

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4908227号
(P4908227)

(45) 発行日 平成24年4月4日(2012.4.4)

(24) 登録日 平成24年1月20日(2012.1.20)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 43/08 (2006.01)

H O 1 L 43/08 Z

H O 1 L 27/105 (2006.01)

H O 1 L 27/10 4 4 7

H O 1 L 21/8246 (2006.01)

H O 1 F 10/16

H O 1 F 10/16 (2006.01)

H O 1 F 10/28

H O 1 F 10/28 (2006.01)

H O 1 F 10/30

請求項の数 6 (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-545636 (P2006-545636)
 (86) (22) 出願日 平成16年11月4日(2004.11.4)
 (65) 公表番号 特表2007-515075 (P2007-515075A)
 (43) 公表日 平成19年6月7日(2007.6.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2004/037058
 (87) 国際公開番号 W02005/067472
 (87) 国際公開日 平成17年7月28日(2005.7.28)
 審査請求日 平成19年10月26日(2007.10.26)
 (31) 優先権主張番号 10/740,338
 (32) 優先日 平成15年12月18日(2003.12.18)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 509052894
 エバースピン テクノロジーズ インコー
 ポレイテッド
 EverSpin Technologies,
 Inc.
 アメリカ合衆国 85225 アリゾナ州
 チャンドラー ノース アルマ スクー
 ル ロード 1300
 (74) 代理人 100142907
 弁理士 本田 淳
 (74) 代理人 100149641
 弁理士 池上 美穂

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MRAM技術のMTJに使用される合成反強磁性体構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁気トンネル接合(MTJ)であって、

第1電極および第2電極；

第1電極と第2電極の間のトンネル障壁；

第1電極とトンネル障壁との間の合成反強磁性体(SAF)からなる自由層；

トンネル障壁と第2電極との間の固定層；

を備え、前記SAFからなる自由層が、

いずれも強磁性である第1層および第2層；

第1層と第2層の間の、前記第1層と第2層の間に必要な反強磁性カップリングを提供
するベース材料を含む第3層；

第3層と第2層の間の、タンタルを含む第4層；

を備えたMTJ。

【請求項2】

前記ベース材料は、ルテニウム、ロジウム、イリジウムおよびオスニウムから選択され
る請求項1に記載のMTJ。

【請求項3】

第4層と第2層の間にさらに第5層を含み、第5層は第2層を形成するために使用され
るのとは異なる強磁性材料を含む請求項1または2に記載のMTJ。

【請求項4】

第 1 電極および第 2 電極 ;
第 1 電極と第 2 電極の間のトンネル障壁 ;
第 1 電極とトンネル障壁の間の合成反強磁性体 (S A F) からなる自由層 ; および
トンネル障壁と第 2 電極の間の固定層 ;
を備えた M T J において、
トンネル障壁の上に第 1 の強磁性層を形成する工程 ;
第 1 の強磁性層の上にタンタルを堆積する工程 ;
タンタルの上に、第 1 の強磁性層と第 2 の強磁性層の間に必要な反強磁性カップリング
を提供するベース材料を堆積する工程 ; および
ベース材料の上に第 2 の強磁性層を形成する工程 ;
から成る S A F からなる自由層を形成する方法。

10

【請求項 5】

前記ベース材料は、ルテニウム、ロジウム、イリジウムおよびオスニウムから選択される請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

磁気トンネル接合 (M T J) であって、
第 1 電極および第 2 電極 ;
第 1 電極と第 2 電極の間のトンネル障壁 ;
第 1 電極とトンネル障壁の間の合成反強磁性体 (S A F) からなる自由層 ;
トンネル障壁と第 2 電極の間の固定層 ;
を備え、前記 S A F からなる自由層が、
いずれも強磁性である第 1 層および第 2 層 ;
第 1 層と第 2 層の間の、第 1 層と第 2 層の間に必要な反強磁性カップリングを提供する
非磁性のベース材料を含む第 3 層 ;
第 3 層と第 2 層の間の、タンタルからなる第 4 層 ;
第 4 層と第 2 層の間の、コバルトおよび鉄のうちの少なくとも 1 つを含む第 5 層 ;
を備えた M T J 。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は磁気トンネル接合 (M T J) に関し、詳細には自由層に合成反強磁性体 (S A F) 構造を使用した M T J に関する。

