

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6438532号
(P6438532)

(45) 発行日 平成30年12月12日 (2018. 12. 12)

(24) 登録日 平成30年11月22日 (2018. 11. 22)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 29/82 (2006. 01)	HO 1 L 29/82 Z
HO 1 L 43/08 (2006. 01)	HO 1 L 43/08 Z
HO 1 L 21/8239 (2006. 01)	HO 1 L 27/105 4 4 7
HO 1 L 27/105 (2006. 01)	

請求項の数 44 (全 44 頁)

(21) 出願番号	特願2017-119625 (P2017-119625)	(73) 特許権者	510273880
(22) 出願日	平成29年6月19日 (2017. 6. 19)		コリア ユニバーシティ リサーチ アン
(65) 公開番号	特開2018-110207 (P2018-110207A)		ド ビジネス ファウンデーション
(43) 公開日	平成30年7月12日 (2018. 7. 12)		KOREA UNIVERSITY RE
審査請求日	平成29年6月19日 (2017. 6. 19)		SEARCH AND BUSINESS
(31) 優先権主張番号	10-2017-0000532		FOUNDATION
(32) 優先日	平成29年1月3日 (2017. 1. 3)		大韓民国、02841 ソウル、ソンプク
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		ーグ、アナムーロ 145
		(74) 代理人	100114775
			弁理士 高岡 亮一
		(74) 代理人	100121511
			弁理士 小田 直
		(74) 代理人	100202751
			弁理士 岩堀 明代
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 スピンフィルタ構造体を含む磁気トンネル接合素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1方向に電流が注入され、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層と、及び

固定された磁化方向性を有し、前記導電層の前記第1方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピンフィルタ構造体と、を含むことを特徴とする磁気素子。

【請求項 2】

前記スピンフィルタ構造体のスピン分極SP (spin polarization) が 0 より大きく 1 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気素子。 10

【請求項 3】

前記スピンフィルタ構造体は、半金属強磁性体であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気素子。

【請求項 4】

前記半金属強磁性体は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4)、及びランタン・ストロンチウム・マンガナイト LSMO (lanthanum strontium manganite) のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 3 に記載の磁気素子。

【請求項 5】

前記スピニフィルタ構造体は、強磁性体を含み、
前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、前記強磁性層の磁化方向と平行又は反平行し、
前記強磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされることを特徴とする請求項1に記載の磁気素子。

【請求項6】

前記スピニフィルタ構造体が前記導電層の両側面に配置された場合、前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、両側で互いに反平行することを特徴とする請求項1に記載の磁気素子。

【請求項7】

前記導電層のスピニフリップ拡散の長さは、3ないし4 nmであることを特徴とする請求項1に記載の磁気素子。

【請求項8】

前記導電層と前記強磁性層は、互いに整列されることを特徴とする請求項1に記載の磁気素子。

【請求項9】

固定磁性層、自由磁性層、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層を備える磁気トンネル接合と、
面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピニホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターンと、及び
面内電流が印加される方向で、前記導電パターンの両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピニフィルタ構造体と、を含み、
前記スピニフィルタ構造体は、注入された電流をフィルタリングしてスピニの量と方向を制御して前記導電パターンに提供することを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項10】

前記スピニフィルタ構造体のスピニ分極SP (spin polarization) が0より大きく1以下であることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項11】

前記スピニフィルタ構造体は、半金属強磁性体であることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項12】

前記半金属強磁性体は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4)、及びランタン・ストロンチウム・マンガナイト LSMO (lanthanum strontium manganite) のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項11に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項13】

前記スピニフィルタ構造体は、強磁性体を含み、
前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、前記自由磁性層の磁化方向と平行又は反平行することを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項14】

前記スピニフィルタ構造体が前記導電パターンの両側面に配置された場合、前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、両側で互いに反平行することを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項15】

前記導電パターンと前記自由磁性層は、互いに整列されることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項16】

前記自由磁性層は、垂直磁気異方性PMA (perpendicular magnetic anisotropy) を有することを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

10

20

30

40

50

【請求項 17】

前記導電パターンは、スピントリプル拡散の長さは、3ないし4 nmであることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 18】

前記固定磁性層は、順に積層された第1固定磁性層、固定磁性層用非磁性層、及び第2固定磁性層からなる反磁性体 (synthetic antiferromagnet) 構造として、

前記第1固定磁性層及び第2固定磁性層は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含み、

前記固定磁性層用非磁性層は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

10

【請求項 19】

前記固定磁性層は、順に積層された反強磁性層、第1固定磁性層、固定磁性層用非磁性層、及び第2固定磁性層からなる交換バイアスされた反磁性体構造として、

前記反強磁性層は、Pt、Ir、Fe、Mn及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなり、

前記第1固定磁性層及び第2固定磁性層は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなり、

前記固定磁性層用非磁性層は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

20

【請求項 20】

前記トンネル障壁層は、AlO_x、MgO、TaO_x、ZrO_x及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 21】

前記導電パターンは、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントリプル結合に起因するスピントリプルトルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、

前記導電パターンは、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質からなることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

30

【請求項 22】

前記自由磁性層は、少なくとも一つの磁区構造を含むことを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 23】

前記面内電流を印加する導電パターンは、順に積層された反強磁性層及び強磁性層を含み、

前記反強磁性層は、前記自由磁性層に隣接して配置され、

前記強磁性層は、面内磁化方向を有し、

40

前記導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供し、

前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 24】

前記固定磁性層に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層及び面内磁化方向を有した双極子フィールド強磁性層をさらに含み、

前記双極子フィールド非磁性層は、前記固定磁性層に隣接して配置され、

前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 25】

50

前記導電パターンと前記自由磁性層との間に配置された補助絶縁層をさらに含むことを特徴とする請求項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 26】

前記導電パターンは、順に積層された導線非磁性層及び導線強磁性層を含み、
前記導線強磁性層は、面内磁化方向成分を含むことを特徴とする請求項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 27】

前記導電パターンは、順に積層された導線強磁性層及び導線非磁性層を含み、
前記導電強磁性層と前記自由磁性層との間に配置された非磁性層を含むことを特徴とする
請求項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

10

【請求項 28】

マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合と、
前記磁気トンネル接合の自由磁性層に隣接して配置された第 1 導電パターンと、及び
前記第 1 導電パターンの両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造
体と、を含み、
前記磁気トンネル接合は、固定磁性層、自由磁性層、及び前記固定磁性層と前記自由磁性
層との間に介在されたトンネル障壁層を備える、
前記第 1 導電パターンは、前記自由磁性層と前記第 1 導電パターンとの間のスピン軌道結
合力に起因するスピン軌道トルクを提供し、
前記スピンフィルタ構造体は、スピン分極電流を前記導電パターンに提供することを特徴
とする磁気メモリ素子。

20

【請求項 29】

前記第 1 導電パターンは、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd
、Re、Os、Hf、Mo、Ru 及びこれらの混合物のうち選択される物質からなること
を特徴とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

【請求項 30】

前記第 1 導電パターンは、面内電流を印加し、反強磁性層を含み、
前記第 1 導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供することを特徴
とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

【請求項 31】

前記自由磁性層は、少なくとも一つの磁区構造を含むことを特徴とする請求項 28 に記載
の磁気メモリ素子。

30

【請求項 32】

前記第 1 導電パターンは、面内電流を印加し、順に積層された反強磁性層及び強磁性層を
含み、
前記反強磁性層は、前記自由磁性層に隣接して配置され、
前記強磁性層は、面内磁化方向を有し、
前記第 1 導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供し、
前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされることを特徴とする請求項 28
に記載の磁気メモリ素子。

40

【請求項 33】

前記固定磁性層に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層及び面内磁化方向を
有した双極子フィールド強磁性層をさらに含み、
前記双極子フィールド非磁性層は、前記固定磁性層に隣接して配置されることを特徴とす
る請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

【請求項 34】

前記第 1 導電パターンと前記自由磁性層との間に配置された補助絶縁層をさらに含むこと
を特徴とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

【請求項 35】

前記第 1 導電パターンは、順に積層された第 1 導電パターン非磁性層及び第 1 導電パター

50

ン磁性層を含み、

前記第1導電パターン磁性層は、面内磁化方向成分を含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項36】

前記第1導電パターンは、順に積層された第1導電パターン磁性層及び第1導電パターン非磁性層を含み、

前記第1導電パターン磁性層と前記自由磁性層との間に配置された非磁性層をさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項37】

前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に並んで進行し、

第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、

前記第1方向に垂直な第2方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層に電氣的に連結され、前記基板平面で前記第2方向に延長される第2導電パターンをさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項38】

前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、

前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、

前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層に電氣的に連結され、

前記基板平面で前記1方向に延長される第2導電パターンと、

前記第1方向に配列された前記第1導電パターンのそれぞれの一端に連結され、前記第1

方向に延長される第3導電パターンと、及び
第2方向に配列された第1導電パターンのそれぞれの他端に連結され、前記第2方向に延長される第4導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項39】

前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に延長され、

前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、

前記磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結された選択トランジスタと、前記第1方向に配列された選択トランジスタそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結

され、前記基板平面で前記1方向に延長される第2導電パターンと、及び

前記第1方向に垂直な第2方向に配列された前記選択トランジスタそれぞれのゲートに連結された第3導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項40】

前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に延長され、

前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、

前記磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結された選択トランジスタと、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結され、前記基板平面で前記2方向に延長される第2導電パターンと、及び

前記第1方向に配列された前記選択トランジスタそれぞれのゲートに連結された第3導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【請求項41】

前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、

前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、

10

20

30

40

50

前記第 1 方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結され、第 1 方向に延長される第 2 導電パターンと、
前記第 1 方向に配列された第 1 導電パターンのそれぞれの一端に連結され、第 1 方向に延長される第 3 導電パターンと、
前記第 1 導電パターンそれぞれの他端に連結される選択トランジスタと、
前記第 1 方向に配列された選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第 1 方向に延長される第 4 導電パターンと、及び
前記第 1 方向に垂直な第 2 方向に配列された選択トランジスタのゲートに連結され、前記第 2 方向に延長される第 5 導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

10

【請求項 4 2】

前記第 1 導電パターンは、基板平面で第 1 方向に周期的に配置され、
前記第 1 方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第 1 導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、
前記磁気トンネル接合の固定磁性層にそれぞれ連結される選択トランジスタと、
前記第 1 方向に配列された選択トランジスタのソース／ドレインにそれぞれ連結され、前記第 1 方向に延長される第 2 導電パターンと、
前記第 1 方向に垂直な第 2 方向に配列された選択トランジスタのゲートに連結され、前記第 2 方向に延長される第 3 導電パターンと、
前記第 1 方向に配列された第 1 導電パターンそれぞれの一端に連結され、前記第 1 方向に延長される第 4 導電パターンと、及び
前記第 1 方向に配列された第 1 導電パターンの他端に連結され、前記第 1 方向に延長される第 5 導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

20

【請求項 4 3】

前記第 1 導電パターンは、基板平面で第 1 方向に周期的に配置され、
前記第 1 方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第 1 導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、
前記第 1 方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結され、
前記第 1 方向に延長される第 2 導電パターンと、
前記第 1 導電パターンの一端にそれぞれ連結された第 1 選択トランジスタと、
前記第 1 導電パターンの他端にそれぞれ連結された第 2 選択トランジスタと、
前記第 1 方向に配列された前記第 1 選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第 1 方向に延長される第 3 導電パターンと、
前記第 1 方向に配列された前記第 2 選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第 1 方向に延長される第 4 導電パターンと、及び
前記第 1 方向に垂直な第 2 方向に配列された第 1 選択トランジスタのゲートと第 2 選択トランジスタのゲートを互いに連結して、前記第 2 方向に延長される第 5 導電パターンと、
をさらに含むことを特徴とする請求項 28 に記載の磁気メモリ素子。

30

【請求項 4 4】

前記第 1 導電パターンは、基板平面で第 1 方向に周期的に配置され、
前記第 1 方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第 1 導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、
前記磁気トンネル接合の固定磁性層にそれぞれ連結される第 1 選択トランジスタと、
前記第 1 導電パターンの一端にそれぞれ連結される第 2 選択トランジスタと、
前記第 1 方向に配列された第 1 選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第 1 方向に延長される第 2 導電パターンと、
前記第 1 方向に配列された第 1 導電パターンの他端をそれぞれ連結し、前記第 1 方向に延長される第 3 導電パターンと、
前記第 1 方向に配列された第 2 選択トランジスタのソース／ドレインをそれぞれ連結し、

40

50

前記第1方向に延長される第4導電パターンと、
前記第1方向に垂直な第2方向に配列された第1選択トランジスタのゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される第5導電パターンと、及び
前記第2方向に配列された第2選択トランジスタのゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される第6導電パターンと、をさらに含むことを特徴とする請求項28に記載の磁気メモリ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気トンネル接合素子に関するものとして、より詳細には、スピン軌道トルクを誘発する磁気トンネル接合 (magnetic tunnel junction) 素子に関する。

