

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-509357

(P2009-509357A)

(43) 公表日 平成21年3月5日(2009.3.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 43/08 (2006.01)	H01L 43/08 B	4M119
H01L 21/8246 (2006.01)	H01L 27/10 447	5E049
H01L 27/105 (2006.01)	H01L 43/08 Z	5F092
H01F 10/32 (2006.01)	H01F 10/32	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2008-532331 (P2008-532331)	(71) 出願人	508085006 グランディス、インコーポレーテッド アメリカ合衆国 95035 カリフォル ニア州、ミルピタス、キャデラック コー ト 1123
(86) (22) 出願日	平成18年9月19日 (2006.9.19)	(74) 代理人	100091096 弁理士 平木 祐輔
(85) 翻訳文提出日	平成20年5月13日 (2008.5.13)	(74) 代理人	100105463 弁理士 関谷 三男
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/036572	(74) 代理人	100102576 弁理士 渡辺 敏章
(87) 国際公開番号	W02007/035786	(74) 代理人	100100169 弁理士 大塩 剛
(87) 国際公開日	平成19年3月29日 (2007.3.29)		
(31) 優先権主張番号	11/232, 356		
(32) 優先日	平成17年9月20日 (2005.9.20)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	11/498, 294		
(32) 優先日	平成18年8月1日 (2006.8.1)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

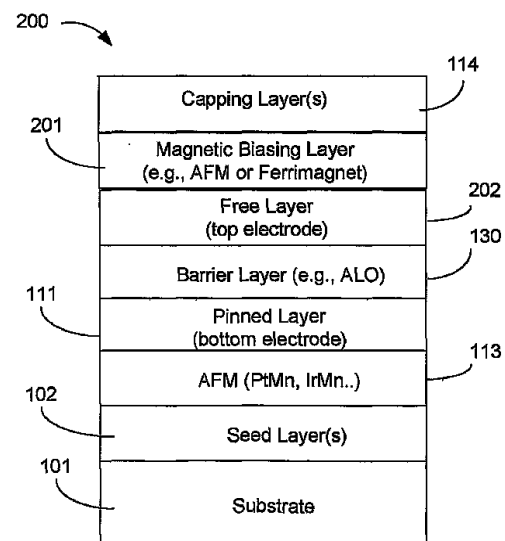
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 安定化させた強磁性自由層または強磁性自由層積層構造を有する磁性素子

(57) 【要約】

磁気トンネル接合または磁気抵抗トンネル接合 (M J T s)、及びスピナルブのような磁性多層構造は、強磁性自由層と隣接して形成され、かつ磁気結合して、例えば熱擾乱及び漏洩磁界によって生じる擾乱に対する所望の安定性を実現する磁性バイアス層を有する。低アスペクト比の安定なMTJセルは、例えば磁性バイアス層を使用する高密度MRAMメモリデバイス及び他のデバイスに対するCMOS処理を使用して形成することができる。このような多層構造に対する書き込みは、スピントランスファートルクによる書き込み電流を使用し、書き込み電流を層に直交する方向に流すことにより行なうことができる。各強磁性自由層は2つ以上の層を含むことができ、かつ強磁性自由層積層構造とすることができ、この積層構造は、第1及び第2強磁性層と、そして第1強磁性層と第2強磁性層との間の非磁性スペーサと、を含む。

【選択図】 図1A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と；

前記基板上に形成される磁気セルであって、強磁性自由層積層構造と、磁性バイアス層と、強磁性固定層と、絶縁バリア層と、を含む磁気セルと；を備え、；

前記強磁性自由層積層構造は、第 1 方向と、前記第 1 方向とほぼ反対の第 2 方向との間で変更することができる正味の磁化の向きを有し、前記強磁性自由層積層構造は第 1 及び第 2 強磁性層と、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間の非磁性スペーサと、を含み；

前記磁性バイアス層は、前記強磁性自由層積層構造と接触し、かつ磁気結合して前記強磁性自由層積層構造の保磁力を大きくし、そして前記第 1 方向と、前記第 1 方向とほぼ反対の前記第 2 方向との間での前記強磁性自由層積層構造の磁化方向の変更を可能にし；

前記強磁性固定層は、固定磁化方向を有し；

前記絶縁バリア層は、前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間に形成され、前記絶縁バリア層によって、電子が、前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間に、かつ前記絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間でトンネリングを起こすようになり、

前記強磁性自由層積層構造は前記磁性バイアス層と前記絶縁バリア層との間に配置される、デバイス。

【請求項 2】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間の前記非磁性スペーサは、Ru, Re, Cu, Ta, またはCuを含む、或いはRu, Re, Cu, Ta, またはCuを含む合金を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 3】

前記非磁性スペーサは、4～10オングストロームの膜厚を有する、請求項 2 記載のデバイス。

【請求項 4】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 及び第 2 強磁性層の内の少なくとも一つの強磁性層の強磁性材料は、Co, Coを含む合金, Fe, Feを含む合金, Ni, またはNiを含む合金を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 5】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 及び第 2 強磁性層の内の少なくとも一つの強磁性層の強磁性材料は、CoFe, CoFeB, CoFeNiB, CoFeTa, NiFe, CoPt, CoPd, FePt, Co₂Mn(Al, Si), またはCo₂(Cr, Fe)(Al, Si)を含む、請求項 4 記載のデバイス。

【請求項 6】

前記第 1 強磁性層は前記絶縁バリア層と接触し、かつXがB, P, Si, Nb, Zr, Hf, Ta, 及びTiの内の少なくとも一つを含む場合のCoFeXを含み、前記第 2 強磁性層は前記磁性バイアス層と接触し、かつ軟磁性材料を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 7】

前記第 2 強磁性層はNiFeまたはNiFeCoを含む、請求項 6 記載のデバイス。

【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 強磁性層は逆の磁歪特性を持つ、請求項 6 記載のデバイス。

【請求項 9】

前記強磁性自由層積層構造は、全体としてほぼゼロの磁歪を有する、請求項 8 記載のデバイス。

【請求項 10】

前記強磁性自由層積層構造は、前記磁性バイアス層によって磁化が弱く固定されて、前記強磁性固定層の磁化方向とは異なる前記第 1 方向の磁化方向を持つ、請求項 1 記載のデ

10

20

30

40

50

バイス。

【請求項 1 1】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 方向の磁化方向は、前記強磁性固定層の前記固定磁化方向からゼロ～135度の角度だけずれる、請求項 10 記載のデバイス。

【請求項 1 2】

前記磁気セルは、前記基板に平行な 2 つの直交方向に沿った寸法の比で表わされる 1.77 未満のアスペクト比を有する、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 1 3】

前記磁気セルは、前記基板に平行な 2 つの直交方向に沿った寸法の比で表わされる約 1 のアスペクト比を有する、請求項 1 2 記載のデバイス。

10

【請求項 1 4】

更に、前記強磁性固定層と接触するように形成されて前記強磁性固定層の磁化を前記固定磁化方向に沿って固定する反強磁性 (AFM) 層を備える、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 1 5】

前記磁性バイアス層は反強磁性 (AFM) 層を含み、前記反強磁性層は前記強磁性自由層積層構造と磁気結合して前記強磁性自由層積層構造の磁化方向の反転を可能にしながら、前記強磁性自由層積層構造の保磁力を大きくする、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 1 6】

前記磁性バイアス層は IrMn または PtMn を含む、請求項 1 5 記載のデバイス。

【請求項 1 7】

前記磁性バイアス層は、PtPdMn, NiMn, FeMn, FeMnRh, CrMn, FeNiMn, CoMn, RhMn, CrMnPt, CrMnCu, CrMnRh, CrMnPd, CrMnIr, CrMnNi, CrMnCo, CrMnTi, 及び CrAl の内の少なくとも一つを含む、請求項 1 記載のデバイス。

20

【請求項 1 8】

前記磁性バイアス層は金属反強磁性材料を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 1 9】

前記磁性バイアス層は酸化物反強磁性材料を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 2 0】

前記磁性バイアス層は、Ni(Fe)O, Fe(Co)O, Co(Fe)O, NiFe(Co)O, 及び CrO の内の少なくとも一つを含む、請求項 1 9 記載のデバイス。

30

【請求項 2 1】

前記磁性バイアス層は FeS を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 2 2】

前記磁性バイアス層は強磁性材料を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 2 3】

前記磁性バイアス層は、TbCo, DyCo, TbFe, TbFeCo, CoFeO, FeO, MnFeO, 及び ZnFeO の内の少なくとも一つを含む、請求項 2 2 記載のデバイス。

40

【請求項 2 4】

前記磁性バイアス層は 2 つの反強磁性層を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 2 5】

前記磁性バイアス層は：

第 1 及び第 2 反強磁性層と；

前記第 1 反強磁性層と前記第 2 反強磁性層との間のスペーサ層と、を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 2 6】

前記磁性バイアス層は：

反強磁性層と；

前記反強磁性層と接触するスペーサ層と、

50

を含む、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 27】

前記磁性バイアス層は更に：

前記反強磁性層と接触する第 2 スペーサ層と；

前記第 2 スペーサ層と接触する第 2 反強磁性層と、

を含む、請求項 26 記載のデバイス。

【請求項 28】

前記第 1 及び第 2 強磁性層は、非磁性スペーサを介して反強磁性結合して反対の磁化方向を有する、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 29】

前記第 1 及び第 2 強磁性層は、非磁性スペーサを介して強磁性結合して平行な磁化方向を有する、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 30】

更に、前記基板上に形成されてアレイを形成する複数の磁気セルを備える、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 31】

基板と；

前記基板上に形成され、強磁性自由層積層構造と、強磁性固定層と、絶縁バリア層と、を含む磁気セルと、を備え；

前記強磁性自由層積層構造は第 1 方向と、前記第 1 方向とはほぼ反対の第 2 方向との間で変更することができる正味の磁化の向きを有し、前記強磁性自由層積層構造は第 1 及び第 2 強磁性層と、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間の非磁性スペーサと、を含み、前記第 1 及び第 2 強磁性層は非磁性スペーサを介して強磁性結合して平行な磁化方向を有し；

前記強磁性固定層は、固定磁化方向を有し；

前記絶縁バリア層は、前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間に形成され、前記絶縁バリア層によって、電子が、前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間に、かつ前記絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記強磁性自由層積層構造と前記強磁性固定層との間でトンネリングを起こすようになる、デバイス。

【請求項 32】

前記強磁性自由層の前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間の前記非磁性スペーサは、Ru, Re, Cu, Ta, または Cu を含む、或いは Ru, Re, Cu, Ta, または Cu を含む合金を含む、請求項 31 記載のデバイス。

【請求項 33】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 及び第 2 強磁性層の内の少なくとも一つの強磁性層の強磁性材料は、Co, Co を含む合金, Fe, Fe を含む合金, Ni, または Ni を含む合金を含む、請求項 31 記載のデバイス。

【請求項 34】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 及び第 2 強磁性層の内の少なくとも一つの強磁性層の強磁性材料は、CoFe, CoFeB, CoFeNiB, CoFeTa, NiFe, CoPt, CoPd, FePt, Co₂Mn(Al, Si), または Co₂(Cr, Fe)(Al, Si) を含む、請求項 33 記載のデバイス。