30

【背景技術】

【0002】

磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (M R A M) は高速、不揮発性かつ高密度等の多くの利点を有することで知られている。しかしながら、工業的製造可能な方法で M R A M を製作するには課題がある。対処されている課題の 1 つは、M R A M セルに確実に書き込むことに関する課題である。これは、書き込み方法と先に使用された層の上の自由層の構造との両方を変更するトグルビットを用いて有効に対処されている。この特別な解決策では、通常、自由層に S A F 構造を使用する。自由層に S A F 構造を使用して書き込みの問題を解決することにより、M R A M ビットセル、特に M R A M ビットセルの M T J 部分の改善のために必要な考慮事項が変わった。M R A M に関して絶えず要望されていることの 1 つは磁気抵抗 (M R) 比を改善することである。M R 比とは、低抵抗状態の抵抗に対する 2 つの論理状態間の抵抗変化の比である。一つの自由層を S A F の自由層に取り替えると、M R が減少し得る。感知回路に利用可能な信号は M R に比例するため、S A F 自由層を有する M T J で M R を増加させる改善では、感知速度が改善されるだろう。

40

【0003】

別の問題は、自由層 S A F の反強磁性のカップリングの強度を制御する能力である。書き込み電流が許容範囲内に維持されるように、このカップリングは制御される必要がある。別の問題は耐久性、特に耐熱性である。M T J 材料はいくつかの半導体プロセスで使用さ

50

れている材料よりも高温に対して高い感度を有する傾向がある。詳細には、S A F 材料は高温で、反強磁性カップリング強度の低下を引き起こす故障モードを有する。

【 0 0 0 4 】

したがって、M R A M 開発に対し、耐熱性、M R 比、および書き込み電流の制御のうちの 1 または複数を改善する必要性が継続して存在する。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 0 5 】

本発明は、一例として示されており、添付図面によって限定されるものではない。添付図面において、同様な参照番号は同様な要素を示す。

図中の要素は単純化と明確化のための示されたものであり、必ずしも一定の比率で描かれていないことは当業者にとって明らかである。例えば、図中の要素のいくつかの寸法を、本発明の実施態様の理解を高めるために役立つように、他の要素に対して誇張する場合がある。

【 0 0 0 6 】

1 態様では、磁気トンネル接合 (M T J) は、これは磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (M R A M) に有用なものであるが、合成反強磁性体 (S A F) 構造である自由層を有している。この S A F は、カップリング層によって分離された 2 つの強磁性層から構成される。カップリング層は、非磁性のベース材料を有すると共に、耐熱性、S A F のカップリング強度の制御性、および M R を改善する別の材料も有している。好ましいベース材料はルテニウムであり、好ましい別の材料はタンタルおよびコバルト鉄合金である。これは図面と以下の説明を参照することにより一層よく理解される。

【 0 0 0 7 】

図 1 に示すように、M T J 1 0 は、上部電極 1 2、上部電極 1 2 の直下の自由 S A F 1 4、S A F 1 4 の直下のトンネル障壁 1 6、トンネル障壁 1 6 の直下の固定 S A F 1 8、固定 S A F 1 8 の直下のピンニング (pinning) 層 2 0、層 2 0 の直下のシード層 2 2、シード層 2 2 の直下の底部電極 2 4 を備えている。自由 S A F 1 4 は、上部電極 1 2 の直下の強磁性層 2 6 と、強磁性層 2 6 の直下のカップリング層 2 8 と、カップリング層 2 8 の直下の強磁性層 3 0 とを備えている。固定 S A F 1 8 は、トンネル障壁 1 6 の直下の強磁性層 3 2 と、強磁性層 3 2 の直下のカップリング層 3 4 と、カップリング層 3 4 の直下の強磁性層 3 6 とを備えている。強磁性層 3 2 および 3 6 はコバルトと鉄を含む合金で好ましくは構成される。