10

【背景技術】

【0002】

強磁性体は、外部で強い磁場を印加しなくても、自発的に磁化が形成されている物質をいう。2つの強磁性体の間に絶縁体を挿入した磁気トンネル接合構造 (第1磁性体／絶縁体／第2磁性体) で2つの磁性体の相対的な磁化方向によって電気抵抗が変わるトンネル磁気抵抗効果が発生する。磁気トンネル接合構造でアップスピンとダウンスピンの電子が絶縁体をトンネリングして流れる程度が異なるため、トンネル磁気抵抗 (tunneling magnetoresistance、TMR) 効果が発生する。

20

【0003】

一方、ニュートンの第3法則である作用・反作用の法則によって、相対的磁化方向が電流の流れを制御できれば、その反作用で電流を印加して2つの磁性体の相対的磁化方向を制御することも可能である。磁気トンネル接合構造に膜面の垂直方向に電流を印加すれば、第1磁性体 (磁化固定磁性層、以下、固定磁性層) によってスピン分極された電流が第2磁性体 (磁化自由磁性層、以下、自由磁性層) を通過すると同時に、自身のスピン角運動量を伝達することになる。このようなスピン角運動量の伝達によって磁化が感じるトルクをスピン伝達トルクSTT (spin-transfer torque) という。スピン伝達トルクを用いて自由磁性層の磁化を反転又は持続的に回転させる素子、或いは自由磁性層の磁区壁を移動させる素子の製作が可能である。

30

【0004】

また、磁気トンネル接合は、自由磁性層に隣接した導線内に流れる面内電流が流れるとき、スピンホール効果 (spin Hall effect) やラシュバ効果 (Rashba effect) によって発生したスピン軌道トルクSOT (spin-orbit torque) を用いて、自由磁性層の磁化反転又は磁区構造の移動を誘導することができる。

【0005】

スピン軌道トルクを用いた磁化反転素子は、US 8416618 B2に開示されている。

【0006】

40

モバイルとモノのインターネット (IoT) 電子装置の活用が増加するにつれて、低電力、低面積、超高速、不揮発性メモリが注目されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明が解決しようとする課題は、自由磁性層に接触して面内電流を提供する導電層にスピンフィルタSF (spin-filter) 構造体を通じてスピン分極 (spin polarization) 電流を提供し、導電層と自由磁性層との間の界面にスピン蓄積 (spin accumulation) を追加的に提供し、一方、スピンフィルタ構造体の磁化方向を面垂直方向で設定する時、外部磁場の印加が不要な無磁場 (field-free)

50

free) スイッチングが可能な磁気素子を提供することにある。

【0008】

本発明が解決しようとする課題は、自由磁性層に接触して面内電流を提供する導電層にスピニフィルタ構造体を通じたスピン分極電流を提供して導電層／自由磁性層界面にスピニホール効果によるスピン蓄積が増加して自由磁性層のスイッチングがより容易な磁気素子を提供することにある。

【0009】

本発明が解決しようとする課題は、自由磁性層に接触して面内電流を提供する導電層にスピニフィルタ構造体を通じたスピン分極電流を提供して導電層と自由磁性層との間の界面にスピニホール効果によるスピン蓄積と面内方向を有したスピン蓄積を提供する磁気素子を提供することにある。

10

【0010】

本発明が解決しようとする課題は、自由磁性層に接触して面内電流を提供する導電層にスピン分極電流を提供して導電層と自由磁性層との間の界面にスピン蓄積を提供する磁気素子を提供することにある。

【0011】

本発明が解決しようとする課題は、スピン分離効率を高めて、スピン軌道トルク SOT (spin-orbit torque) の効果を増強する素子構造を提供することにある。

【0012】

本発明が解決しようとする他の課題は、磁気メモリの構造を改善することにある。

20

【0013】

本発明が解決しようとする課題は、上述した課題に制限されず、言及されていないまた他の課題は、以下の記載から当業者に明確に理解される。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一実施例による磁気素子は、第1方向に電流が注入され、スピニホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層の前記第1方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピニフィルタ構造体と、を含む。

30

【0015】

本発明の一実施例において、前記スピニフィルタ構造体のスピン分極 SP (spin polarization) が0より大きく1以下である。スピン分極は、(アップスピン-ダウンスピン) / (アップスピン+ダウンスピン) と定義される。

【0016】

本発明の一実施例において、前記スピニフィルタ構造体は、半金属強磁性体である。

【0017】

本発明の一実施例において、前記半金属強磁性体は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4)、及びランタン・ストロンチウム・マンガナイト LSMO (lanthanum strontium manganite) のうち少なくとも一つを含む。

40

【0018】

本発明の一実施例において、前記スピニフィルタ構造体は、強磁性体を含み、前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、前記強磁性層の磁化方向と平行又は反平行し、前記強磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

本発明の一実施例において、前記スピニフィルタ構造体が前記導電層の両側面に配置された場合、前記スピニフィルタ構造体の磁化方向は、両側で互いに反平行する。

【0019】

本発明の一実施例において、前記導電層と前記強磁性層は、互いに整列される。

50

【0020】

本発明の一実施例において、前記自由磁性層は、垂直磁気異方性PMA (perpendicular magnetic anisotropy) を有する。

【0021】

本発明の一実施例において、前記導電層のスピンフリップ拡散の長さは、3ないし4nmである。

【0022】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合素子は、固定磁性層、自由磁性層、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層を備える磁気トンネル接合と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターンと、及び、面内電流が印加される方向で、前記導電パターンの両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体と、を含む。前記スピンフィルタ構造体は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターンに提供する。

10

【0023】

本発明の一実施例において、前記固定磁性層は、順に積層された第1固定磁性層、固定磁性層用非磁性層、及び第2固定磁性層からなる反磁性体 (synthetic antiferromagnet) 構造である。前記第1固定磁性層及び第2固定磁性層は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含み、前記固定磁性層用非磁性層は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。

20

【0024】

本発明の一実施例において、前記固定磁性層は、順に積層された反強磁性層、第1固定磁性層、非磁性層、及び第2固定磁性層からなる交換バイアスされた反磁性体構造である。前記反強磁性層は、Ir、Pt、Mn、及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなり、前記第1固定磁性層及び第2固定磁性層は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなり、前記非磁性層は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなる。

30

【0025】

本発明の一実施例において、前記トンネル障壁層は、AlO_x、MgO、TaO_x、ZrO_x及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。

【0026】

本発明の一実施例において、前記導電パターンは、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピン軌道結合力に起因するスピン軌道トルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記導電パターンは、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質からなる。

40

【0027】

本発明の一実施例において、前記自由磁性層は、少なくとも一つの磁区構造を含む。

【0028】

本発明の一実施例において、前記面内電流を印加する導電パターンは、順に積層された反強磁性層及び強磁性層を含み、前記反強磁性層は、前記自由磁性層に隣接して配置され、前記強磁性層は、面内磁化方向を有し、前記導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供し、前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

【0029】

本発明の一実施例において、前記固定磁性層磁性体に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層及び面内磁化方向を有した双極子フィールド強磁性層をさらに含み、前記双極子フィールド非磁性層は、前記固定磁性層磁性体に隣接して配置される。前記自由磁

50

性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

【0030】

本発明の一実施例において、前記導電パターンと前記自由磁性層との間に配置された補助絶縁層をさらに含む。

【0031】

本発明の一実施例において、前記導電パターンは、順に積層された導線非磁性層及び導線強磁性層を含み、前記導線強磁性層は、面内磁化方向成分を含む。

【0032】

本発明の一実施例において、前記導電パターンは、順に積層された導線強磁性層及び導線非磁性層を含み、前記導電強磁性層と前記自由磁性層との間に配置された非磁性層を含む。

10

【0033】

本発明の一実施例による磁気メモリ素子は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合と、前記磁気トンネル接合の自由磁性層に隣接して配置された第1導電パターンと、及び、前記第1導電パターンの両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体と、を含む。前記導電パターンは、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピン軌道結合力に起因するスピン軌道トルクを提供し、前記スピンフィルタ構造体は、スピン分極電流を前記導電パターンに提供する。

【0034】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質からなる。

20

【0035】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、面内電流を印加し、反強磁性層を含み、前記第1導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供する。

【0036】

本発明の一実施例において、前記自由磁性層は、少なくとも一つの磁区構造を含む。

【0037】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、面内電流を印加し、順に積層された反強磁性層及び強磁性層を含む。前記反強磁性層は、前記自由磁性層に隣接して配置され、前記強磁性層は、面内磁化方向を有し、前記第1導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供し、前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

30

【0038】

本発明の一実施例において、前記固定磁性層に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層及び面内磁化方向を有した双極子フィールド強磁性層をさらに含み、前記非磁性層は、前記固定磁性層に隣接して配置される。

【0039】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンと前記自由磁性層との間に配置された補助絶縁層をさらに含む。

40

【0040】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、順に積層された第1導電パターン非磁性層及び第1導電パターン磁性層を含み、前記第1導電パターン磁性層は、面内磁化方向成分を含む。

【0041】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、順に積層された第1導電パターン磁性層及び第1導電パターン非磁性層を含み、前記第1導電パターン磁性層と前記自由磁性層との間に配置された非磁性層をさらに含む。

【0042】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に並んで進行

50

し、第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層に電氣的に連結され、前記基板平面で前記第2方向に延長される第2導電パターンをさらに含む。

【0043】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層に電氣的に連結され、前記基板平面で前記1方向に延長される第2導電パターンと、前記第1方向に配列された前記第1導電パターンのそれぞれの一端に連結され、前記第1方向に延長される第3導電パターンと、及び、前記第2方向に配列された第1導電パターンのそれぞれの他端に連結され、前記第2方向に延長される第4導電パターンと、をさらに含む。

10

【0044】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に延長され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、前記磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結された選択トランジスタと、前記第1方向に配列された選択トランジスタそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結され、前記基板平面で前記1方向に延長される第2導電パターンと、及び、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された前記選択トランジスタそれぞれのゲートに連結された第3導電パターンと、をさらに含む。

20

【0045】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に延長され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンに隣接して周期的に配置され、前記磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結された選択トランジスタと、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結され、前記基板平面で前記2方向に延長される第2導電パターンと、及び、前記第1方向に配列された前記選択トランジスタそれぞれのゲートに連結された第3導電パターンと、をさらに含む。

【0046】

30

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結され、第1方向に延長される第2導電パターンと、前記第1方向に配列された第1導電パターンのそれぞれの一端に連結され、第1方向に延長される第3導電パターンと、前記第1導電パターンそれぞれの他端に連結される選択トランジスタと、前記第1方向に配列された選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される第4導電パターンと、及び、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタのゲートに連結され、前記第2方向に延長される第5導電パターンと、をさらに含む。

40

【0047】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、前記磁気トンネル接合の固定磁性層にそれぞれ連結される選択トランジスタと、前記第1方向に配列された選択トランジスタのソース／ドレインにそれぞれ連結され、前記第1方向に延長される第2導電パターンと、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタのゲートに連結され、前記第2方向に延長される第3導電パターンと、前記第1方向に配列された第1導電パターンそれぞれの一端に連結され、前記第1方向に延長される第4導電パターンと、及び、前記第1方向に配列された第1導電パターンの他端に連結され、前記第1方向に延長され

50

る第5導電パターンと、をさらに含む。

【0048】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層それぞれに電氣的に連結され、前記第1方向に垂直な第2方向に延長される第2導電パターンと、前記第1導電パターンの一端にそれぞれ連結された第1選択トランジスタと、前記第1導電パターンの他端にそれぞれ連結された第2選択トランジスタと、前記第1方向に配列された前記第1選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される第3導電パターンと、前記第1方向に配列された前記第2選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される第4導電パターンと、及び、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された第1選択トランジスタのゲートと第2選択トランジスタのゲートを互いに連結して、前記第2方向に延長される第5導電パターンと、をさらに含む。

10

【0049】

本発明の一実施例において、前記第1導電パターンは、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置され、前記磁気トンネル接合の固定磁性層にそれぞれ連結される第1選択トランジスタと、前記第1導電パターンの一端にそれぞれ連結される第2選択トランジスタと、前記第1方向に配列された第1選択トランジスタのソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される第2導電パターンと、前記第1方向に配列された第1導電パターンの他端をそれぞれ連結し、前記第1方向に延長される第3導電パターンと、前記第1方向に配列された第2選択トランジスタのソース／ドレインをそれぞれ連結し、前記第1方向に延長される第4導電パターンと、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された第1選択トランジスタのゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される第5導電パターンと、及び、前記第2方向に配列された第2選択トランジスタのゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される第6導電パターンと、をさらに含む。

20

【発明の効果】

【0050】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合素子は、既存SOT接合構造で導線の側のスピン分極SP (spin polarization) が0より大きく1以下である磁性層で構成されたスピニフィルタSF (spin-filter) 構造を付け加えて注入した電流に応じて発生するスピンの量と方向を制御してスピン蓄積を増加させるか、又はスピン軌道トルク効率を向上させることができる。これによって、注入電流が減少して消費電力を減少させることができる。また、スピニフィルタSF (spin-filter) の磁化方向と自由磁性層の磁化方向が平行又は反平行する場合、外部磁場の印加が不要な無磁場 (field-free) スイッチングが可能である。

30

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】従来のスピン軌道トルクを用いた磁気素子を示す斜視図である。