【請求項 35】

前記第 1 強磁性層は前記絶縁バリア層と接触し、かつ X が B, P, Si, Nb, Zr, Hf, Ta, 及び Ti の内の少なくとも一つを含む場合の CoFeX を含み、前記第 2 強磁性層は前記磁性バイアス層と接触し、かつ軟磁性材料を含む、請求項 31 記載のデバイス。

【請求項 36】

前記第 2 強磁性層は NiFe または NiFeCo を含む、請求項 35 記載のデバイス。

【請求項 37】

10

20

30

40

50

前記第 1 及び第 2 強磁性層は逆の磁歪特性を持つ、請求項 3 5 記載のデバイス。

【請求項 3 8】

前記強磁性自由層積層構造は、全体としてほぼゼロの磁歪を有する、請求項 3 7 記載のデバイス。

【請求項 3 9】

前記強磁性自由層積層構造は、前記磁性バイアス層によって磁化が弱く固定されて、前記強磁性固定層の磁化方向とは異なる前記第 1 方向の磁化方向を持つ、請求項 3 1 記載のデバイス。

【請求項 4 0】

前記強磁性自由層積層構造の前記第 1 方向の磁化方向は、前記強磁性固定層の前記固定磁化方向からゼロ～135度の角度だけずれる、請求項 3 9 記載のデバイス。

【請求項 4 1】

第 1 方向と、前記第 1 方向とはほぼ反対の第 2 方向との間で変更することができる磁化方向を有する強磁性自由層と；

前記強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合するように形成されて前記強磁性自由層の保磁力を大きくし、前記第 1 方向と、前記第 1 方向とはほぼ反対の前記第 2 方向との間での前記強磁性自由層の磁化方向の変更を可能にする磁性バイアス層と；

ほぼ前記第 1 方向に沿って固定される磁化方向を有する強磁性固定層と；

前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間に形成される絶縁バリア層であって、電子が、前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間に、かつ前記絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間でトンネリングを起こす、絶縁バリア層と、を備え；

前記強磁性自由層は前記磁性バイアス層と前記絶縁バリア層との間に配置される、デバイス。

【請求項 4 2】

更に、前記強磁性固定層と接触するように形成されて前記強磁性固定層の磁化を前記第 1 方向に沿って固定する反強磁性（AFM）層を備える、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 4 3】

前記磁性バイアス層は反強磁性（AFM）層を含み、前記反強磁性層は前記強磁性自由層と磁気結合して、前記強磁性自由層の磁化方向を固定することなく前記強磁性自由層の保磁力を大きくする、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 4 4】

前記磁性バイアス層は金属反強磁性材料を含む、請求項 4 3 記載のデバイス。

【請求項 4 5】

前記磁性バイアス層は酸化物反強磁性材料を含む、請求項 4 3 記載のデバイス。

【請求項 4 6】

前記磁性バイアス層はフェリ磁性材料を含む、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 4 7】

前記磁性バイアス層は 2 つの反強磁性層を含む、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 4 8】

前記磁性バイアス層は：

第 1 及び第 2 反強磁性層と；

前記第 1 反強磁性層と前記第 2 反強磁性層との間のスペーサ層と、を含む、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 4 9】

前記磁性バイアス層は：

反強磁性層と；

前記反強磁性層と接触するスペーサ層と、を含む、請求項 4 1 記載のデバイス。

【請求項 5 0】

前記磁性バイアス層は互いに積層する複数の２層構造を含み、各２層構造は反強磁性層と、前記反強磁性層と接触するスペーサ層と、を含む、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５１】

更に：

前記磁性バイアス層と接触し、かつ磁気結合することにより変更可能な磁化方向、及び大きな保磁力を有する第２強磁性自由層と；

前記固定磁化方向を有する第２強磁性固定層と；そして

前記第２強磁性自由層と前記第２強磁性固定層との間に形成される第２絶縁バリア層と、を備え、

前記第２絶縁バリア層によって、電子が、前記第２強磁性自由層と前記第２強磁性固定層との間に、かつ前記第２絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記第２強磁性自由層と前記第２強磁性固定層との間でトンネリングを起こすようになる、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５２】

更に：

前記磁性バイアス層と接触し、かつ磁気結合することにより変更可能な磁化方向、及び大きな保磁力を有する第２強磁性自由層と；

前記固定磁化方向を有する第２強磁性固定層と；

前記第２強磁性自由層と前記第２強磁性固定層との間に形成されて、前記第２強磁性自由層及び前記第２強磁性固定層を有するスピントラップを構成する非磁性スペーサ層と、を備える請求項４１記載のデバイス。

【請求項５３】

前記磁性バイアス層、前記強磁性自由層、前記絶縁バリア層、及び前記強磁性固定層は、側面形状を有する積層構造を構成し、側面形状を傾斜させて強磁性自由層の横方向寸法が前記強磁性固定層よりも小さくなるようにする、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５４】

前記磁性バイアス層、前記強磁性自由層、前記絶縁バリア層、及び前記強磁性固定層は積層構造を構成し、前記積層構造はメサトップ及びボトムを含み、前記メサトップに前記強磁性自由層が形成され、前記ボトムに前記強磁性固定層が形成され、前記メサトップの横方向寸法が前記ボトムの横方向寸法よりも小さくなるようにして、前記強磁性自由層の横方向寸法を前記強磁性固定層よりも小さくする、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５５】

前記磁性バイアス層の磁化方向を、前記強磁性自由層の磁化容易軸と直交するように配向させる、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５６】

前記磁性バイアス層の磁化方向を、前記強磁性自由層の磁化容易軸と平行になるように配向させる、請求項４１記載のデバイス。

【請求項５７】

変更可能な磁化方向を有する強磁性自由層と、固定磁化方向を有する強磁性固定層と、前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間に形成される絶縁バリア層と、を備える磁気トンネル接合を設ける工程であって、前記絶縁バリア層によって電子が、前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間に、かつ前記絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間でトンネリングを起こす、工程と；

前記強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合して前記強磁性自由層の磁化方向の変更を可能にしながら、前記強磁性自由層の保磁力を大きくする磁性バイアス層を設ける工程と、を含み、

前記強磁性自由層は前記磁性バイアス層と前記絶縁バリア層との間に配置される、方法。

【請求項５８】

更に、制御磁界を印加して、前記強磁性自由層の磁化方向を変更して第１強磁性自由層

と第2強磁性自由層との間の抵抗を変化させる工程を含む、請求項57記載の方法。

【請求項59】

更に、可変の偏極電流を、磁気トンネル接合の前記強磁性自由層と前記強磁性固定層との間に直交方向に流して、前記強磁性自由層の磁化方向を変更することにより、第1強磁性自由層と第2強磁性自由層との間の抵抗を変化させる工程を含む、請求項57記載の方法。

【請求項60】

変更可能な磁化方向を有する強磁性自由層と；

前記強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合するように形成されて前記強磁性自由層の保磁力を、前記強磁性自由層の磁化方向を固定することなく大きくする磁性バイアス層であって、 $K \cdot t < J$ を満たす層厚 t 、異方性定数 K 、及び界面交換結合定数 J を有する、磁性バイアス層と；

所定方向に沿って固定される磁化方向を有する強磁性ピンド層と；

前記強磁性ピンド層と接触し、かつ磁気結合して前記強磁性ピンド層の磁化方向を所定方向に沿って固定するように作用する反強磁性ピンニング層であって、 $K' \cdot t' > J'$ を満たす層厚 t' 、異方性定数 K' 、及び界面交換結合定数 J' を有する、反強磁性ピンニング層と；

前記強磁性自由層と前記強磁性ピンド層との間に形成される中間層と；を備え、

前記強磁性自由層は前記磁性バイアス層と前記中間層との間に配置される、デバイス。

【請求項61】

前記磁性バイアス層は、デバイスの動作温度よりも高いネール温度（N e e l t e m p e r a t u r e）を有する反強磁性材料を含む、請求項60記載のデバイス。

【請求項62】

前記磁性バイアス層は、デバイスの動作温度よりも高いキューリー温度（C u r i e t e m p e r a t u r e）を有するフェリ磁性材料を含む、請求項60記載のデバイス。

【請求項63】

前記中間層は、前記強磁性自由層と前記強磁性ピンド層との間に形成される絶縁バリア層であり、前記絶縁バリア層によって電子が、前記絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で前記強磁性自由層と前記強磁性ピンド層との間でトンネリングを起こすようになる、請求項60記載のデバイス。

【請求項64】

前記中間層は非磁性金属スペーサ層である、請求項60記載のデバイス。

【請求項65】

前記強磁性自由層は、前記強磁性ピンド層及び前記反強磁性ピンニング層よりも小さい横方向寸法を有する、請求項60記載のデバイス。

【請求項66】

前記磁性バイアス層の磁化方向を、前記強磁性自由層の磁化容易軸と直交するように配向させる、請求項60記載のデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、磁性材料、及び少なくとも一つの強磁性自由層を有する構造に関するものである。

【0002】

本出願は次の米国特許出願の利益を主張する：

1. 2005年9月20日出願の「安定化させた強磁性自由層を有する磁性素子」と題する同時係属中の米国特許出願第11/232,356号、及び

2. 2006年8月1日出願の「強磁性自由層積層構造を有する磁性素子」と題する同時係属中の米国特許出願第11/498,294号。

【0003】

10

20

30

40

50

上記2つの米国出願の開示内容全体を参照することにより、開示内容全体が本出願の明細書の一部に組み込まれる。

【背景技術】

【0004】

種々の磁性材料が多層構造に使用され、多層構造は「自由」層として構成される少なくとも一つの強磁性層を有し、「自由」層の磁化方向は外部磁界または制御電流によって変更することができる。磁気メモリデバイスは、このような多層構造を使用して構成することができ、多層構造では、情報は自由層の磁化方向に基づいて記憶される。

【0005】

このような多層構造の一例が磁気トンネル接合または磁気抵抗トンネル接合 (magnetoresistive tunnel junction: MJT) であり、このトンネル接合は少なくとも3つの層：すなわち2つの強磁性層、及び2つの強磁性層の間のバリア層としての一つの非磁性絶縁体の薄膜層を含む。中間バリア層の絶縁体は導電性を示さないので、2つの強磁性層の間のバリアとして機能する。しかしながら、絶縁体の厚さが十分に薄い、例えば数ナノメートル以下である場合、2つの強磁性層の電子が絶縁体の薄膜層を、2つの強磁性層にバリア層を横切ってバイアス電圧が印加された状態で発生するトンネル効果に起因して「突き抜ける」ことができる。特に、MTJ構造を流れる電流に対する抵抗は、2つの強磁性層の磁化の相対的な向きによって変わる。2つの強磁性層の磁化が互いに平行である場合、MTJ構造における抵抗は最小値 R_P になる。2つの強磁性層の磁化が互いに反平行である場合、MTJ構造における抵抗は最大値 R_{AP} になる。この現象の大きさは普通、 $(R_{AP} - R_P) / R_P$ として定義されるトンネル磁気抵抗 (tunneling magnetoresistance: TMR) によって特徴付けられる。