【 0 0 0 8 】

カップリング層 2 8 が複数材料の組み合わせ、好ましくはルテニウムとタンタルから成り、強磁性層 3 0 は好ましくはコバルトと鉄をカップリング層 2 8 との界面に含むという点を除くと、M T J 1 0 は当業者によく知られているものである。固定層 3 2 の磁気モーメントベクトルが自由層の切り替えに使用される印加電場で実質的に移動しないように、固定 S A F 1 8 を、トンネル障壁 1 6 と接触する磁気固定層 3 2 を提供するシングル・ピン強磁性層を始めとする他の構造と取り替えることができることは当業者に周知である。

【 0 0 0 9 】

図 2 に示すように、S A F 1 4 は、強磁性層 2 6 および 3 0 と、挿入層 4 1 と、カップリング層 2 8 とを備え、カップリング層 2 8 は強磁性層 2 6 の直下のベース層 3 8 と、ベース層 3 8 の直下の挿入層 4 0 とを備えている。挿入層 4 1 は強磁性層 3 0 と挿入層 4 0 の間にある。挿入層 4 1 は、鉄とコバルトの強磁性材料を有し、強磁性層 3 0 の一部として磁氣的に機能する。挿入層 4 1 は好ましくはコバルト鉄合金であるが、代わりにコバルトまたは鉄のような他の材料であってもよい。ベース層 3 8 は好ましくはルテニウムを含むが、ロジウム、イリジウムおよびオスミウムのような別のベース材料も含み得る。本明細書に使用する場合、ベース材料とは、それ自体が S A F 中の 2 つの強磁性材料間に必要な反強磁性カップリングを提供するのに十分である材料を意味する。挿入層 4 0 は好ましくはタンタルであり、S A F 1 4 の特性を改善するために挿入される。挿入層 4 1 は好

ましくはコバルト鉄であり、やはりS A F 14の特性を改善するために挿入される。強磁性層26および30は好ましくは鉄が16~20原子パーセント、より好ましくは鉄が約18原子パーセントのニッケル鉄合金である。

【0010】

挿入層41は、コバルト鉄ターゲットを使用したイオンビーム蒸着により好ましくは堆積されるが、別のプロセスを使用することも可能である。1つの代替例はマグネトロンスパッタリングである。この挿入層41は好ましくは強磁性層30の上に直接堆積される。次に、挿入層40がタンタルターゲットを使用したイオンビーム蒸着により挿入層41の上に直接堆積されるが、マグネトロンスパッタリングのような別のプロセスを使用することも可能である。

10

【0011】

公差 (tolerance) はできるだけ厳しく維持されるが、カップリング層28の厚さ範囲は6~10オングストロームであり得る。ベース層38は好ましくは6.0~6.5オングストロームであり、挿入層40は好ましくは2.5オングストロームの厚さに堆積され、挿入層41は好ましくは2.5オングストロームに堆積されるが、これはできるだけ厳しく維持されるが1.5~5オングストロームの範囲であってよい。これらの寸法はカップリングピーク中心が7~8オングストロームであるベース材料としてルテニウムを使用することに基づいている。これらの寸法に重要な影響を及ぼす別のピークを使用してもよい。原子より小さい厚さに挿入層40および41を堆積すると、挿入層40および41は一つの合金層のように見える場合がある。したがって、MTJ 10のような完成したMTJでは、層40および41を現実的に区別するのは難しい場合がある。