【図2】本発明の一実施例によるスピニフィルタ構造体を備えた磁気素子を示す概念図である。

40

【図3】図2の磁気素子で位置によるスピン蓄積 (spin accumulation) を示す。

【図4】4つのパラメータ θ_{SH} 、 t_N 、

【数 1】

$$l_{sf}^N$$

、そして ω によるダンピングライク・スピン・トルク T_D (damping-like spin torque) の依存性を示す。

【図 5】 4つのパラメータ θ_{SH} 、 t_N 、

【数 2】

$$l_{sf}^N$$

10

、そして ω によるフィールドライク・スピン・トルク T_F (field-like spin torque) の依存性を示す。

【図 6】 本発明の他の実施例によるスピンフィルタ構造体を備えた磁気素子を示す概念図である。

【図 7】 本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

【図 8】 本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

【図 9】 本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

20

【図 10】 本発明のまた他の実施例によるスピンフィルタ構造体と強磁性体の磁化方向によるスピン蓄積を示す図面である。

【図 11】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル素子を示す図面である。

【図 12】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル素子を示す図面である。

【図 13】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 14】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 15】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 16】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 17】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 18】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

30

【図 19】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 20】 本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。

【図 21】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 22】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 23】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 24】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 25】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 26】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 27】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

【図 28】 本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

40

【発明を実施するための形態】

【0052】

最近、強磁性体 FM (ferromagnet) と非磁性体 NM (non-magnet) からなった二重層構造で非磁性体の強いスピン軌道結合 SOC (spin-orbit coupling) によるスピンホール効果 (spin Hall effect) や強磁性体／二重層界面のラシュバ効果 (Rashba effect) によるスピン軌道トルク SOT (spin-orbit torque) から、FM の磁化方向を低いエネルギーで容易に反転 (スイッチング) させて、メモリの記録性能を著しく高める素材と素子技術が注目されている。

【0053】

50

図1は、従来のスピン軌道トルクを用いた磁気素子を示す斜視図である。

図1に示すように、x軸方向に面内電流 j_x が非磁性層10に注入された場合、非磁性層内部で発生するスピンホール効果 (spin Hall effect) によってy軸方向に分極された (polarized) スピンがz軸方向に移動するスピン電流が発生し、これによって非磁性層10/自由磁性層20界面にスピン蓄積を提供する。前記非磁性層10の上部面で蓄積されたスピンの分極方向は+y軸方向であり、前記非磁性層10の下部面で蓄積されたスピンの分極方向は-y軸方向である。非磁性層10/自由磁性層20界面にラシュバ効果 (Rashba effect) が存在するなら、これもまたx軸方向に面内電流 j_x が非磁性層10に注入された場合、前記非磁性層10の上部面に+y方向 (或いは、-y方向) に分極されたスピン蓄積を提供する。

10

【0054】

非磁性層10に流れる面内電流は、非磁性層内部のスピンホール効果 (spin Hall effect) 又は強磁性/非磁性界面のラシュバ効果 (Rashba effect) に起因したスピン蓄積を発生させ、蓄積されたスピンは、強磁性体にスピントルクを提供する。スピンホール効果やラシュバ効果は、いずれも強いスピン軌道結合から起因するため、これらから発生したスピントルクをスピン軌道トルク SOT (spin-orbit torque) という。したがって、強磁性/非磁性異種構造で面内電流を印加した時に発生するスピン軌道トルクから強磁性層の面外磁化 (out-of-plane magnetization) をスイッチングする。SOTスイッチングメカニズムは、スイッチング及び素子安定性を提供する。しかし、SOTスイッチングメカニズムは、いくつ

20

【0055】

面内電流 (in-plane current) を注入する場合、スピン軌道結合効果は、強磁性/非磁性界面にスピン蓄積を発生させ、このスピン蓄積が強磁性層にスピン軌道トルクを誘発する。したがって、スイッチング電流を減少させる適切な素子構造を提供する一方法は、強磁性/非磁性界面にスピン蓄積を増加させることである。このために、我々は強磁性スピンフィルタ構造体が非磁性層の側面に付け加えた構造を提案する。このスピンフィルタ構造体を通じて提供された電流は、非磁性/強磁性界面にスピンホール効果とは別に、スピンフィルタ構造体の磁化方向と一致するスピン蓄積を発生させる。すなわち、導線に面内電流を印加した時、スピンフィルタ構造体は、自体的に前記強磁性層にスピンフィルタ構造体の磁化方向と一致するスピン伝達トルク (spin transfer torque) を誘発する。したがって、前記スピンフィルタ構造体が付け加えた非磁性/強磁性異種構造で面内電流を印加した時に現れるスピントルクは、近似的にスピン軌道結合に起因したスピン軌道トルクとスピンフィルタ効果から発生するスピン伝達トルクのベクトルの和によって与えられる。前記スピンフィルタ構造体は、追加的にスピン蓄積を提供することによって、スピン軌道トルク又はスピン伝達トルクを印加する。これによって、臨界電流が減少して、消費電力が減少する。

30

【0056】

スピンフィルタ構造体の磁化方向を適切に調節することによって、スピンフィルタ構造体から発生するスピン蓄積は、スピンホール効果に起因したスピン蓄積と付加的に (additively) 結合する。例えば、スピンホール効果によるスピン方向がy軸方向である場合、スピンフィルタ構造体の磁化方向をy軸方向に整列すると、スピン蓄積はy軸方向に合算される。したがって、スピンフィルタ構造体からの付加的スピン蓄積は、強磁性層に作用するスピントルクを増加させる。

40

【0057】

スピンフィルタ構造体の磁化方向がz軸方向である場合、スピン分極電流はz軸方向のスピン蓄積を提供し、スピンホール効果に起因したスピン蓄積はy軸方向にスピン蓄積を提供する。ベクトルの和によって総スピントルクの大きさを増加させるのみならず、外部磁場無しに前記自由磁性層 (強磁性層) の磁化反転を誘導する。

50

【0058】

非磁性体NM (non-magnet) - 強磁性体FM (ferromagnet) 接合構造で、前記非磁性体NMに面内電流を注入すれば、前記非磁性体NMと前記強磁性体FMとの間の強いスピン軌道結合SOC (spin-orbit coupling) に起因するスピン軌道トルクを誘導し、前記強磁性体FMの磁化方向を容易にスイッチングさせる。

【0059】

既存方法の場合、前記非磁性体NMに面内電流を注入する時、スピン軌道結合力SOCの効果によってスピン分離が生じる。総スピン数の中で非磁性体層と接合されている強磁性体層には1/2のスピンが移動し、反対方向には残りの1/2のスピンが移動する。この中で前記強磁性体層に移動するスピンがスピン軌道トルクSOTを誘発して、前記強磁性体層の磁化 (magnetization、M) 方向を変える役割をする。ただ、既存の構造では前記非磁性体層に電流が注入されるため、スピン分離効率が50%を超えない。

【0060】

本発明の一実施例による磁気素子は、強磁性層と非磁性層の積層構造を有する。前記非磁性層から面内電流が流れる方向の少なくとも一側にスピントラップ構造体 (spin-filter structure) が付け加えられた (abutted)。前記スピントラップ構造体は、前記スピントラップ構造体に注入された電流を一方にスピン分極されたスピン電流に変換する。スピン分極の方向は、スピントラップ構造体の磁化方向に依存する。これによって、前記非磁性層は、前記スピントラップ構造体によって特定方向により多く分極されたスピン電流を提供される。前記スピン電流は、前記強磁性層の磁化方向に分極されたスピン電流である。つまり、前記スピントラップ構造体は、スピンの量と方向を制御して、前記強磁性層と前記非磁性層との間のスピン軌道トルクの効率を高める。スピン分極電流は、前記スピントラップ構造体から強磁性層/非磁性層界面に追加的なスピン化学ポテンシャル差を生成し、前記強磁性層にスピン伝達トルクSTT (spin transfer torque) を誘発する。

【0061】

前記スピントラップ構造体の適切な磁化方向は、磁化スイッチングのために要求される外部磁場を除去する。

【0062】

以下に、添付された図面を参照して本発明をさらに詳細に説明する。以下に、好ましい実施例を挙げて発明をより詳細に説明する。しかし、これらの実施例は、本発明をより具体的に説明するためのもので、実験条件、物質種類などによって本発明が制限又は限定されないということは、当業界の通常の知識を有する者にとって自明である。本発明は、ここで説明される実施例に限定されず、他の形で具体化される。むしろ、ここで紹介される実施例は、開示された内容が徹底的かつ完全になるように、そして当業者に本発明の思想が十分に伝えられるように提供される。図面において、構成要素は、明確性を期するために誇張される。明細書全体にわたって同一の参照番号で表示した部分は、同一の構成要素を示す。

【0063】

本発明で、我々は非磁性/強磁性異種構造にスピントラップ構造体の効果を理論的に分析した。以下、本発明の動作原理を説明する。

【0064】

図2は、本発明の一実施例によるスピントラップ構造体を備えた磁気素子を示す概念図である。

図2に示すように、磁気素子2は、第1方向 (x軸方向) に電流が注入され、スピンホール効果又はラッシュバ効果を誘発する導電層10と、前記導電層10に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層20と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層10の前記第1方向 (x軸方向) の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピントラップ構造体

11と、を含む。前記スピニフィルタ構造体11のスピニ分極SP (spin polarization) は、0より大きく1以下である。前記スピニフィルタ構造体11は、半金属強磁性体である。

【0065】

前記導電層10と前記強磁性層20は互いに積層され、前記導電層10はx軸方向（第1方向）に延長され、第1方向の幅と厚さを有する。前記導電層10と強磁性層20は、垂直（z軸）方向に整列される。前記導電層10のx方向の一端に固定された磁化方向の強磁性を有したスピニフィルタ構造体11が配置される。前記スピニフィルタ構造体11の磁化方向はy軸方向である。前記スピニフィルタ構造体11の長さはLである。前記スピニフィルタ構造体11の厚さは、前記導電層の厚さと同一である。電流はx方向に流れ、z軸は前記導電層10と前記強磁性層20の厚さ方向である。前記導電層10と強磁性層20の界面は、 $z=0$ である。前記導電層10の第1方向の幅はwであり、厚さは t_N である。前記強磁性層20の第1方向の幅はwであり、厚さは t_F である。前記導電層10は、前記スピニフィルタ構造体によって、前記スピニフィルタ構造体の磁化方向に整列されたスピニ分極電流の提供を受ける。

10

【0066】

前記導電層10は、スピニホール効果又はラシュバ効果を誘発する。前記導電層は、非磁性金属又は反磁性物質を含む。前記非磁性物質は、スピニホール効果を誘発し、タングステンW、タンタルTa、又は白金Ptである。前記反磁性物質は、スピニホール効果を誘発し、PtMn、IrMn又はFeMnである。

20

【0067】

例えば、y軸方向のスピニ分極電流は、前記導電層の不純物の散乱によってスピニホール効果を発生させてy軸に整列された電子を上部面に提供し、-y軸に整列された電子を下部に提供する。前記導電層の上部面に配置されたスピニ蓄積は、スピニ軌道トルクを誘発して前記強磁性層の磁化方向を反転させる。

【0068】

補助導電層は、前記スピニフィルタ構造体に連結されて前記スピニフィルタ構造体に電流を提供する。前記補助導電層は、前記導電層より高い電気伝導度を有した物質である。

【0069】

前記強磁性層20は、スイッチングされる磁化方向性を有した強磁性体を含む。前記強磁性層20は、Fe、Co、Ni、Gdのうち少なくとも一つを含む。前記強磁性層は、これらの組み合わせで構成された多層薄膜である。前記強磁性層20は、CoFeBを含む。前記強磁性層は垂直磁気異方性を有し、面外方向に磁化される。

30

【0070】

前記スピニフィルタ構造体は、半金属強磁性体である。前記半金属強磁性体は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4)、及びランタン・ストロンチウム・マンガナイトLSMO (lanthanum strontium manganite) のうち少なくとも一つを含む。前記スピニフィルタ構造体は、スピニ分極SP=1である半金属 (half-metal) である。半金属のエネルギー準位で、多数バンド (majority band) と少数バンド (minority band) が分離されるうち、一つのスピニ状態を有する場合、電子の流れが円滑な導体である。しかし、反対方向のスピニ状態を有する場合、不導体又は半導体の特性を有する。

40

【0071】

半金属強磁性体の例は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4) 及び合金、ランタン・ストロンチウム・マンガナイトLSMO及び合金などの物質がある。ホイスラ (Heusler) 合金は、次の通りである。

Cu_2MnAl 、 Cu_2MnIn 、 Cu_2MnSn 、
 Ni_2MnAl 、 Ni_2MnIn 、 Ni_2MnSn 、 Ni_2MnSb 、 Ni_2MnGa
 Co_2MnAl 、 Co_2MnSi 、 Co_2MnGa 、 Co_2MnGe 、 Co_2NiGa
 Pd_2MnAl 、 Pd_2MnIn 、 Pd_2MnSn 、 Pd_2MnSb