【0006】

MJTを流れる電流に対する抵抗と、2つの強磁性層の間の相対磁化方向とのTMR効果における関係を不揮発性磁気メモリデバイスに使用して、情報をMTJ (磁気抵抗トンネル接合) の磁化状態により記憶することができる。TMR効果を利用する磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) デバイスは、例えば電子RAMデバイスに替わるデバイスとなる、または電子RAMデバイスに匹敵するデバイスとなることができる。このようなデバイスでは、一方の強磁性層が固定された磁化方向を有するように構成され、そして他方の強磁性層が「自由」層であり、この自由層の磁化方向は、固定された方向に対して平行になるように、または反対になるように変更することができる。情報は、MTJのバリアの2つの側での2つの強磁性層の相対的な磁化方向を利用して記憶される。例えば、バイナリービット「1」及び「0」は、MTJの2つの強磁性層の磁化が平行に配向する状態、及び反平行に配向する状態として記録することができる。MTJへのビット記録またはビット書き込みは、自由層の磁化方向を切り替えることにより、例えば電流を交差ストライプ状に配置される書き込みラインに供給することにより生成される書き込み磁界によって、スピントランスファー効果に基づいてMTJに電流を流すことによって、または他の手段によって行なうことができる。スピントランスフースイッチング (磁化反転) では、自由層の磁化の向きを変更するために必要な電流は非常に小さくすることができ (例えば、0.1 mA以下)、かつ磁界の切り替えに使用される電流よりもずっと小さくすることができる。従って、MTJにおけるスピントランスフースイッチングを利用してセルの消費電力を大幅に減らすことができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

MTJセルを利用する磁気メモリデバイスの記憶容量を大きくしたいという要求により、各MTJセルを小さくして、所定のウェハ面積におけるMTJセルの個数を増やすことが必要になる。MTJセルのサイズが小さくなると、各セルにおけるMTJの磁化方向は、熱擾乱、磁気外乱、または超常磁性のような種々の要素の影響を受け易くなる。これは

、一つの理由として、デジタルビットを記憶し、そして保持するMTJの保磁力に起因する磁気エネルギーがMTJセルのサイズとともに小さくなるからである。デジタルビットを記憶し、そして保持するための磁気エネルギーがセルサイズとともに小さくなって、普通、外乱発生源のエネルギーの複数倍である臨界値を下回ると、外乱エネルギーが、MTJセルの磁化状態を変化させ、従って記録ビットを変化させるために十分な大きさとなる恐れがある。従って、十分に小さいセルにおけるMTJの磁化方向は、これらの要素、及び他の要素のいずれかが発生する、または重なり合うことによって突発的に変更される恐れがあるので、MTJに記憶された情報が変化する、または消去される。外乱は、セルの周りの熱擾乱の熱エネルギー、またはMTJセルとセルからの漏洩磁界との間の相互作用に起因するエネルギーのような種々の要素によって発生する恐れがある。

10

【0008】

従って、MTJ及び他の多層構造における強磁性自由層の保磁力を大きくし、これによって強磁性自由層の磁化方向を種々の外乱に対して安定化させることが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本出願は、種々の特徴の中でもとりわけ、磁性バイアス層を使用して自由層の保磁力を大きくし、熱擾乱及び漏洩磁界に対する磁気安定性を高める磁気トンネル接合または磁気抵抗トンネル接合(MJT s)、及び他の磁性多層構造について記述する。このようなMTJ及び他の磁性多層構造を使用して、磁気メモリセルを、各セルが低アスペクト比で小さく形成されるCMOS処理を利用する高密度MRAMチップのような高密度集積回路において形成することができる。

20

【0010】

一の態様では、デバイスが、第1方向と、前記第1方向とほぼ反対の第2方向との間で変更することができる磁化方向を有する強磁性自由層を含むものとして記述される。磁性バイアス層もこのデバイスに、強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合するように形成して、強磁性自由層の保磁力を大きくし、かつ強磁性自由層の磁化方向を、第1方向と、前記第1方向とほぼ反対の第2方向との間で変更することができるようにする。このデバイスは更に、ほぼ第1方向に沿って固定される磁化方向を有する強磁性固定層と、そして強磁性自由層積層構造と強磁性固定層との間に形成される絶縁バリア層と、を含み、絶縁バリア層によって、電子が、強磁性自由層と強磁性固定層との間に、かつ絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で強磁性自由層と強磁性固定層との間でトンネリングを起こすようになる。強磁性自由層は磁性バイアス層と絶縁バリア層との間に配置される。

30

【0011】

別の態様では、方法が以下の工程を含むものとして記述される。変更可能な磁化方向を有する強磁性自由層と、固定磁化方向を有する強磁性固定層と、そして強磁性自由層と強磁性固定層との間に形成される絶縁バリア層と、を含む磁気トンネル接合を設け、絶縁バリア層によって電子が、強磁性自由層と強磁性固定層との間に、かつ絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で強磁性自由層と強磁性固定層との間をトンネリングするようになる。更に、強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合して強磁性自由層の磁化方向の変更を可能にしながら、強磁性自由層の保磁力を大きくする磁性バイアス層を設ける。強磁性自由層は磁性バイアス層と絶縁バリア層との間に配置される。

40

【0012】

別の態様では、本出願はデバイスについて記述し、このデバイスは、変更可能な磁化方向を有する強磁性自由層と、そして強磁性自由層と接触し、かつ磁気結合するように形成されて強磁性自由層の保磁力を、強磁性自由層の磁化方向を固定することなく大きくする磁性バイアス層と、を含む。磁性バイアス層は、 $K \cdot t < J$ を満たす層厚 t 、異方性定数 K 、及び界面交換結合定数 J を有する。MTJは更に、所定方向に沿って固定される磁化方向を有する強磁性ピンド層と、そして強磁性ピンド層と接触し、かつ磁気結合して強磁性ピンド層の磁化方向を所定方向に沿って固定するように作用する反強磁性ピンニング層と、を含む。反強磁性ピンニング層は $K' \cdot t' > J'$ を満たす層厚 t' 、異方性定数 K

50

’、及び界面交換結合定数 J' を有する。デバイスは更に、強磁性自由層と強磁性ピンド層との間に形成される中間層を含む。強磁性自由層は磁性バイアス層と中間層との間に配置される。一の実施形態では、中間層は、強磁性自由層と強磁性ピンド層との間に形成される絶縁バリア層とすることができ、絶縁バリア層によって電子が、絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で強磁性自由層と強磁性ピンド層との間でトンネリングを起こすようになる。別の実施形態では、中間層は非磁性金属層とすることができる。

【0013】

更に別の態様では、本出願は、少なくとも強磁性自由層積層構造を有するMTJ構造について記述する。このような強磁性自由層積層構造の実施形態を使用して、単一の材料しか持たない自由層において実現することが難しい多数の利点をもたらすことができる。例えば、強磁性自由層積層構造内の非磁性バイアス層は拡散バリア層として機能して、堆積後アニール処理を行なっている間の不所望の拡散及び結晶配向形成を阻止することができる。

10

【0014】

強磁性自由層積層構造を利用するデバイスに関する一つの例では、デバイスは基板と、そして基板上に形成される磁気セルと、を含む。磁気セルは強磁性自由層積層構造を含み、積層構造は第1方向と、前記第1方向とほぼ反対の第2方向との間で変更することができる正味の磁化の向きを有する。強磁性自由層積層構造は第1及び第2強磁性層と、そして第1強磁性層と第2強磁性層との間の非磁性スペーサと、を含む。強磁性固定層が固定磁化方向を有するように磁気セルに設けられる。磁気セルは更に、強磁性自由層積層構造と強磁性固定層との間に形成される絶縁バリア層を含み、絶縁バリア層によって、電子が、強磁性自由層積層構造と強磁性固定層との間に、かつ絶縁バリア層にバイアス電圧が印加された状態で強磁性自由層積層構造と強磁性固定層との間でトンネリングを起こすようになる。

20

【0015】

強磁性自由層積層構造を利用するデバイスに関する別の例では、上記デバイスは、強磁性自由層積層構造と接触し、かつ磁気結合して強磁性自由層積層構造の保磁力を大きくし、そして第1方向と、前記第1方向とほぼ反対の第2方向との間での強磁性自由層積層構造の磁化方向の変更を可能にする磁性バイアス層を含むことができる。

【0016】

これらの態様及び実施形態、及び他の態様及び実施形態、これらの態様及び実施形態の変更例及び変形例について更に詳細に、添付の図、詳細な記述、及び請求項において説明する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

磁性バイアス層を使用して本出願に記載される強磁性自由層を安定化させる方法は、種々の磁性多層構造に適用することができる。種々の実施形態では、強磁性自由層の磁化方向は、スピントランスファー効果を使用することにより切り替えることができる。MTJはこのような構造の単成る一例に過ぎない。強磁性自由層を有するこのような多層構造はスピバルブ構造であり、スピバルブ構造は、磁気メモリデバイス及び他の磁性素子に使用することもできる。スピバルブは2つの強磁性層と、そして2つの強磁性層の間のスペーサ層としての一つの非磁性金属薄膜層と、を含むことができる。MTJと同様に、一方の強磁性層が固定層であり、そして他方の強磁性層が自由層である。スピバルブの自由層は、MTJにおける自由層と同様の安定性の問題を示す。従って、バイアス層はスピバルブにおいても用いることができる。以下の例ではMTJを、種々のバイアス層の構造、実施例、及び動作を示すための例として使用する。

40

【0018】

図1Aは、Si基板のような基板101の上に形成されるMTJ100の一つの例を示している。MTJ100は、基板101上に直接形成される一つ以上のシード層102の上に構成される。シード層102の上には、反強磁性(antiferromagnet

50

i c : A F M) 層 1 1 3 がまず形成され、次に第 1 強磁性層 1 1 1 が A F M 層 1 1 3 の上に形成される。ポストアニールを施した後、強磁性層 1 1 1 の磁化を後の時点でピン止めて、強磁性層 1 1 1 に固定磁化を付与する。或る実施形態では、この固定磁化の方向は基板 1 0 1 (すなわち、基板表面) に平行とすることができる。第 1 強磁性層 1 1 1 の上には、酸化金属層のような薄い絶縁バリア層 1 3 0 が設けられる。M T J 1 0 0 では、第 2 強磁性層 1 1 2 がバリア層 1 3 0 の上に直接形成される。更に、少なくとも一つのキャップ層 1 1 4 が第 2 強磁性層 1 1 2 の上に形成されて M T J を保護する。

【0019】

強磁性層 1 1 2 の磁化はピン止めされず、かつピンド層 1 1 1 の固定磁化方向と平行に、または反平行になるように、外部制御磁界、または M T J に対して垂直方向に流れる駆動電流のいずれかを制御することによって自由に変化させることができる。このような理由により、層 1 1 2 は自由層 (free layer : F L) である。磁界動作範囲の磁界によって、または接合に電流動作範囲の電流を流すことによって、自由層 1 1 2 の磁化の向きを強制的にピンド層 1 1 1 の固定磁化方向とほぼ平行に、またはほぼ反平行にすることができる。多くの磁場系では、静磁エネルギーが競合して、磁区またはナノ磁石が各強磁性層において完全な平行配向、または完全な反平行配向を示す現象を防止するように作用する。M T J では、自由層 1 1 2 内のナノ磁石のエネルギー状態に大きな影響を与えることによって、ナノ磁石が強制的に平行配向または反平行配向を示すようになるので、ほぼ平行な配向またはほぼ反平行な配向が実現する。

