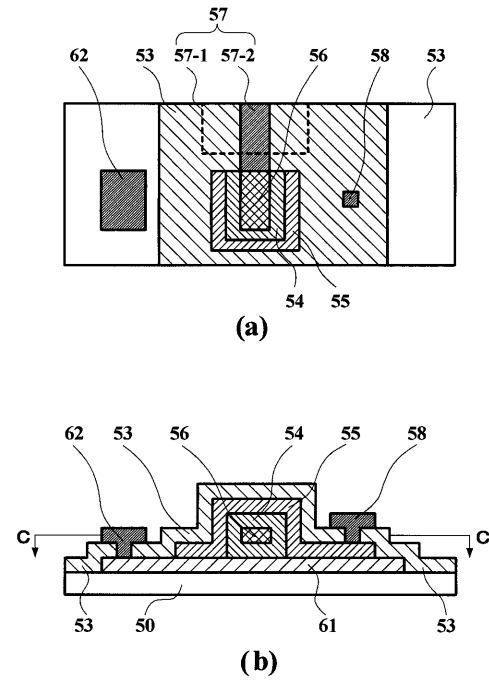
【 図 2 】



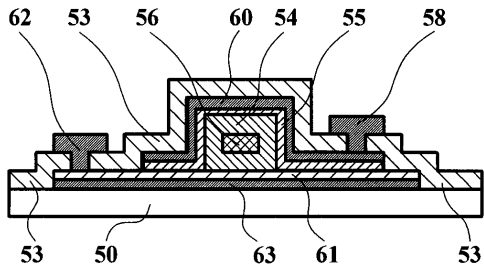
【 図 4 】



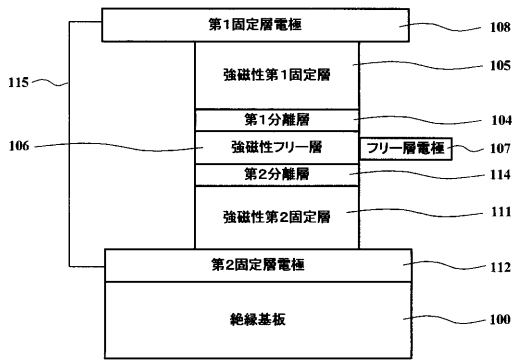
【 図 5 】



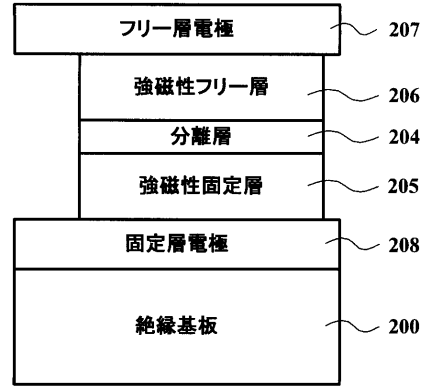
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