50

Co₂FeSi、Co₂FeAl
 Fe₂VAl
 Mn₂VGa、Co₂FeGe
 【0072】

前記スピントラップ構造体11は、スピントラップSP>0.5である強磁性体である。スピントラップSPの値に比例してスピントラップ効率は増加する。前記スピントラップ構造体は強磁性体を含み、前記スピントラップ構造体の磁化方向は前記非磁性層の配置平面(xy平面)内で前記非磁性層の延長方向(x軸方向)に垂直(y軸方向)である。これによって、前記スピントラップ構造体11は面内電流の提供を受けて、前記非磁性層10にy軸方向のスピントラップ方向性を有した電子を提供する。

10

[モデル計算方法]

まず、我々は、SF/NM構造に対してスピントラップを計算する。SFはスピントラップ構造体11を示し、NMは非磁性層又は導電層10を示す。この計算では、単純化のために磁性層20を無視(SF/NM界面で界面散乱が無視される)した。SF/NM界面にスピントラップドリフト-拡散方程式(drift-diffusion equation)を解けば、我々は非磁性層でスピントラップのy成分を得る。

【数3】

[数式1]

$$\mu_y^s(x) = \beta e l_{sf}^F \frac{\rho_F \exp(-x/l_{sf}^N)}{\rho_F + \rho_N \coth(L/2l_{sf}^F)} E_x$$

20

【0073】

ここで、 ρ_F は固定された磁化方向を有するスピントラップ構造体SFの比抵抗を示し、 ρ_N は非磁性層NMの比抵抗を示す。Lはスピントラップ構造体SFの長さであり、

【数4】

$$l_{sf}^F, l_{sf}^N$$

30

はそれぞれ強磁性体で構成されたスピントラップ構造体11及び非磁性層NMのスピントラップ拡散の長さ(spin-flip diffusion lengths)である。

E_x はx軸方向に印加された電長であり、

【数5】

$$\beta (0 < \beta \leq 1)$$

40

はスピントラップ構造体11のスピントラップである。便宜上 $x=0$ がスピントラップ構造体/非磁性金属層の界面に選択される。

【0074】

次に、我々はNM/FM構造に集中する。NMは非磁性層を示し、前記FMは強磁性層を示す。我々がx軸方向に外部電場を印加する場合、非磁性層からz軸方向に流れる電荷及びスピントラップ密度(charge and spin current densities)は、次のように与えられる。

【数 6】

[数学式 2]

$$j_z = \frac{\sigma}{e} \partial_z \bar{\mu} - \frac{\sigma_{SH}}{e} \varepsilon_{ij} \partial_i \mu_j^s \quad \text{及び} \quad j_{i,z}^s = \frac{\sigma}{e} \partial_z \mu_i^s + \frac{\sigma_{SH}}{e} \varepsilon_{ij} \partial_j \bar{\mu}.$$

【0075】

10

ここで、i と j は座標系の成分を示す。σ は非磁性層の電気伝導度であり、e は電子の電荷量であり、

【数 7】

$$\bar{\mu}$$

は電気化学ポテンシャル (electrochemical potential) であり、

【数 8】

20

$$\mu_j^s$$

は j-成分の偏極方向を有するスピン蓄積 (j-component spin accumulation) であり、σ_{SH} は非磁性層のスピンホール電気伝導度である。ε_{ij} は数学と物理学でよく使われる Levi-Civita 記号である。

【0076】

明確化のために、前記 [数学式 2] のスピン電流の定義が通常的な定義

30

【数 9】

$$Q_{i,z}^s = -\frac{\hbar}{2e} j_{i,z}^s$$

と定数倍ほど異なるということを事前に明らかにしておく。ここで、下付きの i と z は、スピン電流のスピン偏極方向と流れ方向をそれぞれ示す。強磁性層 20 について、電荷及びスピン電流に対する方程式は、次の通りである。

40

【数 10】

[数学式 3]

$$j_z = \frac{\sigma}{e} \partial_z \bar{\mu} + \beta_0 \hat{\mathbf{M}} \cdot \partial_z \boldsymbol{\mu}^s \quad \text{及び} \quad j_{i,z}^s = \frac{\sigma}{e} \beta_0 \hat{M}_i \partial_z \bar{\mu} + \frac{\sigma_{SH}}{e} \partial_z \mu_i^s$$

【0077】

50

ここで、

【数 1 1】

$$\hat{M}$$

は磁化に沿う単位ベクトル (unit vector along the magnetization) であり、 β_0 は強磁性層 20 のスピン分極 (spin polarization) である。

【0078】

スピンフィルタ構造体 11 は、非磁性層に付加的なスピン蓄積を提供する。このスピン蓄積は、x 方向で指数関数的に減少する。2 次元スピン拡散方程式に対する解析解 (analytical solution) を得難い。したがって、我々は、近似的に、z 軸方向で拡散方程式の解にスピンフィルタ構造体 11 から平均スピン蓄積を単純に加えて非磁性層 NM でスピン蓄積に対してアンサツ (ansatz) を得る。

10

【数 1 2】

[数式 4]

$$\mu_i(x, z) = A_i \exp(z/l_{sf}^N) + B_i \exp(-z/l_{sf}^N) + K,$$

20

【0079】

ここで、我々は次のような近似を使用する。

【数 1 3】

$$K = \frac{\beta e E_x l_{sf}^F \rho_F}{\rho_F + \rho_N \coth(L/2l_{sf}^F)} \frac{1}{w} \int_0^w dx \exp(-x/l_{sf}^N)$$

30

【0080】

ここで、w は非磁性層の幅であり、数式 2 及び 4 から、我々は

【数 1 4】

$$j_z = \frac{\sigma}{e} \partial_z \bar{\mu}$$

を得る。試料が y 軸方向に無限大であり、z 軸方向に十分に薄いと仮定する。正常状態 ($j_x = \text{定数}$ 、 $j_z = 0$) の場合、連続方程式

40

【数 1 5】

$$\nabla \cdot \mathbf{j} = \partial_z j_z = 0$$

は、

【数 1 6】

$$\partial_z^2 \bar{\mu} = 0$$

を誘導する。この方程式の解は

【数 1 7】

$$\bar{\mu} = Cz + F(x)$$

10

である。ここで、Cは定数であり、F(x)は外部電場寄与 (external electric field contribution) を示す ($F(x) \sim e E_x X$)。z 軸方向に流れる電流がゼロである場合 $j_z = 0$ 、次のように与えられる。

【数 1 8】

[数学式 5]

$$\int j_z dz = \frac{\sigma^-}{e} \bar{\mu} = G$$

20

上記式は、次のように表現される。

【数 1 9】

[数学式 6]

$$\bar{\mu} = e E_x x$$

30

【0 0 8 1】

数学式 2、4、6 を使用すると、我々は次のような式を得る。

【数 2 0】

[数学式 7]

$$j_{i,z}^s = \frac{\sigma}{e l_{sf}} \left(A_i \exp(z/l_{sf}^N) + B_i \exp(-z/l_{sf}^N) \right) + \sigma_{SH} E_x \delta_{i,y}$$

40

【0 0 8 2】

NM/FM界面で、電荷及びスピン電流は、次のように与えられる。

【数 2 1】

[数学式 8]

$$\begin{aligned}
 j_z &= (G_{\uparrow} + G_{\downarrow})(\Delta\bar{\mu}/e) + (G_{\uparrow} - G_{\downarrow})(\hat{M} \cdot \Delta\boldsymbol{\mu}_s/e), \\
 (\mathbf{j}_z^s)_T &= -\frac{1}{e} \left[\frac{\text{Re}(G_{\uparrow\downarrow})}{e} (2\Delta\boldsymbol{\mu}_s \times \hat{M}) \times \hat{M} + \frac{\text{Im}(G_{\uparrow\downarrow})}{e} (2\Delta\boldsymbol{\mu}_s \times \hat{M}) \right], \\
 (\mathbf{j}_z^s)_L &= \frac{1}{e} \left[(G_{\uparrow} + G_{\downarrow})\hat{M} \cdot \Delta\boldsymbol{\mu}_s + (G_{\uparrow} - G_{\downarrow})\Delta\bar{\mu} \right],
 \end{aligned}$$

10

【0083】

ここで、下付き T と L は、垂直成分 (transverse) と平面 (longitudinal) 成分をそれぞれ示す。

【数 2 2】

$$G_{\uparrow}(G_{\downarrow})$$

20

は majority (minority) spin の界面伝導度 (interface conductivity) であり、

【数 2 3】

$$G_{\uparrow\downarrow}$$

は spin mixing conductance である。

【数 2 4】

30

$$\Delta\bar{\mu}(\Delta\mu_s)$$

は界面上側と下側の電荷 (スピン) 化学ポテンシャル差 (charge (spin) chemical potential drop) である。ここで、我々は強磁性層でスピン位相離脱の長さ (spin dephasing length) は非常に短くて、垂直方向スピン電流、

【数 2 5】

$$(\mathbf{j}_z^s)_T$$

40

は、NM/FM 界面で全部吸収されると仮定する。したがって、スピントルクは、次のように述べられる。

【数 2 6】

[数学式 9]

$$\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} = -\frac{\hbar}{2e} \frac{\gamma}{\mu_0 M_s t_F} (\mathbf{0} - \mathbf{j}_z^s)_T$$

【0084】

10

ここで、 γ は ジャイロマグネティック比 (gyromagnetic ratio) であり、 M_s は単位体積当たりの磁化である。スピントルクは、次のようにダンピングーライクトルク (damping-like torque) とフィールドライクトルク (field-like torque) として述べられる。

【数 2 7】

[数学式 10]

$$\frac{\partial \hat{\mathbf{M}}}{\partial t} = -T_D \hat{\mathbf{M}} \times (\hat{\mathbf{M}} \times \hat{\mathbf{y}}) - T_F \hat{\mathbf{M}} \times \hat{\mathbf{y}}$$

20

【0085】

ここで、 T_D (T_F) はダンピングーライク (フィールドーライク) トルクの係数 (coefficient) である。境界条件 ($j_z = 0$ として

【数 2 8】

$$j_z^s = 0$$

30

) を有し、強磁性層の上部面 ($z = t_F$) と非磁性層の下部面 ($z = -t_N$) で、上述のバルク方程式を解くと、我々は次のように得る。

【数 2 9】

[数学式 11]

$$T_D = \frac{\hbar}{2e} \frac{\gamma}{\mu_0 M_s t_F} \left\{ \theta_{SH} \sigma E_x \frac{(1 - e^{-t_N/l_{sf}^N})^2}{1 + e^{-2t_N/l_{sf}^N}} + \frac{\sigma}{el_{sf}^N} K \tanh(t_N/l_{sf}^N) \right\} \\ \times \frac{|\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}|^2 + \text{Re}(\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}) \tanh^2(t_N/l_{sf}^N)}{|\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}|^2 + 2 \text{Re}(\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}) \tanh^2(t_N/l_{sf}^N) + \tanh^4(t_N/l_{sf}^N)} \quad (11)$$

40

及び

【数 3 0】

[数学式12]

$$T_F = -\frac{\hbar}{2e} \frac{\gamma}{\mu_0 M_s t_F} \left\{ \theta_{SH} \sigma E_x \frac{(1 - e^{-t_N/l_{sf}^N})^2}{1 + e^{-2t_N/l_{sf}^N}} + \frac{\sigma}{el_{sf}^N} K \tanh(t_N/l_{sf}^N) \right\} \\ \times \frac{\text{Im}(\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}) \tanh^2(t_N/l_{sf}^N)}{|\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}|^2 + 2\text{Re}(\tilde{G}^{\uparrow\downarrow}) \tanh^2(t_N/l_{sf}^N) + \tanh^4(t_N/l_{sf}^N)}, \quad (12)$$

【0086】

10

ここで、 $\theta_{SH} = \sigma_{SH} / \sigma$ はスピンの・ホール・アングルの定義される量であり、

【数 3 1】

$$\tilde{G}^{\uparrow\downarrow} = G^{\uparrow\downarrow} \frac{2l_{sf}^N \tanh(t_N/l_{sf}^N)}{\sigma}$$

である。数学式 11 及び 12 で、NM/FM の界面で局所化されたスピントルクは、強磁性層の厚さ t_F について平均化される。各トルクの第 1 項 (first term) は、
スピンフィルタ構造体 11 がいない場合のスピンホール寄与分に対応する。

20

【0087】

スピンフィルタ構造体 11 の効果は、第 2 項 (second term) に反映される。非磁性層 NM でスピンはスピンフィルタ構造体によって部分的に分極 (partially polarized) されるため、スピンホール効果がない場合にも、NM/FM 界面にゼロでないスピン化学ポテンシャル差 (non-ZERO spin chemical potential drop) が誘導され、これはスピントルクを誘発する。スピンフィルタ構造体 11 によって起因したスピン蓄積は、界面に垂直な直接的な電流の流れ (direct current-flow perpendicular to the interface) がいない場合にも強磁性層 20 にトルクを印加する。このような種類の
スピントルクは、非局所的幾何学 (non-local geometry) で実験的に
観測され、不均一磁化 (inhomogeneous magnetization) に
起因したラテラル・スピン・トルク (lateral spin torque) である。

30

【0088】

図 3 は、図 2 の磁気素子で位置によるスピン蓄積 (spin accumulation) を示す。

図 3 に示すように、シミュレーションで次のようなパラメータが使用された。非磁性層 NM は白金 Pt であり、スピンフィルタ構造体 11 はコバルトである。 $\sigma_F = 5 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \Omega^{-1}$ 、 $\sigma_N = 5 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \Omega^{-1}$ 、