【0020】

図 1 B は、磁気メモリチップデバイスの一例を示しており、このチップデバイスでは、図 1 A の M T J 構造または他の M T J 構造を利用する M T J セルの 2 次元アレイがモノリシックに基板 1 0 1 の上に形成される。デカルト座標 (x, y, z) を使用してチップの種々の寸法を示す。図 1 B の矩形ブロックを使用して M T J セルの相対位置、及びメモリチップの各 M T J セルの寸法を表わす。実際のデバイスでは、各セルは楕円形とすることができ、かつ x 方向に沿って長い。図 1 C は、図 1 B のメモリチップの M T J を含む種々の構造の例示としての一つのレイアウトを示し、この場合、各 M T J は基板上の金属ビアプラグの上に形成される。各 M T J セルは、長さ L₁ を x 方向に沿って、そして長さ L₂ を y 方向に沿って有するものとして示され、この場合、x 方向及び y 方向はともに、基板の平面に平行である。各 M T J の x 方向及び y 方向のアスペクト比は $A = L_1 / L_2$ と表わされる。メモリチップの単位面積当たりの記憶密度を大きくするために、L₁ 及び L₂ の両方を小さくして、メモリデバイスにおける所定面積内の M T J セルの個数を増やす。

【0021】

M T J セルの熱安定性を高める一つの公知の方法では、磁気セルの磁気記録層の形状異方性を使用して、空間的に特定の磁化方向に揃える。或る事例では、大きな形状異方性を使用して、例えば異方性磁界に関して数エルステッドから数十エルステッドとなり得る不十分な大きさの固有の結晶異方性を補償することができる。静磁界モデルによれば、楕円形 M T J セルのスイッチング磁界は、強い面内磁気異方性を示す膜に関して次式のように表わすことができる：

$$H_{K e f f} = H_{K i n s} + H_{K s h a p e}$$

上の式では、 $H_{K i n s}$ は結晶異方性に起因する異方性磁界を表わし、そして $H_{K s h a p e}$ は形状異方性に起因する異方性磁界を表わす。特に、 $H_{K s h a p e}$ は $A \cdot t_F / L_1$ に比例し、A は M T J 層に平行な平面における M T J のアスペクト比であり、 L_1 は磁気セルの長軸に沿った長さであり、そして t_F は自由層の膜厚である。明らかなことであるが、A を 1 よりも大きくして、十分に高い $H_{K s h a p e}$ 、従って十分に高い実効異方性 $H_{K e f f}$ を維持することにより、セルに課される熱安定性要件を満たす必要がある。大きな異方性は、大きな熱励起効率 ($K_u V / k_B T$) に対応し、 K_u は一軸異方性エネルギーであり、そして V は自由層の容積である。

【0022】

しかしながら、C M O S 製造プロセスに組み込まれた磁気セルの縮小化によって、セル

10

20

30

40

50

のサイズ、形状、及びアスペクト比（A）に制限が課される。例えば、130nmノードCMOS技術では、MTJセルのアスペクト比Aの上限は、重なるのルールを無視する場合には約1.77に制限され、そして重なるのルールを考慮に入れて、0.23μmのビアサイズを1辺につき0.055μmの重なりで設計する場合には約1に制限される。上述の技術よりも進んだ90nmテクノロジーノードのCMOS技術を使用する場合、MTJセルのアスペクト比Aは実際に、1辺につき0.003μmの重なりで設計される0.15μmのビアサイズに関して1.67から1へと小さくなる。従って、CMOS製造に関する制限が各セルのアスペクト比Aに対して課されることによって、大きなアスペクト比A、及び高いセル密度の両方を同時に達成することは困難になる。従って、MTJセルを、形状異方性を利用して安定化させるアプローチは、大きな単位面積当たりのセル密度を持つメモリデバイスにおいて実行することが困難になる。更に、セルの形状を非対称にすると、製造工程中のプロセスの複雑さが増大し、かつセルの均一性を制御するのが難しくなる。

10

【0023】

本出願では、MTJの自由層に大きな異方性磁界、または大きな保磁力を発生させて、熱擾乱及び漏洩磁界のような外乱に対するMTJセルの安定性を、セル形状を非対称にする必要を生じることなく高める技術及びMTJセル構造について記述する。熱安定性が高い磁気セルは、MTJセルの自由層の異方性磁界または保磁力がバイアス層によって大きくなるので、小さいアスペクト比によって実現することができる。その結果、標準のCMOS製造プロセスを、小さな寸法のこのようなセルの製造プロセスに適用して、MRAMまたは他のデバイスに使用される高集積MTJセルアレイを構成することができる。種々の実施形態では、大きな保磁力を持つ自由層を備えるMTJセルは、スピントランスファーによる磁化反転を利用して動作することによりデータを記憶するように構成することができる。このようなMTJセルを使用して低消費電力及び高速書き込み、及び読み出しを実現する。

20

【0024】

図2は、MTJセル構造200の一例を示し、このセル構造は、所望の熱安定性を低アスペクト比で実現するために適する保磁力の大きい強磁性自由層202を有する。図2のMTJの基本的な層は図1の構造と同様の構造になっている。自由層202は図1の自由層112とは、磁性バイアス層201が自由層202と接触し、かつ磁気結合するように形成されて、自由層202の保磁力を大きくする点で異なる。磁性バイアス層201と自由層202との間の磁気結合は或る大きさに設定され、この大きさの磁気結合によって、自由層202の磁化方向を2つの反対方向の間で、例えば電流をMTJに流し、スピントランスファースイッチング（磁化反転）を利用することにより変更する、または切り替えることができる。或る実施形態では、磁性バイアス層201の磁化方向を、自由層202の磁化容易軸に直交するように配向させて、交換磁界またはループシフト量を小さくする、または最小にすることができる。他の実施形態では、磁性バイアス層201の磁化方向を、自由層202の磁化容易軸に平行になるように配向させることができる。

30

【0025】

図2に示す構造では、ピンド層111は第1方向または第2方向のいずれかに沿った固定磁化方向を有する。絶縁バリア層130を自由層202とピンド層111との間に形成して、電子が、自由層202とピンド層111との間で、自由層202とピンド層111との間に、かつ絶縁バリア層130にバイアス電圧が印加されている状態でトンネリングを起こすようにする。絶縁バリア層130を形成する金属は、例えばアルミニウム（Al）、ハフニウム（Hf）、ジルコニウム（Zr）、タンタル（Ta）、及びマグネシウム（Mg）とすることができる。更に、異なる金属を利用する種々の窒化物層を使用して絶縁バリア層130を形成することができる。幾つかの例が、アルミニウム窒化物（例えば、AlN）、Ti窒化物（例えば、TiN）、AlTi窒化物（例えば、TiAlN）、及びマグネシウム窒化物である。層111、202、及び114の各々は、2つ以上のサブ層を含む多層構造を有することができる。磁性バイアス層201は反強磁性層または強

40

50

磁性層とすることができる。

【0026】

この構造では、強磁性層111はAFM層113と接触し、かつAFM層113と磁気結合する。強磁性層111は「自由」ではなく、かつこの層の磁化方向がAFM層113によって固定されるので磁化反転することができない。AFM層113は詳細には、強磁性層111の磁化方向をピン止めするように構成される。これに関連して、AFM層113は、3つのパラメータ：すなわちAFM層の層厚 t_{AF} 、AFM層の異方性定数 K_{AF} 、及び強磁性層111との結合の程度を示すAFM層の界面交換結合定数 J_{int} によって特徴付けることができる。AFM層113に関するこれらのパラメータは次の条件式を満たす場合、

$$K_{AF} \cdot t_{AF} > J_{int},$$

AFM層113の磁気異方性が支配的になり、そしてAFM層113は、層111の異方性を、層113と111との間の磁気結合によって磁氣的に制御する。この状態では、強磁性層111の磁化方向は、AFM層113の一方異方性によって固定される。このピン止め状態は、例えばAFM層の膜厚 t_{AF} を厚くすることにより、AFM材料の異方性定数 K_{AF} を大きくすることにより、または膜厚 t_{AF} を厚く、かつ異方性定数 K_{AF} を大きくすることにより実現する。ピン止め状態は、AFM層の膜厚 t_{AF} が厚く、かつ異方性定数 K_{AF} が非常に小さいAFM材料を使用することにより実現することができる。

【0027】

磁性バイアス層201は、AFM層113とは異なる磁気特性を持つことにより層111をピン止めし、そしてAFM層113とは異なる機能を実現するように構成される。層201及び自由層202は互いに磁気結合するが、自由層202は依然として「自由であり」、そして自由層の磁化方向は、スピントランスファースイッチングに基づいて電流を流すことにより変更することができる。従って、バイアス層201は次の条件式を満たすように構成される：

$$K_{AF} \cdot t_{AF} < J_{int}$$

磁性バイアス層201の膜厚が小さい値に設定される場合、交換バイアス磁界は無視できるほど小さいが、保磁力は、合計異方性エネルギーが自由層202において増大するので、AFM層の膜厚とともに増大する。従って、磁性バイアス層201は、自由層202の異方性磁界を大きくするように構成される。種々の実施形態では、磁性バイアス層201のAFM材料は、ブロッキング温度をMTJセルの動作温度よりも高くし、界面交換結合定数 J_{int} を大きくし、そして異方性定数 K_{AF} を適度に大きくするように選択される。反強磁性材料の場合、ネール温度(Neel temperature)がブロッキング温度(冷却過程で磁化が固定される温度)となる。強磁性材料の場合、当該材料のキュリー温度(Curie temperature)がブロッキング温度となる。多くのアプリケーションにおいて、磁性バイアス層201の膜厚 t_{AF} は一定の値に設定することができる、または変更することができる。従って、他の2つのパラメータ K_{AF} 及び J_{int} を調整し、そして選択して、条件式 $K_{AF} \cdot t_{AF} < J_{int}$ を満たし、自由層202の異方性磁界または保磁力 H_c が磁気セル構造の熱安定性の条件を満たすために十分な大きさとなるようにする。

【0028】

J_{int} 及び K_{AF} の値が固定される場合、臨界AFM膜厚は $t_{AFcritical} = J_{int} / K_{AF}$ と表わされ、そして交換バイアス磁界 H_{ex} が2つの動作領域の間で発現する現象を示す指標として使用される。広く使用される2つのAFM材料がIrMn及びPtMnである場合、 $t_{AFcritical}$ に関する推定値はそれぞれ40オングストローム及び80オングストロームであり、この場合、 $J_{int} = 0.04$ (IrMn) erg/cm^2 及び 0.08 (PtMn) erg/cm^2 、及び $K_{AF} = 1 \times 10^{+5}$ erg/cm^3 である。実際のデバイス形態では、これらの値は、製造プロセスにおける種々の複雑さに起因して上記推定値から変わり得る。