20

【0012】

ベース層38は、反強磁性配列を達成するのに十分なカップリングを強磁性層26と30の間に提供する。また、挿入層40および41の追加は、生じたS A F 14の特定の特性を改善する。例えば、1つの改善は耐熱性にある。S A F 14の故障が起こる温度はルテニウムのみが使用される場合より高い。別の改善は強磁性層26と30の間のカップリング強度の制御にある。ベース層38の厚さをプロセスの変化に対して変化させずに保つことは難しい。カップリング強度はこの厚さに応じて変化する。挿入層40および41が追加されると、ベース層の厚さの変化に応じたカップリング強度の変化率が小さくなり、カップリング強度の制御性が増す。さらに別の改善はMTJ 10のMR比の改善である。例えば挿入層40および41を追加する前のMR比が約30パーセントだった場合、挿入層40および41の挿入により3パーセントの増加が観察されるが、これは約10パーセントの改善である。追加層40および41のうちの1つを除去することが有益であろう環境もあり得る。

30

【0013】

図3に、図1のS A F 14と置き換えた代替S A F 42を示す。S A F 42は、上部電極12の直下の強磁性層46、強磁性層46の直下のカップリング層48、カップリング層48の直下の強磁性層50を備えている。この場合、カップリング層48は、ベース材料と、耐熱性およびカップリング強度の制御性を改善する別の材料との合金である。ベース材料の例はルテニウム、ロジウム、イリジウムおよびオスミウムである。合金を形成するために加えられる追加材料は、ホウ素、アルミニウム、炭素、タンタル、ニオブ、モリブデン、ジルコニウムおよびハフニウムから選択される。好ましい組み合わせはルテニウムとホウ素である。というのも、それはルテニウムのみで達成される同じカップリング強度を有するS A Fと比較して高温アニール下でより優れた耐久性を実証するためである。カップリング層48は好ましくは6~10オングストロームの範囲である。繰り返しになるが、これらの寸法がカップリングピーク中心が7~8オングストロームであるベース材料としてルテニウムを使用することに基づいている。これらの寸法に重要な影響を及ぼす別のピークを使用してもよい。

40

【0014】

図4に、図1のS A F 14と置き換えたもう一つの代替S A F 60を示す。S A F

50

60は、上部電極12の直下の強磁性層64、強磁性層64の直下のカップリング層62、およびカップリング層の直下の強磁性層66を備えている。この場合、カップリング層62は、強磁性層66上の層78、層78上の層76、層76上の層74、層74上の層72、層72上の層70、および層70上の層68を備えた多層から成る複合体である。この多層構成は、SAF 60従ってMTJ 10の特性を改善するためにベース材料と追加材料が交互になっているものである。このうち、層68, 72および76はベース材料であり、層70, 74および78は追加材料である。これは6層の例であるが、より少ない場合やより多い場合もあり得る。追加材料は、ニッケル鉄、コバルト鉄、タンタルおよびアルミニウムのうちの1つであってよい。これらはカップリング強度を制御するという利点を有することが示されている。カップリング層62の全体厚さは、6~10オングストロームの範囲とする。この6層の例では、カップリング層62の所望の厚さを達成するために、各層68-78は1~1.7オングストロームの範囲とする。これらの小さな寸法では、個々の層を区別するのは難しいかもしれない。この多層アプローチはカップリング強度を選択する際に、より多くの制御性を与えることが示されている。好ましい材料はベース材料にはルテニウムであり、追加材料としてはタンタルである。

10

【0015】

上記明細書において、本発明を特定の実施態様に関して説明した。しかしながら、特許請求の範囲に記載する本発明の範囲から逸脱しなければ、種々の改変および変更を行うことができることは、当業者にとって明らかである。従って、明細書および図面は、限定的な意味というよりも説明的な意味において考えられるべきであって、すべてのそのような改変は、本発明の範囲内に含まれるものとする。