【数 3 2】

40

$$l_{sf}^F = 38 \text{ nm}, \quad l_{sf}^N = 1 - 10 \text{ nm}, \quad \text{Re}[G^{\uparrow\downarrow}] = 5.94 \times 10^{14} \text{ m}^{-2} \Omega^{-1}, \quad \text{そして}$$

$$\text{Im}[G^{\uparrow\downarrow}] = 0.86 \times 10^{14} \text{ m}^{-2} \Omega^{-1}.$$

非磁性層 NM に印加された電長は $E_x = 2 \times 10^4 \text{ V/m}$ であり、x 方向への電荷電流密度は近似的に

【数 3 3】

$$\sigma_N E_x \simeq 10^{11} \text{ A/m}^2$$

である。他のパラメータは、次のように選択された。強磁性層 10 の磁化は MA/m であり、スピンフィルタ構造体 11 の長さは $L = 20 \text{ nm}$ であり、非磁性層のスピン・ホール・アングルは $\theta_{\text{SH}} = 0 - 0.9$ を使用し、スピンフィルタ構造体 11 のスピン分極 (spin polarization) は $\beta = 0 - 1.0$ を使用した。

【0089】

10

図 3 に示すように、 $\theta_{\text{SH}} = 0.3$ に対して $\text{NM} (5 \text{ nm}) / \text{FM} (1.5 \text{ nm})$ 構造の NM で、 y -成分スピン蓄積 (y -component spin accumulation) ;

【数 3 4】

$$\mu_y^s$$

) が表示される。上部のふち $z = 0$ でスピン蓄積の純量 (net amount) は、スピン分極が増加するにつれて増加する。これは数学式 11 及び 12 でスピントルクを増加させる。

20

【0090】

図 4 は、4 つのパラメータ θ_{SH} 、 t_{N} 、

【数 3 5】

$$l_{sf}^N$$

そして ω によるダンピングライク・スピン・トルク (damping-like spin torques T_D) の依存性を示す。

30

図 4 に示すように、結果的なダンピングライク・スピン・トルクは、増加するスピン・ホール・アングル θ_{SH} につれて増加する。ダンピングライク・スピン・トルクは、非磁性層の厚さ t_{N} につれて増加する。ダンピングライク・スピン・トルクは、非磁性層のスピンフリップ拡散の長さ

【数 3 6】

$$l_{sf}^N$$

40

につれて最大値を見せている。前記非磁性層 NM のスピンフリップ拡散の長さは、3 ないし 4 nm である。

スピン分極から付加的なスピントルク (additional spin torque from the spin polarization) は、 x 方向に減少 (decay) する。ゼロでないスピン分極 β に対して、ダンピングライク・スピン・トルクは、非磁性層の幅 w に対して減少する。スピン分極は、ダンピングライク・スピン・トルクを増加させる。

【0091】

図 5 は、4 つのパラメータ θ_{SH} 、 t_{N} 、

50

【数 3 7】

$$l_{sf}^N$$

そして ω によるフィールドライク・スピン・トルク (field-like spin torques) の依存性を示す。

図 5 に示すように、フィールドライク・スピン・トルク (the field-like spin torque T_F) は、ダンピングライク・スピン・トルク (damping-like spin torque T_D) より 10 倍ほど小さい。なぜなら、媒介変数化 (parameterization) で、

【数 3 8】

$$\text{Im}[G^{\uparrow\downarrow}]$$

が

【数 3 9】

$$\text{Re}[G^{\uparrow\downarrow}]$$

より小さいためである。4 つのパラメータ θ_{SH} 、 t_N 、

【数 4 0】

$$l_{sf}^N$$

そして ω に対するフィールドライク・スピン・トルクの依存性は、類似する。

【0 0 9 2】

図 6 は、本発明の他の実施例によるスピンフィルタ構造体を備えた磁気素子を示す概念図である。

図 6 に示すように、磁気素子 3 は、第 1 方向に電流が注入され、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層 10 と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層 20 と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピンフィルタ構造体 11 と、を含む。

【0 0 9 3】

前記スピンフィルタ構造体の磁化方向は、前記導電層の配置平面に垂直な方向 (z 軸方向) である。前記強磁性層の磁化方向は、垂直磁化異方性を有した面外 (out-of-plane) 方向である。

【0 0 9 4】

前記スピンフィルタ構造体 11 のスピン分極は、0.5 ないし 1 である。前記スピンフィルタ構造体 11 は、半金属強磁性体である。前記半金属強磁性体は、ホイスラ (Heusler) 合金、マグネタイト (Fe_3O_4)、及びランタン・ストロンチウム・マンガナイト LSMO (lanthanum strontium manganite) のうち少なくとも一つを含む。前記スピンフィルタ構造体 11 は強磁性体を含み、前記スピンフィルタ構造体 11 の磁化方向は、前記導電層 10 の配置平面に垂直である。前記スピンフィルタ構造体 11 の磁化方向が z 軸方向に整列された場合、垂直磁気異方性を有した強磁性

層 20 は、前記導電層 10 に流れるスピン分極によって、外部磁場無しに決定論的なスイッチング (deterministic switching) が可能である。

【0095】

図 7 は、本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

図 7 に示すように、磁気素子 4 は、第 1 方向に電流が注入され、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層 10 と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層 20 と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピントルク構造体 11 と、を含む。

【0096】

前記スピントルク構造体 11 は、前記非磁性層 10 の前記第 1 方向の両側面にそれぞれ配置される。左側に配置されたスピントルク構造体 11 の磁化方向 (+y 軸方向) は、右側に配置されたスピントルク構造体の磁化方向に反平行 (antiparallel) に -y 軸方向である。これによって、y 軸方向のスピン蓄積は、対称的な偶関数 (even function) の形を有する。前記スピン分極電流に起因した y 軸方向のスピン蓄積は、強磁性層にスピントルクを提供する。また、垂直磁気異方性を有した強磁性層 20 は、前記スピン分極電流の散乱に起因した y 軸方向に整列されたスピン蓄積を誘発し、スピンホール効果に起因した y 方向スピン蓄積は、強磁性層に追加的なスピントルクを提供する。

【0097】

図 8 は、本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

図 8 に示すように、磁気素子 5 は、第 1 方向に電流が注入され、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層 10 と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層 20 と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピントルク構造体 11 と、を含む。前記スピントルク構造体 11 は、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面にそれぞれ配置される。左側に配置されたスピントルク構造体 11 の磁化方向 (+z 軸方向) は、右側に配置されたスピントルク構造体の磁化方向に反平行 (antiparallel) するように -z 軸方向である。これによって、y 軸方向のスピン蓄積は、対称的な偶関数 (even function) の形を有する。前記スピントルク構造体 11 の磁化方向が z 軸方向に整列された場合、垂直磁気異方性を有した強磁性層 20 は、前記導電層 10 に流れるスピン分極によって、外部磁場無しに決定論的なスイッチング (deterministic switching) が可能である。

【0098】

図 9 は、本発明のまた他の実施例による磁気素子を示す図面である。

図 9 に示すように、磁気素子 6 は、第 1 方向に電流が注入され、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電層 10 と、前記導電層に接触して互いに積層されるように配置され、磁化方向がスイッチングされる強磁性層 20 と、及び、固定された磁化方向性を有し、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面のうち少なくとも一側面に配置されて、スピン分極電流を前記導電層に注入するスピントルク構造体 11 と、を含む。前記スピントルク構造体 11 は、前記導電層 10 の前記第 1 方向の両側面にそれぞれ配置される。左側に配置されたスピントルク構造体 11 の磁化方向 (-x 軸方向) は、右側に配置されたスピントルク構造体の磁化方向に反平行 (antiparallel) に +x 軸方向である。これによって、x 軸方向のスピン蓄積は、対称的な偶関数 (even function) の形を有する。前記スピントルク構造体 11 の磁化方向が x 軸方向に整列された場合、垂直磁気異方性を有した強磁性層 20 は、前記導電層 10 に流れるスピン分極によってスピントルクの提供を受ける。また、垂直磁気異方性を有した強磁性層 20 は、スピンホール効果によって y 軸方向に整列されたスピン蓄積によってスピントルクの提供を受ける。

【0099】

図10は、本発明のまた他の実施例によるスピントラップ構造体と強磁性体の磁化方向によるスピントラップを示す図面である。

図10に示すように、強磁性層が垂直磁気異方性を有した場合、外部磁場無しにスイッチングするために、前記スピントラップ構造体の磁化方向はz軸方向である(a-2)。

【0100】

また、強磁性層が面内磁化方向を有し、前記スピントラップ構造体の磁化方向と前記強磁性層の磁化方向が同一である場合、強磁性層は外部磁場がなくてもスイッチングされる(b-1、c-3)。

【0101】

図11は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル素子を示す図面である。

図11に示すように、磁気トンネル接合素子100a~100dは、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合101と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピントルク効果又はラッシュバ効果を誘発する導電パターン110と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントラップ構造体111と、を含む。前記スピントラップ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

【0102】

磁気トンネル接合素子100a~100dは、磁気メモリセルの一部を構成する。基板上に順に導電パターン110、自由磁性層120、トンネル障壁層130、及び固定磁性層140が積層される。前記固定磁性層140は、配線に連結される。前記導電パターンは面内電流を提供し、スピントルク効果又はラッシュバ効果を誘発する。前記面内電流が流れる方向で、前記導電パターン110の少なくとも一側にはスピントラップ構造体111が配置される。前記補助導電パターン112は、前記スピントラップ構造体111に連結される。面内電流は、前記補助導電パターン112、前記スピントラップ構造体111、及び前記導電パターン110を通じて流れる。前記スピントラップ構造体111は、スピントルク電流を前記導電パターン110に提供し、前記導電パターンはスピントルク効果又はラッシュバ効果によって前記自由磁性層120にスピントルクを印加して、前記自由磁性層の磁化反転を誘導する。また、前記スピントラップ構造体111は、前記自由磁性層に前記スピントラップ構造体111の磁化方向に整列されたスピントラップを提供し、前記スピントラップは決定論的なスイッチング(deterministic switching)効果又は追加的なトルクを提供する効果を提供する。

【0103】

前記自由磁性層120は、前記導電パターン110と垂直に整列される。又は、本発明の変形した実施例によると、前記導電パターンは、前記自由磁性層と垂直に整列されない。前記スピントラップ構造体は前記自由磁性層と接触する部位を有するように配置されるか、又は、前記スピントラップ構造体は前記自由磁性層と接触する部位を有しないように配置される。前記スピントラップ構造体は通常のパターンニング工程によって形成されて角を有するか、又はコンフォーマル蒸着(conformal deposition)と異方性エッチングによって形成されたサイドウォール・スペーサ(side-wall spacer)構造である。

【0104】

図12は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル素子を示す図面である。

図12に示すように、磁気トンネル接合素子100e~100hは、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合101と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合101の前記自由磁性層に隣接して前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを

10

20

30

40

50

印加するようにスピホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン110と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピフィルター構造体111と、を含む。前記スピフィルター構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

【0105】

磁気トンネル接合素子100e~100hは、磁気メモリセルの一部を構成する。基板上に順に固定磁性層140、トンネル障壁層130、自由磁性層120、及び導電パターン110が積層される。前記固定磁性層140は、配線に連結される。前記導電パターン110は面内電流を提供し、スピホール効果又はラシュバ効果を誘発する。前記面内電流が流れる方向で、前記導電パターン110の少なくとも一側にはスピフィルター構造体111が配置される。前記補助導電パターン112は、前記スピフィルター構造体111に連結される。面内電流は、前記補助導電パターン112、前記スピフィルター構造体111、及び前記導電パターン110を通じて流れる。前記スピフィルター構造体111は、スピン分極電流を前記導電パターン110に提供し、前記導電パターンはスピホール効果又はラシュバ効果によって前記自由磁性層120にスピン軌道トルクを印加して、前記自由磁性層の磁化反転を誘導する。また、前記スピフィルター構造体は、前記自由磁性層に前記スピフィルター構造体111の磁化方向に整列されたスピン蓄積を提供し、前記スピン蓄積は決定論的なスイッチング(deterministic switching)効果又は追加的なトルクを提供する効果を提供する。

【0106】

前記自由磁性層120の側面は、前記導電パターン110の側面と垂直に整列される。又は、本発明の変形した実施例によると、前記導電パターンは、前記自由磁性層と垂直に整列されない。前記スピフィルター構造体は前記自由磁性層と接触する部位を有するように配置されるか、又は、前記スピフィルター構造体は前記自由磁性層と接触する部位を有しないように配置される。前記スピフィルター構造体は通常のパターニング工程によって形成されて角を有するか、又はコンフォーマル蒸着(conformal deposition)と異方性エッチングによって形成されたサイドウォール・スペーサ(side wall spacer)構造である。

【0107】

図13は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す概念図である。図13に示すように、磁気トンネル接合素子200は、固定磁性層240、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合201と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン110と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピフィルター構造体111と、を含む。前記スピフィルター構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