【0029】

磁性バイアス層 201 は、 $K_{AF} \cdot t_{AF} < J_{int}$ で表わされる領域の内部で動作して、十分に大きい保磁力が隣接する自由層 202 に発生するように構成される。一例として、磁気セル構造が、データを 10 年間に渡って保持するために必要とされる条件である $K_u V / k_B T = 55$ を満たす場合、自由層の該当する保磁力は、IrMn から成る AFM 層を、 $Area = 0.02 \mu m^2$, $t_F = 25$ オングストローム, $Ms = 1050 \text{ emu/cc}$, $A = 1:1$ を満たす磁性バイアス層として使用する場合に約 100 エルステッドとなる。しかしながら、既存の実験データは、ほとんどの注目に値する保磁力 H_c が数十エルステッド内に収まり、かつ普通、 H_c が更に、交換バイアス磁界 H_{ex} とともに増大することを示唆している。このような状況では、磁性バイアス層を自由層と一緒に使用して自由層の異方性を大きくするには、AFM 積層構造及びプロセス加工技術を用いて、交換バイアス磁界 H_{ex} を小さくし、かつ保磁力を $K_{AF} \cdot t_{AF} < J_{int}$ の条件を満たす範囲内で大きくする必要がある。

10

【0030】

図 3A は、保磁力 H_c を $K_{AF} \cdot t_{AF} < J_{int}$ の条件を満たす範囲で大きくするモードを示し、この場合、 $K_{AF} = 1 \times 10^{+5} \text{ erg/cm}^3$ 、 $t_F = 25$ オングストローム、そして $Ms = 1050 \text{ emu/cc}$ である。図 3B は、 $K_{AF} \cdot t_{AF}$ を 0.01 erg/cm^2 以上にして自由層における保磁力 H_c を大きくする必要がある AFM 磁性バイアス層 (IrMn) の異方性エネルギーを示している。

【0031】

図 2 の磁性バイアス層 201 は種々の構成で用いることができる。例えば、磁性バイアス層 201 は単一の AFM 層により形成することができ、この場合、組成をプロセス条件を制御することによりずらして、Mn 含有量が IrMn の場合に 50~95 原子%であり、かつ PtMn の場合に 30~80 原子%となるようにする。層厚は 10~200 オングストロームとすることができる。

20

【0032】

別の例として、磁性バイアス層 201 は、2つの AFM 材料、すなわち AFM1 及び AFM1 によりそれぞれ形成される 2つの AFM サブ層から成る 2重層とすることができる、または AFM1 及び AFM2 から成る 2重層の積層構造とすることができる。各 AFM サブ層は 10~200 オングストロームの膜厚を有し、かつ IrMn または PtMn により形成することができる。例えば、サブ層 AFM1 では、Mn 含有量が IrMn の場合に 75~85 原子%であり、そして PtMn の場合に 45~55 原子%である。層厚は IrMn の場合に 10~40 オングストロームとし、そして PtMn の場合に 40~80 オングストロームとすることができる。サブ層 AFM2 では、Mn 含有量が IrMn の場合に 50~85 原子%または 85~95 原子%であり、そして PtMn の場合に 5~45 原子%または 55~80 原子%であり、サブ層 AFM2 の膜厚は調整することができる。

30

【0033】

磁性バイアス層 201 は、非磁性スペーサが 2つの AFM 層である AFM1 と AFM2 との間に配置される (すなわち、AFM1 / スペーサ / AFM2) 構成の 3つの層から成る 3重層とすることもできる、または 2つ以上の 2重層 AFM1 / スペーサ から成る積層構造とすることもできる (スペーサ = Ru, Ta, Cu, NiFeCr, 2~20 オングストローム)。

40

【0034】

これらの例、及び他の例では、AFM1 層及び AFM2 層は同様の組成及び構造、または異なる組成及び構造を有することができる。2つ以上のサブ層を有する磁性バイアス層では、自由層と界面を接する AFM サブ層は、AFM の臨界層厚よりも薄い膜厚を有するように構成される。この構成によって、磁性バイアス層全体が成長するときの保磁力 H_c を高めながら交換バイアス磁界 H_{ex} に対する制御性を高めることができる。

【0035】

マグネトロンスパッタリングを使用して磁性バイアス層を形成することができる。別の構成として、IBD (イオンビーム蒸着) を使用するイオンビーム支援堆積プロセスを使

50

用して、層の構造及び組成を変更して、保磁力 H_c を高め、かつ交換バイアス磁界 H_{ex} を弱めることができる。更に、磁性バイアス層に磁界中でイオンを照射することにより、交換バイアス磁界 H_{ex} を弱めながら保磁力 H_c を高めることができる。

【0036】

種々のAFM材料を使用して、磁性バイアス層201全体の一つ以上のサブ層を構成することができる。例えば、次のAFM材料の内のいずれかを使用する、または次のAFM材料の内の2つ以上のいずれかの材料の組み合わせを使用することができる：(1)金属AFM材料： $IrMn$ 、 $PtMn$ 、 $PtPdMn$ 、 $NiMn$ 、 $FeMn(Rh)$ 、 $CrMn$ 、 $FeNiMn$ 、 $CoMn$ 、 $RhMn$ 、 $CrMn(Pt, Cu, Rh, Pd, Ir, Ni, Co, Ti)$ 、及び $CrAl$ ；(2)酸化物AFM材料： $Ni(Fe)O$ 、 $Fe(Co)O$ 、 $Co(Fe)O$ 、 $NiFe(Co)O$ 、 CrO ；及び(3) FeS 。更に、磁性バイアス層201の各AFM材料は、 $TbCo$ 、 $DyCo$ 、 $TbFe$ 、 $TbFeCo$ 、 $CoFeO$ 、 FeO 、及び $(Mn, Zn)FeO$ のような2つ以上の強磁性材料の内の一つの材料、またはこれらの強磁性材料の組み合わせに置き換えることもできる。上の組成化学式では、()内の元素は含有量が少ない元素を表わす。例えば、 $Fe(Co)O$ では、 Co の含有量が Fe の含有量よりも少ない。

【0037】

CMOS構造及び製造におけるビア処理では、重なるのルールが課されるので、磁気セルのアスペクト比及びサイズが制限を受ける。MTJセルに磁性バイアス層を使用することにより、自由層の熱安定性を高めることができ、かつ安定なMTJセルをCMOSの微細化限界内で形成することができる。自由層は薄い膜厚、及び小さい磁気モーメントを有するように設計して、スピントランスファー効果に基づいて自由層の磁化方向を切り替えるために必要なスピントランスファースイッチングによる電流密度を小さくすることができる。磁性バイアス層を設けることにより、このような薄い自由層に高い保磁力及び所望の熱安定性を持たせることができる。

【0038】

一旦、MTJセルのサイズ及びアスペクト比を小さくして、寸法200nmよりも小さくする、または100nm未満とすると、このような小さなMTJセルは熱的に不安定になり易く、かつ磁区構造の磁壁の影響、及び漏洩磁界による影響を受け易くなる。磁壁の影響は、スピncerリングが生じる、またはスピン渦を引き起こすことによりスピン配向が変化し易くなるように作用する。スピン配向が変化することにより、磁気セルの磁気特性が劣化し、そして情報記憶のデータエラーレートが大きくなる。磁性バイアス層を使用して種々の実施形態におけるこれらの問題を解決することができ、磁性バイアス層と自由層との間で起きる異方性エネルギーに及ぼす強磁性交換相互作用により、スピンが磁性バイアス層の磁化容易軸に沿って配向して、磁気セルの磁気特性を向上させる。

【0039】

特に、自由層の保磁力が磁性バイアス層との磁気相互作用によって高まることにより、MTJセルは所望の安定性を熱擾乱及び漏洩磁界に対して、セルの形状異方性を利用することなく実現することができる。従って、セルの形状異方性の度合いが小さい場合、例えばセルをCMOS処理を用いて形成して、セルが約100nmの寸法を有するようになる場合、磁性バイアス層を使用することによって、MTJセルを、CMOSプロセス技術で達成される低アスペクト比を満たすように設計し、そして形成することができる。このような背景から、磁気セルの形状またはアスペクト比はMTJセルの制約要素ではなくなる。従って、磁性バイアス層を使用することによって、セル設計及びレイアウトを容易にすることができる。更に、自由層の保磁力を所望の大きさに、磁性バイアス層の異方性を、構造及びプロセスを制御して調整することにより設定することができる。この調整は、CMOS処理において行なわれる各セルのアスペクト比に対する制御よりも、相対的に容易に、かつ均一性及びプロセスマージンが改善されるように行なうことができる。

【0040】

図2の構造における磁性バイアス層以外の層の種々の例について以下に説明する。

【0041】

1. 自由層

自由層 (FL) は Co, Fe, Ni, またはこれらの金属の合金であり、これらの金属及び合金は結晶構造を有する、またはボロンによって改質されるアモルファス状態になっている、或いは他のアモルファス形成元素が異なる組成 (0~30 原子%) で添加された状態になっている。自由層の飽和磁化は、アモルファス形成元素の組成を変えることにより、 $400 \sim 1500 \text{ emu/cm}^3$ の範囲に調整することができる。層厚を制御して、出力信号が許容レベルに維持されるようにすることができる (電流誘起磁化反転を最適化しながら)。

【0042】

自由層は単一層構造または多層構造とすることができる。単一層構造の場合、強磁性材料またはフェリ磁性材料を使用することができる。多層構造の個々の層は、強磁性材料またはフェリ磁性材料のいずれかである複数の磁性材料の組み合わせとする、或いは磁性層及び非磁性層の組み合わせ (2つの強磁性層が非磁性スペーサによって分離される構成の複合反強磁性体のような) とすることができる。スペーサ層をこの複合構造に使用することによって更に、拡散停止層が、反強磁性層に使用される Mn 元素がバリア層に拡散する可能性を無くすように作用するという利点が得られる。強磁性層は、Co, CoFe (5~40%), CoFe (5~40%) B (5~30%), CoFe (5~40%) Ta (5~30%), NiFe (~20%), CoPt (5~40%), CoPd (5~40%), FePt (5~40%), Co_2Mn (Al, Si), または Co_2 (Cr, Fe) (Al, Si) とすることができる。フェリ磁性層は、CoGd (15~35%) または FeGd (10~40%) とすることができる。非磁性スペーサは、Ru, Re, または Cu とすることができる。全ての組成は原子パーセントで表記されている。

【0043】

2. ピン層

ピン層 (PL) は、Co, Fe, Ni, またはこれらの金属の合金であり、これらの金属及び合金は結晶構造を有する、またはボロンによって改質されるアモルファス状態になっている、或いは他のアモルファス形成元素が異なる組成 (0~30 原子%) で添加された状態になっている。ピン層は、単一層構造または多層構造とすることができる。単一層構造の場合、強磁性材料またはフェリ磁性材料を使用することができる。多層構造の個々の層は、強磁性材料またはフェリ磁性材料のいずれかである複数の磁性材料の組み合わせとする、或いは磁性層及び非磁性層の組み合わせ (2つの強磁性層が非磁性スペーサによって分離される構成の複合反強磁性体のような) とすることができる。強磁性層は、Co, CoFe (5~40%), CoFe (5~40%) B (5~30%), CoFe (5~40%) Ta (5~30%), NiFe (~20%), CoPt (5~40%), CoPd (5~40%), FePt (5~40%), Co_2Mn (Al, Si), または Co_2 (Cr, Fe) (Al, Si) とすることができる。フェリ磁性層は、CoGd (15~35%) または FeGd (10~40%) とすることができる。非磁性スペーサは、Ru, Re, または Cu とすることができる。全ての組成は原子パーセントで表記されている。