20

【0016】

上記において、利点、他の効果、および課題に対する解決策を、特定の実施態様に関して説明した。しかしながら、上記の利点、課題に対する解決策、および、何らかの利点または解決策を生じさせるか一層明確にするすべての要素は、いずれかのまたはすべての特許請求の範囲の、決定的であるか、必要であるか、または、実質的である特徴または要素と見なされるべきものではない。本書で使用されるように、用語「備える (comprises)」、「備えた (comprising)」、または、それらのすべての他の変形例は、非排他的包含を含むことが意図されているので、多くの要素からなるプロセス、方法、物品、または装置は、それらの要素を含むのみならず、そのようなプロセス、方法、物品、または装置に対して明示的に列挙されていないか固有ではない他の要素を含み得る。

30

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施態様によるMRAMに使用される磁気トンネル接合 (MTJ) の断面図。

【図2】本発明の一実施態様による図1のMTJの一部分の断面図。

【図3】図2に示した実施態様の代替実施態様による図1のMTJの一部分の断面図。

【図4】図2に示した実施態様の別の代替実施態様による図1のMTJの一部分の断面図。

。

【図 1】

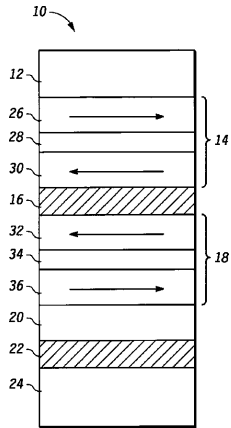


FIG. 1

【図 2】

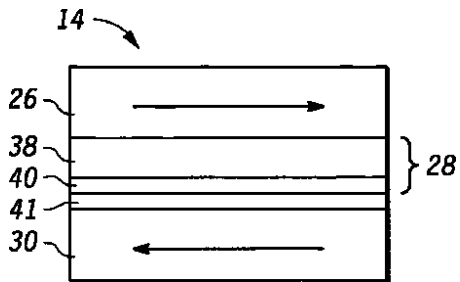


FIG. 2

【図 3】

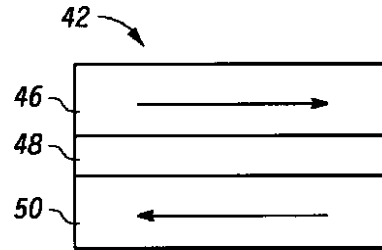


FIG. 3

【図 4】

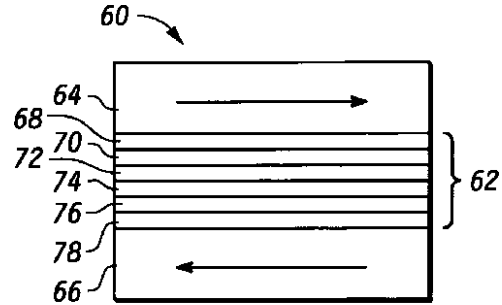


FIG. 4

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 1 F 10/30 (2006.01)

(72)発明者 ピータムバラム、スリーニバス ブイ、

アメリカ合衆国 8 5 2 2 5 アリゾナ州 チャンドラー ウエスト ペコス ロード 8 7 5
アパートメント 1 1 6 2

(72)発明者 デイブ、レヌー ダブリュ、

アメリカ合衆国 8 5 2 2 6 アリゾナ州 チャンドラー ダブリュ、ミーガン ストリート 6
0 6 9

(72)発明者 スローター、ジョン エム、

アメリカ合衆国 8 5 2 8 4 アリゾナ州 テンペ エス、ケネス プレース 9 2 5 1

(72)発明者 サン、ジージュン

アメリカ合衆国 8 5 2 4 9 アリゾナ州 チャンドラー イー、アクアリウス プレース 9 3
3

審査官 川村 裕二

(56)参考文献 特開2005 - 116888 (JP, A)

特開2003 - 283000 (JP, A)

特開2003 - 324225 (JP, A)

特開2001 - 345493 (JP, A)

特開2004 - 103120 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/08

H01F 10/16

H01F 10/28

H01F 10/30

H01L 21/8246

H01L 27/105