【0108】

前記固定磁性層磁性体240は、順に積層された第1固定磁性層244、固定磁性層用非磁性層246、及び第2固定磁性層248からなる人為的反磁性体(synthetic antiferromagnet)構造である。前記第1固定磁性層244及び第2固定磁性層248は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。前記固定磁性層用非磁性層246は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。

【0109】

本発明の変形された実施例によると、前記固定磁性層240は、順に積層された反強磁性層242、第1固定磁性層244、固定磁性層用非磁性層246、及び第2固定磁性層248からなる交換バイアスされた反磁性体である。前記反強磁性層242は、Ir、Pt

、Fe、Mn、及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなる。前記第1固定磁性層244及び第2固定磁性層248は、それぞれ独立的にFe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなる。前記固定磁性層用非磁性層246は、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む物質からなる。

【0110】

図14は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合を示す概念図である。

図14に示すように、磁気トンネル接合素子300は、固定磁性層140、自由磁性層320、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合301と、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して前記磁気トンネル接合に面内電流を印加し、スピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン110と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体111と、を含む。前記スピンフィルタ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

10

【0111】

前記固定磁性層磁性体140は、前記自由磁性層320と互いに整列されない。具体的に、前記自由磁性層320は、前記導電パターン110の延長方向に互いに並んで延長する。前記自由磁性層320は、少なくとも一つの磁区構造321を含む。前記磁区構造321は磁壁又はスキルミオンであり、互いに反対方向に磁化された磁区を分割する。

20

【0112】

図15は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合を示す概念図である。

図15に示すように、磁気トンネル接合素子400は、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合101と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン410と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン410の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体111と、を含む。前記スピンフィルタ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

30

【0113】

前記導電パターン410は、導電性反強磁性体を含む。具体的に、前記導電パターン410は、前記面内電流を印加し、反強磁性層を含む。前記導電パターン410は、垂直磁気異方性を有した前記自由磁性層120に面内交換バイアス磁場を提供する。具体的に、前記導電パターン410は、PtMn、IrMn、又はFeMnである。前記反強磁性層は、前記自由磁性層120に交換バイアス磁場を提供する。これによって、前記磁気トンネル接合素子は、外部磁場を使用せず、垂直磁気異方性を有した自由磁性層の磁化方向をスイッチングする。

【0114】

図16は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を説明する図面である。

40

図16に示すように、磁気トンネル接合素子500は、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合101と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン510と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン510の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体111と、を含む。前記スピンフィルタ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン110に提供する。

【0115】

前記面内電流を印加する導電パターン510は、順に積層された反強磁性層510a及び

50

強磁性層 510b を含む。前記反強磁性層 510a は、前記自由磁性層 120 に隣接して配置される。前記強磁性層 510b は、面内磁化方向又は前記強磁性層が延長される方向の磁化方向を有する。前記反強磁性層 510a は、前記自由磁性層 120 に面内交換バイアス磁場を提供する。前記自由磁性層 120 は、外部磁場を使用せずにスイッチングされる。

【0116】

前記強磁性層 510b は、面内磁気異方性を有して前記反強磁性層 510a を面内方向に反強磁性整列させる機能を提供する。垂直磁気異方性を有する自由磁性層 120 に隣接した反強磁性層 510a が垂直磁気異方性を有する自由磁性層 120 に水平方向の交換バイアス磁場を発生させる。具体的に、水平磁場の下に熱的アニーリングする時、面内磁気異方性を有する強磁性層 510b と反強磁性層 510a との間の交換相互作用によって反強磁性層 510a に面内方向の反強磁性に整列される。これで、反強磁性規則によって他の方に隣接した垂直磁気異方性を有する自由磁性層 120 に水平方向の交換バイアス磁場が誘導される。前記反強磁性層 510a を有する導電パターン 510 に流れる電流は、異常ホール効果 (anomalous Hall effect) 或いはスピンホール効果を通じてスピン軌道スピントルクを発生させる。前記スピンフィルタ構造体は、前記反強磁性層 510a の側面のみに配置される。

10

【0117】

図 17 は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す図面である。

図 17 に示すように、磁気トンネル接合素子 600 は、固定磁性層 140、自由磁性層 120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層 130 を備える磁気トンネル接合 101 と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン 110 と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン 110 の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体 111 と、を含む。前記スピンフィルタ構造体 111 は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン 110 に提供する。

20

【0118】

前記固定磁性層磁性体 140 に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層 652 及び面内磁化方向を有した双極子フィールド強磁性層 654 が配置される。前記双極子フィールド非磁性層 652 は、前記固定磁性層磁性体 140 に隣接して配置される。

30

【0119】

前記双極子フィールド非磁性層 652 は、導電性金属として、Ru、Ta、Cu、Pt、Pd、W、Cr 及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。

前記双極子フィールド強磁性層 654 は、面内磁化方向 (例えば、 $-x$ 軸方向) を有し、双極子磁場を生成して前記自由磁性層 120 に面内方向 ($+x$ 軸方向) に磁場を生成する。これによって、前記磁気トンネル接合素子の自由磁性層は、外部磁場を使用せず、磁化反転を行う。

【0120】

図 18 は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す図面である。

40

図 18 に示すように、磁気トンネル接合素子 700 は、固定磁性層 140、自由磁性層 120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層 130 を備える磁気トンネル接合 701 と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン 110 と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン 110 の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体 111 と、を含む。前記スピンフィルタ構造体 111 は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン 110 に提供する。

【0121】

補助絶縁層 727 が前記導電パターン 110 と前記自由磁性層 120 との間に配置される

50

。前記補助絶縁層727は、 AlO_x 、 MgO 、 TaO_x 、 ZrO_x 及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。前記補助絶縁層727は、前記導電パターンに沿って流れる面内電荷電流が前記磁気トンネル接合701を直接通じて流れないように抑制し、純粋なスピン電流だけが通るようにする。

【0122】

図19は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す図面である。

図19に示すように、磁気トンネル接合素子800は、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合101と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン810と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン810の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体111と、を含む。前記スピンフィルタ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン810に提供する。

10

【0123】

前記導電パターン810は、順に積層された導線非磁性層810a及び導線強磁性層810bを含む。前記導線強磁性層810bは、面内磁化方向成分を含む。前記導線非磁性層810aは、前記自由磁性層120に隣接するよう配置される。前記導線非磁性層810aは、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質である。前記導線強磁性層810bは、Fe、Co、Ni、B、Si、Zr、及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。前記導線強磁性層810bを通じて流れる面内電荷電流によって、前記導線強磁性層810bの自体的な異常ホール効果或いは異方性磁気抵抗(anisotropic magnetoresistance)効果を通じてスピン電流を発生させる[T. Taniguchi、J. Grollier、M. D. Stiles、Physical Review Applied 3、044001(2015)]。また、前記導線強磁性層810bと前記導線非磁性層810aの界面スピン軌道結合効果によってスピン電流を発生させる[V. P. Amin、M. D. Stiles、Physical Review B 94、104419(2016)]。前記スピンフィルタ構造体111は、前記導線非磁性層810aの両側面のうち少なくとも一側に配置される。

20

30

【0124】

図20は、本発明のまた他の実施例による磁気トンネル接合素子を示す図面である。

図20に示すように、磁気トンネル接合素子900は、固定磁性層140、自由磁性層120、及び前記固定磁性層と前記自由磁性層との間に介在されたトンネル障壁層130を備える磁気トンネル接合901と、面内電流が流れ、前記磁気トンネル接合の前記自由磁性層に隣接して、前記磁気トンネル接合の自由磁性層にスピントルクを印加するようにスピンホール効果又はラシュバ効果を誘発する導電パターン910と、面内電流が印加される方向で、前記導電パターン910の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体111と、を含む。前記スピンフィルタ構造体111は、注入された電流をフィルタリングしてスピンの量と方向を制御して前記導電パターン910に提供する。

40

【0125】

前記導電パターン910は、順に積層された導線強磁性層910a及び導線非磁性層910bを含む。前記導線強磁性層910aと前記自由磁性層120との間に配置された非磁性層927を含む。前記導線強磁性層910aは、前記自由磁性層120に隣接して配置される。前記非磁性層927は、前記自由磁性層の側面と整列される。

【0126】

前記導線非磁性層910b及び前記非磁性層927は、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質である。前記導線強磁性層910aは、Fe、Co、Ni、Gd、B、Si、Zr及びこれらの混合物のうち少なくとも一つを含む。前記スピンフィルタ構造体1

50

11は、前記導線非磁性層910bの両側面のうち少なくとも一側に配置される。

【0127】

図21は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図21に示すように、磁気メモリ素子91は、複数の磁気トンネル接合101を備える。前記磁気トンネル接合101又は磁気トンネル接合素子100は、図2ないし図14で説明したように様々に変形される。

【0128】

前記磁気メモリ素子91は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントラップ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントラップ結合に起因するスピントラップトルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピントラップ構造体111は、スピントラップ電流を前記導電パターン110に提供する。

【0129】

前記第1導電パターン110は、Cu、Ta、Pt、W、Bi、Ir、Mn、Ti、Cr、Pd、Re、Os、Hf、Mo、Ru及びこれらの混合物のうち選択される物質からなる。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピントラップ電流を提供し、前記自由磁性層120にスピントラップトルクを印加する。前記スピントラップトルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。

【0130】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に並んで進行する。第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層120は、前記第1導電パターン110に隣接して周期的に配置される。第2導電パターン182又はWLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層磁性体140に電氣的に連結され、前記基板平面で前記第2方向に延長される。

【0131】

前記磁気メモリ素子91は、クロスポイント・メモリとして動作する。前記磁気メモリ素子91は、前記第1導電パターン110に流れるスピントラップ電流、前記スピントラップ電流によるスピントラップ効果、前記第2導電パターン182に印加される電圧による臨界電流減少効果によって動作する。又は、前記磁気メモリ素子91は、第1導電パターンに流れる電流によるスピントラップ電流、前記スピントラップ電流によるスピントラップ効果及び選択された磁気トンネル接合を通じて流れるスピントラップトルク効果によって動作する。

【0132】

図22は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図22に示すように、磁気メモリ素子92は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子92は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントラップ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントラップ結合に起因するスピントラップトルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピントラップ構造体111は、スピントラップ電流を前記導電パターン110に提供する。

【0133】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に周期的にの離隔して配置される。前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層120は、前記第1導電パターン110に隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピントラップ電流を提供し、前記自由磁性層120にスピントラップトルクを印加する。前記スピントラップトルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。前記スピントラップ構造体111は、前記第1導電パターン110にスピントラップ電流を提供す

る。

【0134】

第2導電パターン282又はWLは、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの固定磁性層磁性体140に電氣的に連結され、前記基板平面で前記1方向に延長される。

【0135】

第3導電パターン283又はSLは、前記第1方向に配列された前記第1導電パターン110のそれぞれの一端に連結され、前記第1方向に延長される。

【0136】

第4導電パターン284又はBLは、前記第2方向に配列された第1導電パターン110のそれぞれの他端に連結され、前記第2方向に延長される。

10

【0137】

前記磁気メモリ素子92は、変形されたクロスポイント・メモリで動作する。前記第1導電パターンは、互いに分離して前記自由磁性層にスピンの電流を注入する。前記第3導電パターン、前記第1導電パターン、及び第4導電パターンを通じて電流が流れる場合、前記第1導電パターンに流れる面内電流は、前記自由磁性層にスピンの電流を注入して前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。

【0138】

図23は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図23に示すように、磁気メモリ素子93は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子93は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピン軌道結合力に起因するスピン軌道トルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピンフィルタ構造体111は、スピン分極電流を前記導電パターン110に提供する。

20

【0139】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に延長され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層120は、前記第1導電パターン110又はBLに隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピン電流を提供し、前記自由磁性層120にスピン軌道スピントルクを印加する。前記スピン軌道スピントルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。前記第1導電パターン110には、周期的にスピンフィルタ構造体111が配置される。

30

【0140】

選択トランジスタTRは、前記磁気トンネル接合101の固定磁性層磁性体140それぞれに電氣的に連結される。

【0141】

第2導電パターン382又はSLは、前記第1方向に配列された選択トランジスタTRそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結され、前記基板平面で前記1方向に延長される。

40

【0142】

第3導電パターン383又はWLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された前記選択トランジスタTRそれぞれのゲートに連結される。

特定の第1導電パターン110、BL0に電流が流れる場合、前記第1導電パターンに連結された全ての磁気トンネル接合の自由磁性層は、スピン電流の供給を受ける。一方、特定のメモリセルを選択するために、選択トランジスタTRのゲートに連結された特定の第3導電パターンに電圧を印加する。これによって、特定のメモリセルは、前記第1導電パターンによるスピン電流及び選択された選択トランジスタによって固定磁性層に電圧又はスピン転移電流の供給を受ける。これによって、特定のメモリセルは、書き込み動作を行

50

う。

【0143】

図24は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図24に示すように、磁気メモリ素子94は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子94は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントラップ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントラップ結合に起因するスピントラップトルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピントラップ構造体111は、スピントラップ電流を前記導電パターン110に提供する。

10

前記第1導電パターン110又はWBLは、基板平面で第1方向に延長され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層120は、前記第1導電パターン110に隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピントラップ電流を提供し、前記自由磁性層120にスピントラップトルクを印加する。前記スピントラップトルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。前記第1導電パターンの両側には周期的にスピントラップ構造体111が配置される。