【0044】

3. バリア層

トンネルバリア層は、AlO (40~70%), MgO (30~60%), AlO (40~70%) N (2~30%), AlN (30~60%), 及び Al (Zr, Hf, Ti, Ta) O から成る単一層、または上に挙げた膜から成る多層構造とすることができる。これらの層または膜は結晶構造を有する、またはアモルファス状態になっている。5 オングストローム~40 オングストロームの範囲の膜厚を有するバリア層は、元の金属開始材料を堆積させ、次に堆積膜を自然酸化及び/又はプラズマ酸化を使用して酸化することにより、または元の酸化物開始材料を、トンネル電流がバリアを流れるように rf スパッタリングすることにより処理される。バリアの抵抗一面積の積の範囲は $10 \sim 100 \Omega \cdot \mu\text{m}$

²である。バリアと自由層との間だけでなく、バリアとピンド層との間の界面の構造を最適化して電子の最大のスピン偏極率（偏極率＞40％）だけでなく、最大のトンネル磁気抵抗（TMR）値（例えば、TMR＞20％）を実現する。

【0045】

4. スペーサ層

スピバルブセルでは、MTJセルに関して上に説明したバリア層130は、非磁性金属スペーサ層によって置き換えられる。スペーサ材料の例として、Cu, Ag, Pt, Ru, Re, Rh, Ta, Ti, 2つ以上のこれらの金属の組み合わせ、またはこれらの金属の合金を挙げることができる。非磁性スペーサ層は、上に挙げた金属の内の一つ以上の金属を、ナノ酸化物（NOL）層または電流閉じ込め層を挿入する形でこれらの層と組み合わせることにより形成することができる。或る実施形態では、非磁性スペーサは、まず、元の金属開始材料を堆積させ、次に堆積膜を自然酸化及び／又はプラズマ酸化を使用して酸化することにより、または元の金属開始材料をrfスパッタリングすることにより形成することができる。金属開始材料には、ピン層材料または自由層材料と同様の材料を使用することができ、このような材料として、CoFe, CoFeB, 及びCoFeNiBのような磁性材料、及びAl, Ta, Ru, 及びTiのような非磁性材料を挙げることができる。電流閉じ込め層は、例えばCu/CoFe, FeSi, Al, Ta, Ru, またはTi/NOL/Cuとすることができる。

【0046】

図2の磁性バイアス層を有するMTJセルには、「bottom MTJ（ボトムMTJ）」構造を使用し、この構造では、強磁性ピン層111がバリア層130と基板101との間に配置される。別の構成として、自由層202及び当該自由層の磁性バイアス層201は「top MTJ（トップMTJ）」構造においては、バリア層130の下に、かつ基板101の上方に配置することができる。図4は、磁性バイアス層201をシード層（群）102の上に直接成長させる構成のMTJの一例400を示している。

【0047】

更に複雑な構造は、磁性バイアス層を有する上に説明したMTJを基本にして構成することができる。図5は、デュアルMTJ構造500を示し、この構造では、2つのMTJ 510及び520を互いに対して積層し、そして共通磁性バイアス層501を共有する。この例では、第1MTJ 510は、シード層102の上に直接形成されるAFM（反強磁性）ピンニング層113Aを有し、そしてMTJ 510の他の層、すなわちピン層111A、バリア層130A、自由層511、及び磁性バイアス層501は、AFM層113Aの上に順番に配置される。MTJ 510の磁性バイアス層501は、MTJ 520の磁性バイアス層でもあり、MTJ 520は、自由層521、バリア層130B、ピン層111B、及びAFMピンニング層113Bを含み、これらの層は、磁性バイアス層501の上に順番に配置される。次に、一つ以上のキャップ層114をMTJ 520の上に形成する。

【0048】

上に説明した磁気セル構造では、自由層の磁化方向をスピントランスファー効果を利用して反転させるために使用される電流は、自由層の横方向寸法を小さくすることにより小さくすることができる。反転電流を小さくすることにより、メモリセルの消費電力を小さくし、かつ高集積メモリセル構造における熱放散問題を軽減することができる。バイアス層を設けて薄い自由層の熱安定性を高める他に、セル形状を、スピントランスファートルクによる書き込み電流密度を小さくするように設計することができる。

【0049】

図6A及び6Bは、図2のセル構造を、自由層の寸法を小さくした形で用いて2つのセル形状を設計した様子を示している。図6Aでは、各セルの積層構造601の側面形状を傾斜させて、または傾けて自由層202の横方向寸法を小さくしている。図6Bでは、各セルの積層構造602を逆T字型の形状にして、メサトップに自由層202及び磁性バイアス層201を形成し、そしてボトムにバリア層130、ピン層111、及びAFM層

113、シード層102を形成する。メサトップの寸法をボトム寸法よりも小さくして、メサトップに形成される自由層の横方向寸法を小さくする。同様に、図7A及び7Bは、図5のセル構造を、自由層の寸法を小さくした形で用いて2つのセル形状を設計した様子を示している。

【0050】

図6A及び7Aに示す上述の傾斜側壁形状は、処理中にマスク層の傾斜を利用することにより得られ、そして図6B及び7Bに示す逆T字型の形状は、側壁スペーサプロセスを使用することにより得られる。

【0051】

MTJ構造に関して上に示した例は、スピンバルブ構造によって置き換えることもでき、この置き換えは、MTJバリア絶縁層を、非磁性金属スペーサ層に置き換えることにより行なわれる。図5では、例えば図示のデュアル構造はデュアルスピンフィルタ (dual spin filter) とすることができ、デュアルスピンフィルタでは、スピンバルブ及びMTJを、2つのバリアの一方を非磁性スペーサ層に置き換えることにより、互いの上に積層させる。

【0052】

磁性バイアス層を有する上述のMTJセルを利用するMRAMメモリデバイスは、ビットをセルに記憶するためにスピントランスファースイッチング (スピントランスファーによる磁化反転) を利用するように構成することができる。行選択及び列選択を行ない、かつワードライン及びビットラインを含む回路要素がMRAMメモリデバイスに組み込まれる。データを記憶する偏極電流を流す書き込み電流源、及び読み出しセンス電流を供給する読み出し電流源もメモリデバイスに組み込まれる。このようなメモリデバイスにおけるスピントランスファースイッチングは種々の構成で行なうことができる。スピントランスファーに関する現時点での情報は、Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 159, p. L1-L5 (1996) に掲載されたJ. C. Slonczewskiによる「磁気多層の電流駆動励磁」と題する論文、Phys. Rev. B, Vol. 54, p. 9353 (1996) に掲載されたL. Bergerによる「電流を磁気多層膜に流すことによるスピン波の励起」と題する論文、及びAppl. Phys. Lett., vol. 77, No. 23, p. 3809-3811 (2000) に掲載されたF. J. Albert, J. A. Katine and R. A. Burhmanによる「Co薄膜ナノ磁石のスピン偏極電流による磁化反転」と題する論文に記載されている。しかしながら、スピントランスファーは、上記参考文献に記載される技術に示される構成以外の他の構成で利用することができる。

【0053】

上記参考文献に基づいて、スピントランスファー効果は、強磁性金属-常伝導金属多層膜のスピン依存電子輸送機構により生じる。スピン偏極電流が磁性多層構造を、これらの層に直交する方向に流れる場合、強磁性層に流れ込む電子のスピン角運動量が強磁性層と常伝導金属層との界面近傍の強磁性層の磁気モーメントと相互作用する。この相互作用を通して、電子のスピン角運動量の一部が強磁性層の磁気モーメントへと受け渡される。その結果、スピン偏極電流によって、電流密度が十分に大きい場合 (約 $10^7 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$) に、かつ直交電流によって生じる螺旋状磁場の影響が大きくなりくらないに多層膜の寸法が小さい (約200ナノメートル未満) 場合に、強磁性層の磁化方向を切り替え (反転させ) ることができる。更に、自由層の磁化方向を変更するための磁化反転電流を小さくするために、強磁性層を十分薄くする、例えば好ましくは或る実施形態では、Coの場合に約10ナノメートル未満とする必要がある。薄い自由層は磁性バイアス層を設けない状態では、保磁力が小さく、かつ大きな反転電流を必要とする厚い自由層よりも安定性が低い。磁性バイアス層を使用することにより、自由層を薄くして反転電流を小さくできるとともに、熱擾乱及び漏洩磁界に対して十分大きな保磁力を維持することができる。

10

20

30

40

50

【0054】

上述したように、種々の磁気構造の例における強磁性自由層は2つ以上の層を含むことができる。このような多層構造の強磁性自由層は、種々の構成で用いることができる。例えば、多層構造の強磁性自由層は、複数の磁性材料の組み合わせを含むことができ、そしてこれらの磁性材料の各々は、強磁性材料またはフェリ磁性材料のいずれかとすることができる。強磁性自由層に関するこのような組み合わせにおける強磁性材料として、Co；Coを含む合金；Fe；Feを含む合金；Ni；またはNiを含む合金を挙げることができる。従って、特定の例では、強磁性自由層に関するこのような組み合わせにおける強磁性材料として、Co；Coを含む合金；Fe；Feを含む合金；Ni；及びNiを含む合金の内の2つ以上を挙げることができる。強磁性自由層に関する組み合わせに適する強磁性合金の幾つかの例として、CoFe，CoFeB，CoFeNiB，CoFeTa，NiFe，CoPt，CoPd，FePt，Co₂Mn(Al，Si)，及びCo₂(Cr，Fe)(Al，Si)を挙げることができる。強磁性自由層に関するフェリ磁性材料は、例えばCoGdまたはFeGdとすることができる。

10

【0055】

特に、多層構造の強磁性自由層は、磁性層及び非磁性層の組み合わせを含むことができる。一つの特定の例が多層サンドイッチ構造であり、この構造は、2つの強磁性層、及びこれらの2つの強磁性層の間の非磁性スペーサ層を有する。

【0056】

図8はMTJ構造800の一例を示し、この場合、強磁性自由層積層構造(multilayered free ferromagnetic stack)810は、第1強磁性層811及び第2強磁性層812と、そして2つの強磁性層811と強磁性層812との間の非磁性スペーサ層813と、を有する多層サンドイッチ構造である。非磁性スペーサ層813は、2つの強磁性層811と強磁性層812との間の磁気結合を可能にして、強磁性自由層積層構造810が全体として、一つの強磁性自由層のように動作するように構成され、この強磁性自由層は、電流をMTJに流すことによって磁化反転させることができ、かつMTJの磁性バイアス層201によって安定化させることができる。この強磁性自由層積層構造810を使用して一つの自由層を、図1A，4，5，6A，6B，7A，及び7Bに示す例のような他の構造に用いることもできる。磁気メモリデバイスとして使用される場合、バリア層130と接触する第1強磁性層811は主として記憶層として機能して、記録ビットを2つの方向のいずれかの方向として記憶する。

20

30

【0057】

強磁性自由層積層構造810は、単一材料しか含まない一つの自由層では実現することが難しい多数の利点をもたらすように構成することができる。例えば、非磁性スペーサ層813は、拡散バリア層として機能して、堆積後アニール処理を行なっている間の不所望の拡散及び結晶配向の進行を阻止することができる。