【0144】

選択トランジスタTRは、前記磁気トンネル接合の固定磁性層磁性体140それぞれに電氣的に連結される。

20

【0145】

第2導電パターン482又はRBLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタTRそれぞれのソース／ドレインに電氣的に連結され、前記基板平面で前記2方向に延長される。

【0146】

第3導電パターン483又はWLは、前記第1方向に配列された前記選択トランジスタそれぞれのゲートに連結される。

【0147】

特定のメモリセルに書き込み動作を行うために、特定の第1導電パターンが選択され、選択された第1導電パターンに電流が流れる。また、選択されたメモリセルに連結された選択トランジスタのゲートに連結された第3導電パターンが選択され、前記選択トランジスタのソース／ドレインを前記固定磁性層に電圧が印加されるか、又はスピントラップ電流が流れる。これによって、特定のメモリセルは、書き込み動作を行う。

30

【0148】

図25は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図25に示すように、磁気メモリ素子95は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子95は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントラップ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントラップ結合に起因するスピントラップトルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピントラップ構造体111は、スピントラップ電流を前記導電パターン110に提供する。

40

【0149】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピントラップ電流を提供し、前記自由磁性層120にスピントラップトルクを印加する。前記スピントラップトルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。スピントラップ構造体111は、前記第1導電パターン110の少なくとも一側に配置される。

50

【0150】

第2導電パターン582又はRBLは、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層磁性体140それぞれに電氣的に連結され、第1方向に延長される。

【0151】

第3導電パターン583又はWBLは、前記第1方向に配列された第1導電パターン110のそれぞれの一端に連結され、第1方向に延長される。

選択トランジスタTRは、前記第1導電パターン110それぞれの他端に連結される。

【0152】

第4導電パターン584又はSLは、前記第1方向に配列された選択トランジスタTRのソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される。

10

【0153】

第5導電パターン585又はWLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタTRのゲートに連結され、前記第2方向に延長される。

【0154】

図26は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図26に示すように、磁気メモリ素子96は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子96は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピントルク構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピントルク結合に起因するスピントルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピントルク構造体111は、スピントルク電流を前記導電パターン110に提供する。

20

【0155】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピントルク電流を提供し、前記自由磁性層120にスピントルクスピントルクを印加する。前記スピントルクスピントルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。スピントルク構造体111は、前記第1導電パターン110の少なくとも一側面に配置される。

30

【0156】

選択トランジスタTRは、前記磁気トンネル接合の固定磁性層磁性体140にそれぞれ連結される。

【0157】

第2導電パターン682又はRBLは、前記第1方向に配列された選択トランジスタのソース／ドレインにそれぞれ連結され、前記第1方向に延長される。

【0158】

第3導電パターン683又はWLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された選択トランジスタTRのゲートに連結され、前記第2方向に延長される。

【0159】

第4導電パターン684又はWBLは、前記第1方向に配列された第1導電パターン110のそれぞれの一端に連結され、第1方向に延長される。

40

【0160】

第5導電パターン685又はSLは、前記第1方向に配列された第1導電パターン110の他端に連結され、前記第1方向に延長される。

【0161】

図27は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図27に示すように、磁気メモリ素子97は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子97は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン

50

110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピン軌道結合力に起因するスピン軌道トルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピンフィルタ構造体111は、スピン分極電流を前記導電パターン110に提供する。

【0162】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層120は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピン電流を提供し、前記自由磁性層120にスピン軌道スピントルクを印加する。前記スピン軌道スピントルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。

10

【0163】

第2導電パターン782は、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合の固定磁性層磁性体140それぞれに電氣的に連結され、前記第1方向に垂直な第2方向に延長される。

【0164】

第1選択トランジスタTR1は、前記第1導電パターン110の一端にそれぞれ連結される。

【0165】

第2選択トランジスタTR2は、前記第1導電パターン110の他端にそれぞれ連結される。

20

【0166】

第3導電パターン783又はWBLは、前記第1方向に配列された前記第1選択トランジスタTR1のソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される。

【0167】

第4導電パターン784又はSLは、前記第1方向に配列された前記第2選択トランジスタTR2のソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される。

【0168】

第5導電パターン785は、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された第1選択トランジスタTR1のゲートと第2選択トランジスタTR2のゲートを互いに連結して前記第2方向に延長される。

30

【0169】

図28は、本発明のまた他の実施例による磁気メモリ素子を説明する図面である。

図28に示すように、磁気メモリ素子98は、複数の磁気トンネル接合を備える。前記磁気メモリ素子98は、マトリックスの形で配列された複数の磁気トンネル接合101と、前記磁気トンネル接合101の自由磁性層120に隣接して配置された第1導電パターン110と、及び、前記第1導電パターン110の両側面のうち少なくとも一側面に配置されたスピンフィルタ構造体と、を含む。前記導電パターン110は、前記自由磁性層と前記導電パターンとの間のスピン軌道結合力に起因するスピン軌道トルクSOT (spin-orbit torque) を提供し、前記スピンフィルタ構造体111は、スピン分極電流を前記導電パターン110に提供する。

40

【0170】

前記第1導電パターン110は、基板平面で第1方向に周期的に配置され、前記第1方向に配列された磁気トンネル接合のそれぞれの自由磁性層は、前記第1導電パターンそれぞれに隣接して周期的に配置される。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層にスピン電流を提供し、前記自由磁性層120にスピン軌道スピントルクを印加する。前記スピン軌道スピントルクは、前記自由磁性層の磁化反転に寄与する。

【0171】

第1選択トランジスタTR1は、前記磁気トンネル接合の固定磁性層磁性体140にそれぞれ連結される。

【0172】

50

第2選択トランジスタTR2は、前記第1導電パターン110の一端にそれぞれ連結される。

【0173】

第2導電パターン882又はRBLは、前記第1方向に配列された第1選択トランジスタTR1のソース／ドレインに連結され、前記第1方向に延長される。

【0174】

第3導電パターン883又はWBLは、前記第1方向に配列された第1導電パターン110の他端をそれぞれ連結し、前記第1方向に延長される。

【0175】

第4導電パターン884又はSLは、前記第1方向に配列された第2選択トランジスタTR2のソース／ドレインをそれぞれ連結し、前記第1方向に延長される。

10

【0176】

第5導電パターン885又はWLは、前記第1方向に垂直な第2方向に配列された第1選択トランジスタTR1のゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される。

【0177】

第6導電パターン886又はWLは、前記第2方向に配列された第2選択トランジスタTR2のゲートをそれぞれ連結し、前記第2方向に延長される。

【0178】

図21ないし図28に示すように、前記自由磁性層120は、少なくとも一つの磁区構造を含む。前記磁区構造は、磁壁又はスキルミオンである。

20

図21ないし図28に示すように、前記第1導電パターン110は、面内電流を印加し、反強磁性層を含む。前記第1導電パターン110は、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供する。

図21ないし図28に示すように、前記第1導電パターン110は、面内電流を印加し、順に積層された反強磁性層及び強磁性層を含み、前記反強磁性層は、前記自由磁性層に隣接して配置され、前記強磁性層は、面内磁化方向を有し、前記第1導電パターンは、前記自由磁性層に面内交換バイアス磁場を提供し、前記自由磁性層は、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

【0179】

図21ないし図28に示すように、磁気トンネル接合は、前記固定磁性層磁性体140に隣接して順に積層された双極子フィールド非磁性層及び面内磁化方向を有した双極子フィールド強磁性層をさらに含み、前記非磁性層は、前記固定磁性層磁性体に隣接して配置される。前記自由磁性層は、前記双極子フィールド強磁性層から提供される面内の磁場によって、外部磁場がなくてもスイッチングされる。

30

【0180】

図21ないし図28に示すように、磁気トンネル接合は、前記第1導電パターン110と前記自由磁性層120との間に配置された補助絶縁層をさらに含む。

【0181】

図21ないし図28に示すように、前記第1導電パターン110は、順に積層された第1導電パターン非磁性層及び第1導電パターン磁性層を含み、前記第1導電パターン磁性層は面内磁化方向成分を含む。

40

【0182】

図21ないし図28に示すように、前記第1導電パターン110は、順に積層された第1導電パターン磁性層及び第1導電パターン非磁性層を含み、前記第1導電パターン磁性層と前記自由磁性層との間に配置された非磁性層を含む。

【0183】

上記のように、本発明を特定の好ましい実施例に対して図示して説明したが、本発明はこのような実施例に限られず、当該発明が属する技術分野において通常の知識を有する者が特許請求の範囲で請求する本発明の技術的思想を逸脱しない範囲内で実施することができる多様な形態の実施例を全て含む。