【0058】

別の例として、強磁性材料は磁歪現象を起こす、すなわち材料の寸法及び形状が磁界とともに変化する。磁歪現象は、一つの理由として、MTJアレイにおいてセルの位置を一つのMTJセルから別のMTJセルに変えたときにセルの形状または寸法に変化が生じると必ず、MTJセルの動作が変化してデバイス性能が低下するので望ましくない。2つの強磁性層811及び812を、強磁性自由層積層構造810の多層サンドイッチ構造に使用することにより、多層サンドイッチ構造を、強磁性自由層積層構造810の多層サンドイッチ構造の全体としての磁歪を小さくするように設計することができる。例えば、2つの強磁性層811及び812の材料は、磁歪がほぼゼロになるように選択することができる。この状態を実現することができない、または難しい場合、2つの強磁性層811及び812の材料は、磁歪を反対方向に生じて、これらの材料の磁歪が、強磁性自由層積層構造810の多層サンドイッチ構造において互いに打ち消し合って、全体としての磁歪がゼロになる、またはほぼゼロになるように選択することができる。

40

【0059】

50

従って、強磁性自由層積層構造 8 1 0 の多層サンドイッチ構造によって、層 8 1 1, 8 1 2、及び 8 1 3 の材料を選択し、そして単一材料の自由層構造では解決することが困難な構造の全体特性を設計するための技術的な柔軟性がもたらされる。

【0060】

強磁性自由層積層構造 8 1 0 における 2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 の相対磁化方向は 2 つの構成で実現することができる。第 1 の構成は反平行構成であり、この場合、2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 の磁化方向が、2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 が反強磁性結合することによって互いに反対になるように設定される。2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 が反強磁性結合することによって、この反平行構成が維持されるので、2 つの層 8 1 1 及び 8 1 2 の磁化方向が一斉に反転する。第 2 の構成は平行構成であり、この場合、2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 の磁化方向が、2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 が強磁性結合することによって互いに平行になるように設定される。2 つの層 8 1 1 及び 8 1 2 が強磁性結合することによって、この平行構成が維持されるので、2 つの層 8 1 1 及び 8 1 2 の磁化方向が一斉に切り替えられる（反転する）。これらの 2 つの構成は異なる。スピントランスファートルク磁化反転が起きる場合、反平行構成では書き込み閾値電流が、平行構成における書き込み閾値電流よりも大きくなり易い。従って、平行構成を、書き込み電流が小さく、従って消費電力が小さい幾つかのデバイスに用いると有利となる。

【0061】

2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 が設けられる場合、層 8 1 1 と 8 1 2 との間の非磁性スペーサ層 8 1 3 は、強磁性自由層積層構造 8 1 0 を、2 つの構成の内のいずれかの構成に設定するように構成することができる。所定の導電性非磁性材料がスペーサ層 8 1 3 として使用される場合、スペーサ層 8 1 3 の膜厚を制御して、強磁性結合または反強磁性結合のいずれかを生じさせることができる。スペーサ層 8 1 3 が、例えばルテニウムにより形成される場合、反強磁性結合は、Ru 層 8 1 3 の膜厚が約 3 または 7、または 18、或いは 31 オングストロームの場合に生じる。Ru 層 8 1 3 の膜厚が 3～7 オングストローム、または 7～18 オングストローム、或いは 18～31 オングストロームの場合、強磁性結合が層 8 1 1 と 8 1 2 との間で生じる。

【0062】

種々の実施形態において、2 つの強磁性層 8 1 1 及び 8 1 2 に適する強磁性材料として、例えば Co; Co を含む合金; Fe; Fe を含む合金; Ni; または Ni を含む合金を挙げることができる。特定の例では、強磁性材料として、CoFe, CoFeB, CoFeNiB, CoFeTa, NiFe, CoPt, CoPd, FePt, Co₂Mn(Al, Si), または Co₂(Cr, Fe)(Al, Si) を挙げることができる。非磁性スペーサ層 8 1 3 は、例えば Ru, Re, または Cu とすることができる。強磁性自由層積層構造 8 1 0 を磁氣的に安定化させる磁性バイアス層 2 0 1 を設けることによって、磁性バイアス層 2 0 1、強磁性自由層積層構造 8 1 0、絶縁バリア層 1 3 0、及び強磁性ピン

ド層 1 1 1 を含む各 MTJ セルをパターンニングして、互いに平行な 2 つの直交方向に沿った寸法のアスペクト比を小さくすることができる。小さいこのアスペクト比を約 1 に設定してセル密度を高くし、そして CMOS 製造処理のアスペクト比に合わせる

【0063】

強磁性自由層積層構造 8 1 0 の多層サンドイッチ構造の特定の例として、ピン

ド層 1 3 0 と接触する第 1 強磁性層 8 1 1 は CoFeX とすることができ、この場合、X は B, P, Si, Nb, Zr, Hf, Ta, 及び Ti の内の少なくとも一つを含む。磁性バイアス層 2 0 1 と接触する第 2 強磁性層 8 1 2 は、磁歪がほぼゼロの NiFe または NiFeCo 合金のような軟磁性材料から成る層とすることができる。第 1 強磁性層 8 1 1 の CoFeX 材料の組成、及び第 2 強磁性層 8 1 2 の材料の組成を選択して逆の磁歪特性を生じさせ、自由層積層構造 8 1 0 の全体としての磁歪がほぼゼロとなるようにする。所望の材料組成を実現するための一つの方法では、第 1 強磁性層 8 1 1 の CoFeX における元素（すなわち、Co, Fe, 及び X）の相対割合、及び第 2 強磁性層 8 1 2 の NiFe または

N i F e C oにおける元素の相対割合を制御する。

【0064】

非磁性層813を十分薄く形成して、2つの強磁性層811及び812が磁気結合することができるようにする。2つの強磁性層の間のこの磁気結合は、多数の磁気結合機構のいずれかの磁気結合機構、または多数の磁気結合機構の組み合わせとすることができる。このような磁気結合機構の一つの例が、核磁気モーメントを利用する、または伝導電子の相互作用により金属中に局在化したd殻電子のスピンを利用するRKKY（R u d e r m a n - K i t t e l - K a s u y a - Y o s h i d a）的層間結合による強磁性結合である。別の例が、非磁性スペーサ層の界面粗さによって生じる「オレンジピール効果（o r a n g e p e e l）」といわれる静磁氣的結合である。第3の例が、非磁性スペーサ層813内に形成されるピンホールのような空間的な不連続による磁気結合である。非磁性スペーサ層813の材料は、Ru, Re, Cu, Taの内のいずれかとする、またはこれらの材料の内のいずれかを含む非磁性合金とすることができる。非磁性層の膜厚はゼロ～数十オングストロームの範囲である。特定の例として、4オングストローム～数10オングストロームの薄い非磁性層を使用することができる。

10

【0065】

磁性バイアス層201は、PtMnのような単一のAFM層により形成することができる、かつ強いピンニング磁界に関連する臨界膜厚よりも薄い膜厚を有することができる。別の構成として、磁性バイアス層201は、非磁性層を間に挿入した構成の多層構造を有することができる。上に説明したように、磁性バイアス層201によって、隣接する強磁性自由層積層構造810の面内異方性、または保磁力を大きくすることができ、更に弱いピンニング磁界を、隣接する強磁性自由層積層構造810に供給することができる。磁性バイアス層201の磁化配向は、隣接する強磁性自由層積層構造810内の弱いピンニング磁界が、トンネルバリア層130の下方のピンド層111の固定磁化方向とは異なる方向に向くように設定することができる。

20

【0066】

図9は、磁化が弱く固定された強磁性自由層積層構造810とピンド層111との間の磁化方向のずれを示している。強磁性自由層積層構造810の磁化方向が、ピンド層111の磁化方向から角度 θ だけ異なるように設定される場合、スピントランスファートルクによる書き込み電流により生成される開始トルク値は大きく、かつ角度がランダムな熱擾乱によって生じる変動及び分布を示す場合よりも変動がずっと小さくなる。このようなずれが発生する構造では、STTによる平均書き込み電流が小さくなり、かつ高い書き込み速度（例えば、約nsの書き込み時間を要する）での当該書き込み電流の分布を最小化することができる。種々の実施形態においては、ずれ角度 θ はゼロ～180度の間、例えばゼロ～135度の間の値に設定することができる。このずれ角度は、例えばMTJ膜（または、パターンニング済みのデバイス）に2回目のアニールを、ピンド層（PL）の設定（PL/PtMn）に用いる1回目のアニールよりも低い磁界の中で、かつ低い温度で施すことにより実現することができる。

30

【0067】

本出願の明細書は多くの特定要素を含むが、これらの要素は、いずれの発明の技術範囲を制限するものとしても捉えられるべきではない、または請求内容の技術範囲を制限するものとして捉えられるべきではなく、特定の実施形態に固有の特徴についての記述と捉えられるべきである。本明細書において個別の実施形態に関して記載される所定の特徴は、組み合わせることにより単一の実施形態として実現することもできる。逆に、単一の実施形態に関して記載される種々の特徴は、複数の実施形態において個別に、またはいずれかの適切な部分的な組み合わせとして実現することもできる。更に、種々の特徴を、所定の複数の組み合わせで作用するものとして上に記述することができ、かつそのようなものとして初めて請求することもできるが、請求する一つの組み合わせに含まれる一つ以上の特徴は或る場合においては、当該組み合わせから削除することができ、そして請求する当該組み合わせを部分的な一つの組み合わせとする、または部分的な一つの組み合わせの変形

40

50

とすることができる。

【0068】

幾つかの例についてのみ記述している。この技術分野の当業者であれば、変更、変形、及び機能向上を記載の例に加え得ることが容易に理解できるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1A】図Aは、磁性バイアス層を持たない従来のMTJセル構造の一つの例を示す。

【図1B】図1Bは、チップ上のMTJアレイ、及びCMOSベースのチップ構成による構造の一例を示し、各MTJセルは磁性バイアス層を持つMTJを使用する。

【図1C】図1Cは、チップ上のMTJアレイ、及びCMOSベースのチップ構成による構造の一例を示し、各MTJセルは磁性バイアス層を持つMTJを使用する。

10

【図2】結合している自由層の保磁力を大きくする磁性バイアス層を有するMTJの一例を示す。

【図3A】図3Aは、図2のMTJ構造を利用する例示としての磁性バイアス層、及び結合している自由層の磁気特性を示す。

【図3B】図3Bは、図2のMTJ構造を利用する例示としての磁性バイアス層、及び結合している自由層の磁気特性を示す。

【図4】磁性バイアス層を使用するMTJの2つの例を示す。

【図5】磁性バイアス層を使用するMTJの2つの例を示す。

【図6A】図6Aは、自由層の寸法を小さくし、かつスピントランスファートルクによる書き込み電流を小さくする、図2のセル構造の2つの別の実施形態を示す。

20

【図6B】図6Bは、自由層の寸法を小さくし、かつスピントランスファートルクによる書き込み電流を小さくする、図2のセル構造の2つの別の実施形態を示す。

【図7A】図7Aは、自由層の寸法を小さくし、かつスピントランスファートルクによる書き込み電流を小さくする、図5のセル構造の2つの別の実施形態を示す。

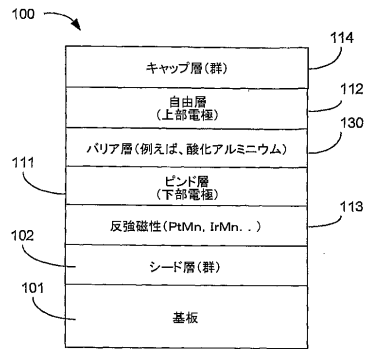
【図7B】図7Bは、自由層の寸法を小さくし、かつスピントランスファートルクによる書き込み電流を小さくする、図5のセル構造の2つの別の実施形態を示す。

【図8】MTJ構造の一例を示し、この場合、自由層は、第1及び第2強磁性層と、そして2つの強磁性層の間の非磁性スペーサ層と、を有する多層サンドイッチ構造である。

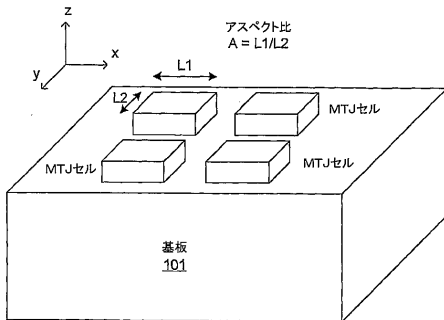
【図9】図8のMTJ構造の一の実施形態における、磁化固定が弱い強磁性自由層とピン層との間の磁化方向のずれを示している。

30

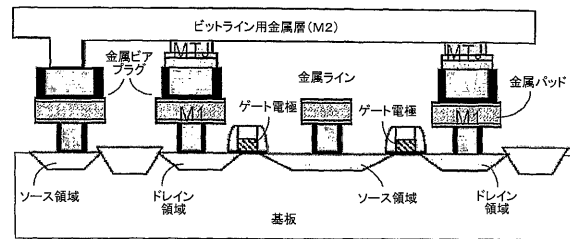
【図 1 A】



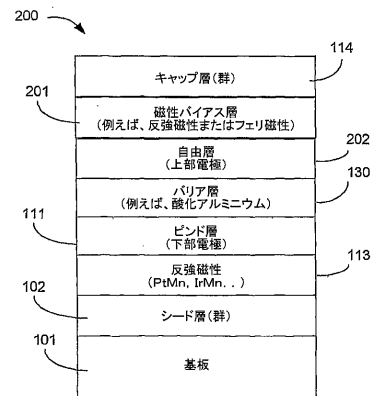
【図 1 B】



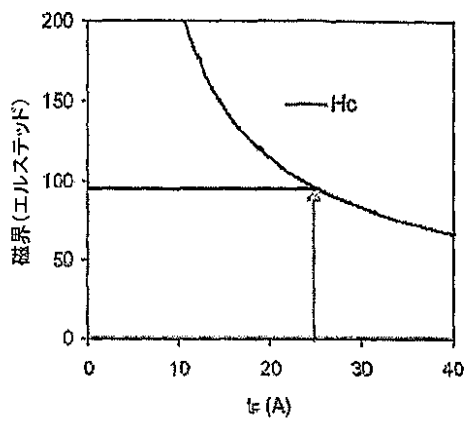
【図 1 C】



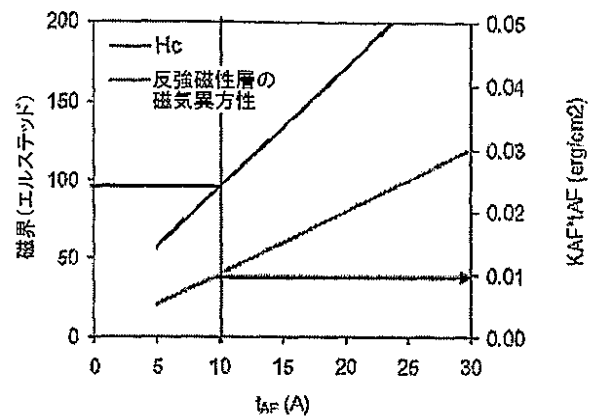
【図 2】



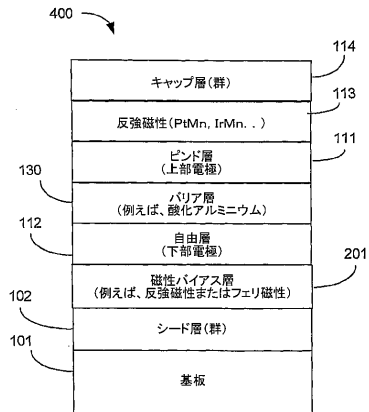
【図 3 A】



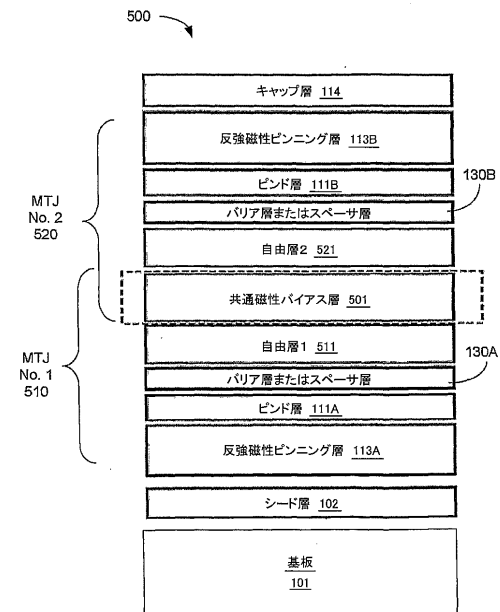
【図 3 B】



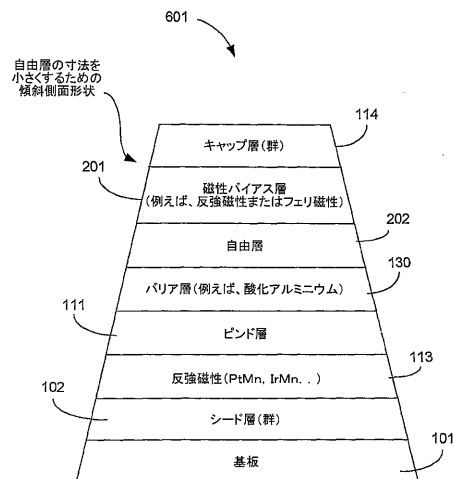
【図 4】



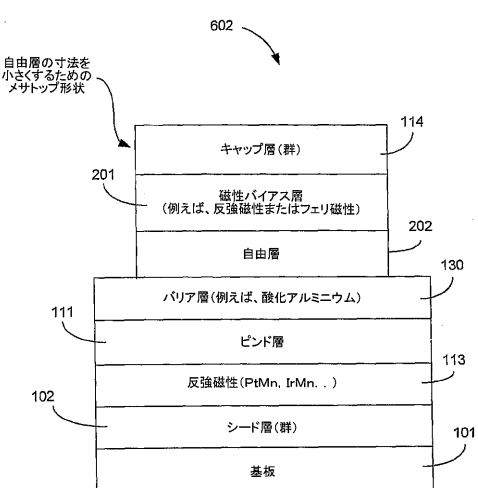
【図 5】



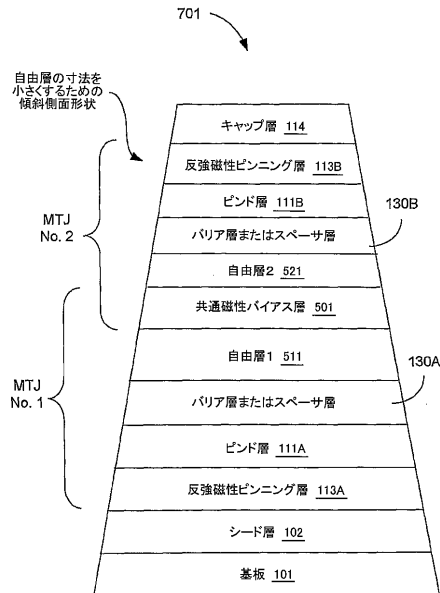
【図 6 A】



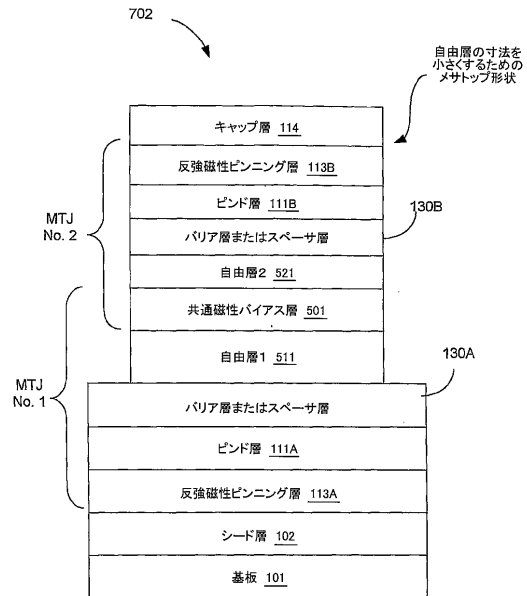
【図 6 B】



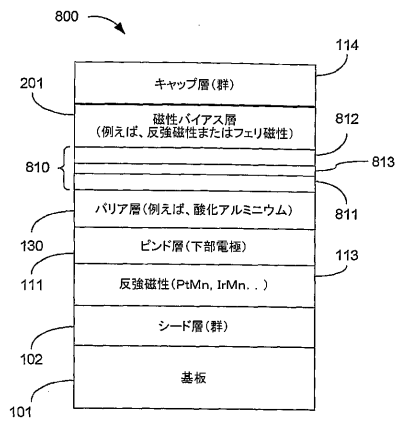
【図 7 A】



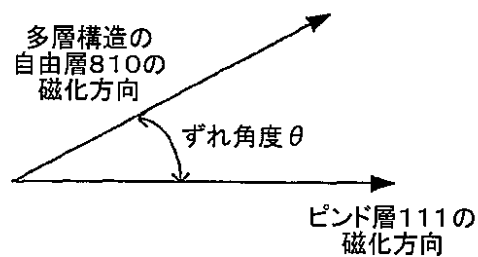
【図 7 B】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ファイ, イミン
アメリカ合衆国 94588 カリフォルニア州, プレザントン, ブレッシング ドライブ 9473

(72)発明者 ジャオ, チータオ
アメリカ合衆国 94539 カリフォルニア州, フレモント, イー36, スティーブンソン ブールバード 3400

(72)発明者 チェン, ユージン, ユージュン
アメリカ合衆国 94539 カリフォルニア州, フレモント, オリンパス アヴェニュー 41712

Fターム(参考) 4M119 AA17 BB01 CC05 DD02 DD05 DD06 DD09 DD10 DD33 DD45
EE22 EE27
5E049 BA25 CB01
5F092 AA15 AB08 AC08 AC12 AD25 BB17 BB22 BB23 BB31 BB33
BB34 BB35 BB36 BB42 BB43 BB66 BB67 BB68 BB71 BC03
BC04 BC07 BC08 BC13 BC43 BC46 BE06 BE25 BE27