50

【符号の説明】

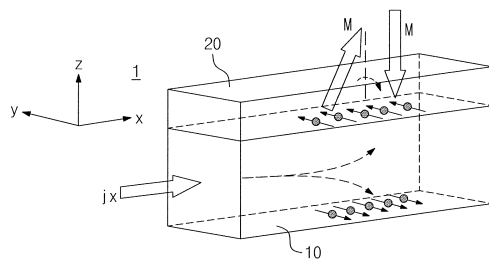
【 0 1 8 4 】

1 0 導電層

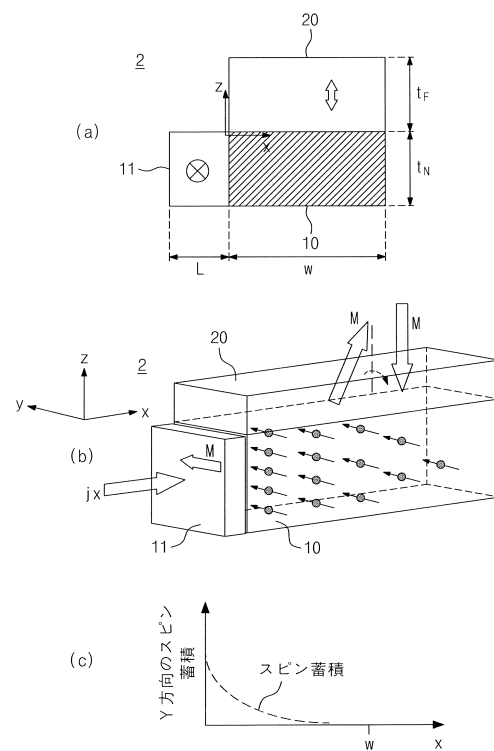
1 1 スピンフィルタ構造体

2 0 強磁性体

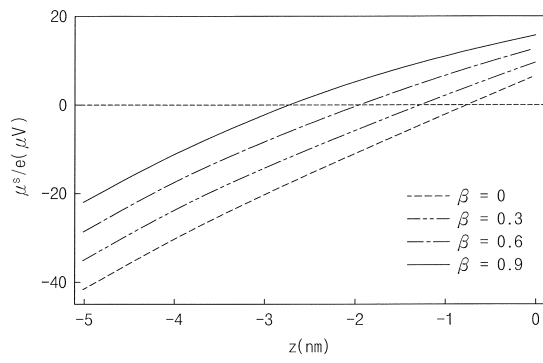
【図 1】



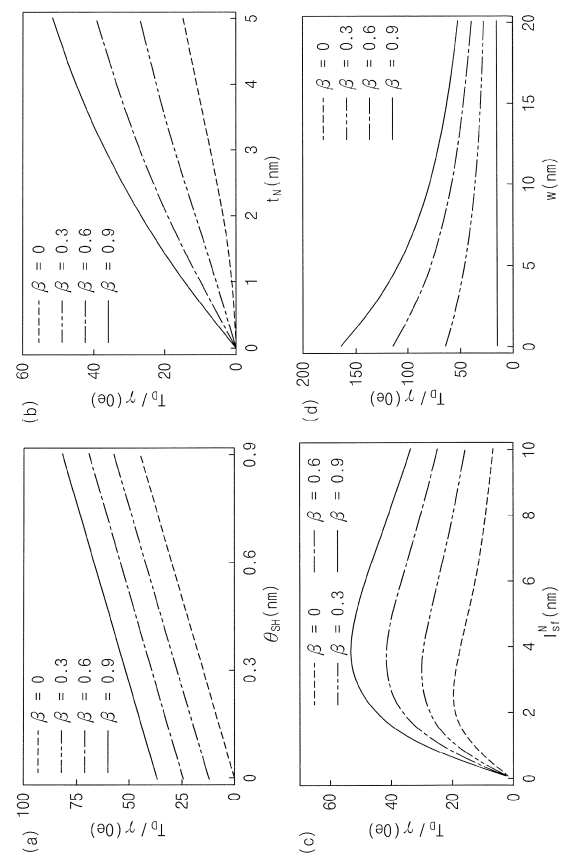
【図 2】



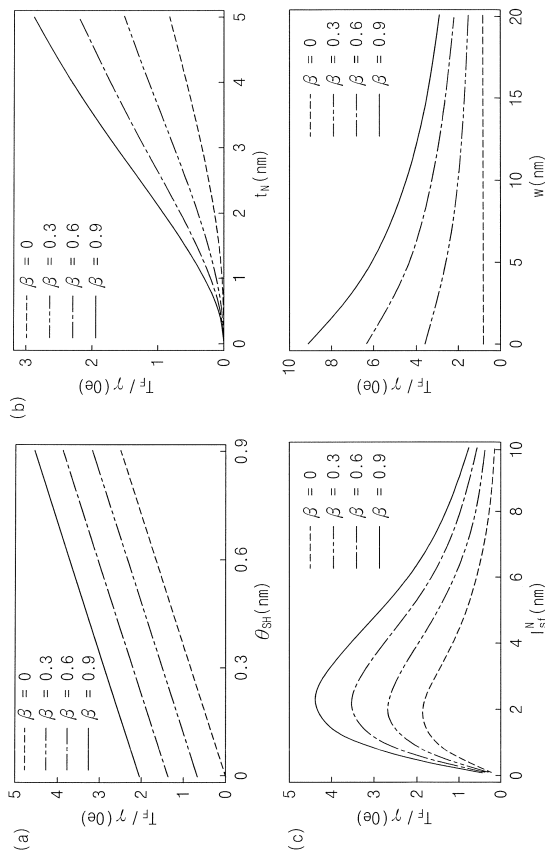
【図 3】



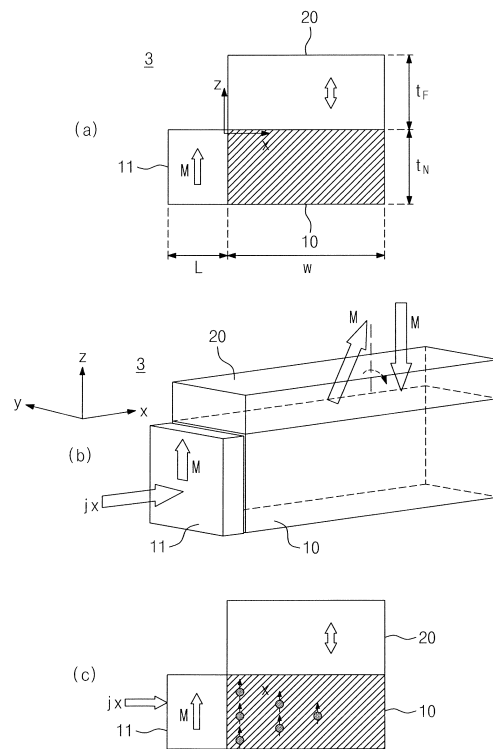
【図 4】



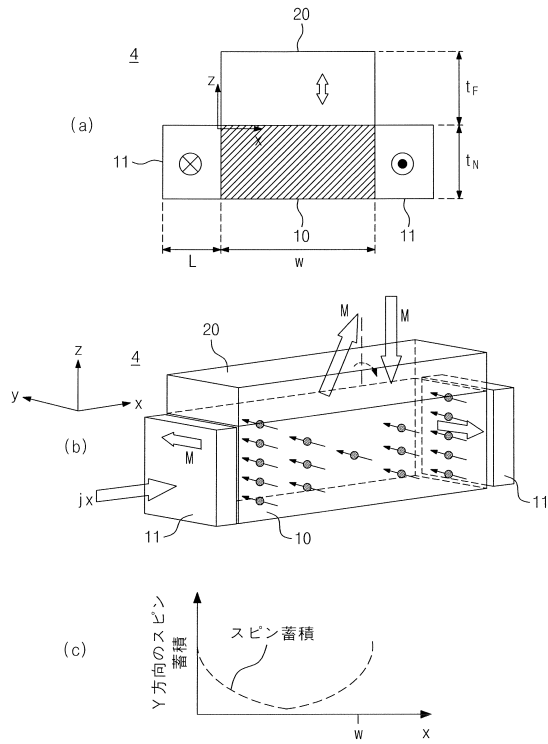
【図 5】



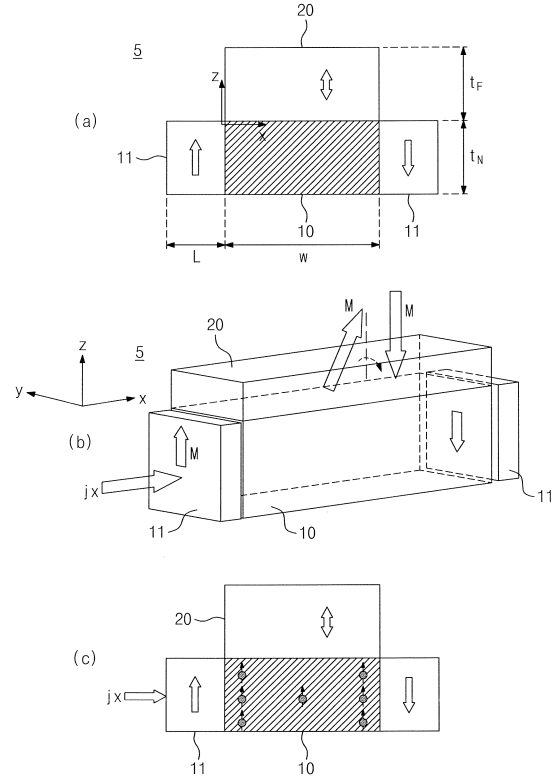
【図 6】



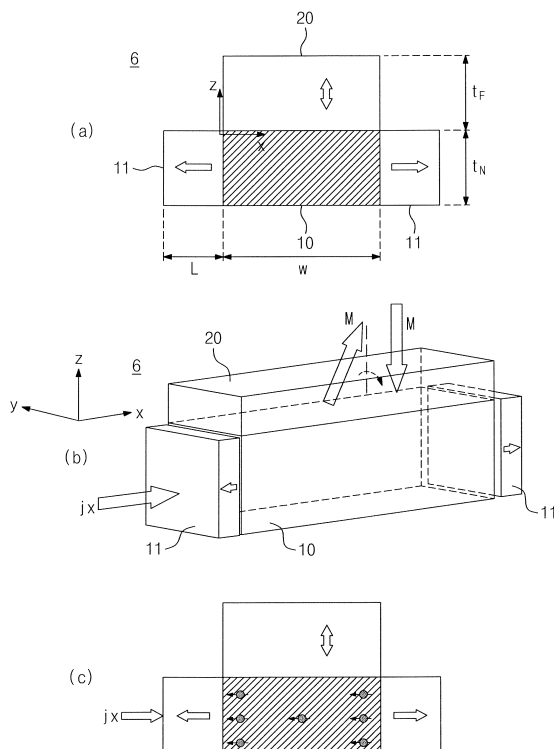
【図 7】



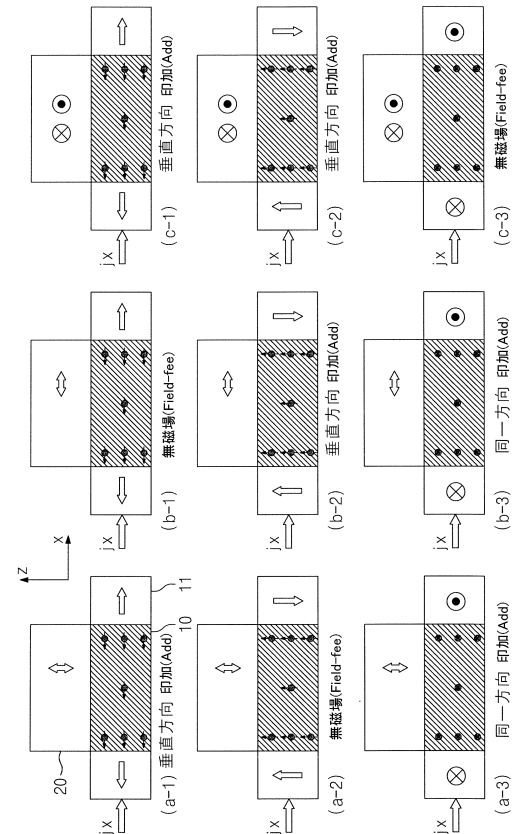
【図 8】



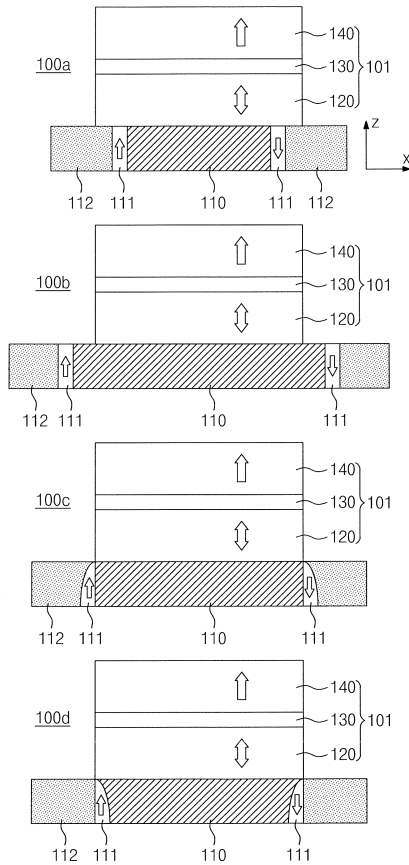
【図 9】



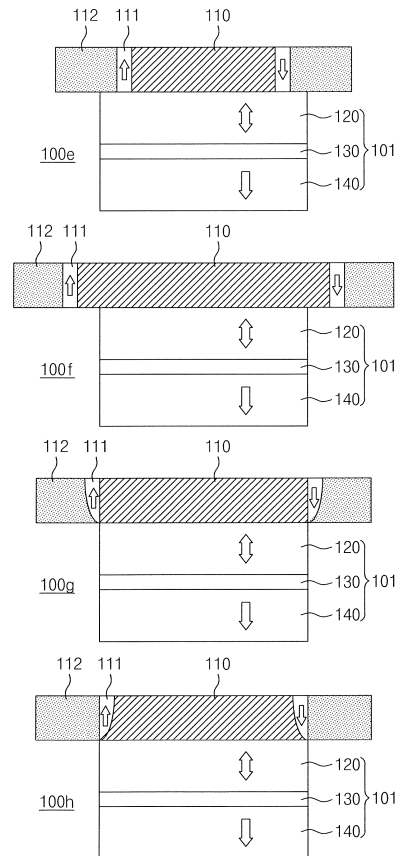
【図 10】



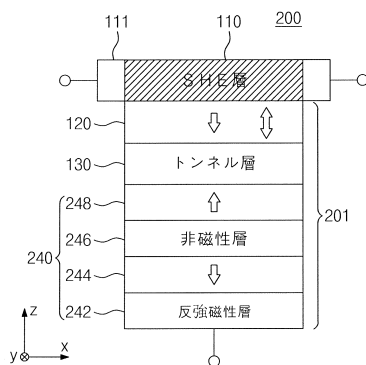
【図 1 1】



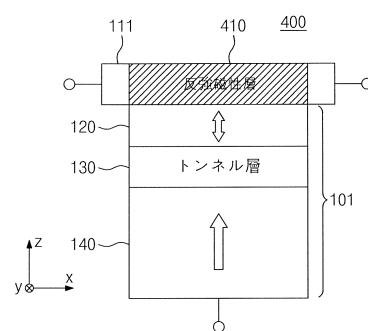
【図 1 2】



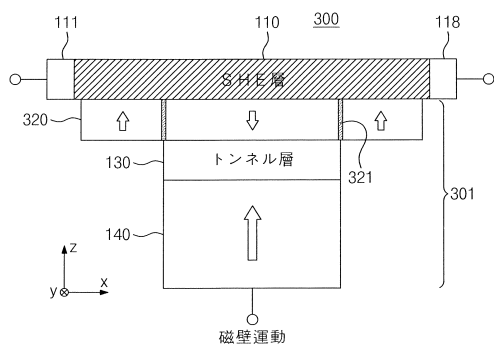
【図 1 3】



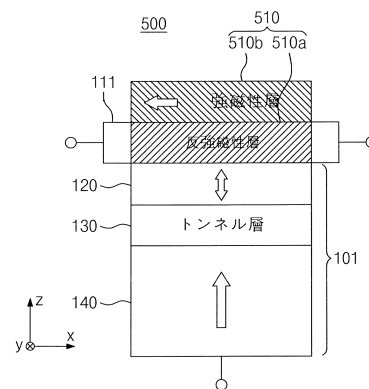
【図 1 5】



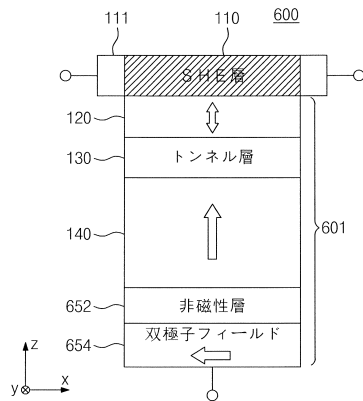
【図 1 4】



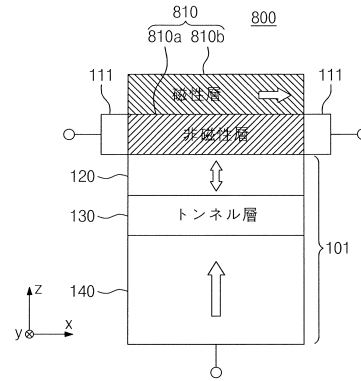
【図 1 6】



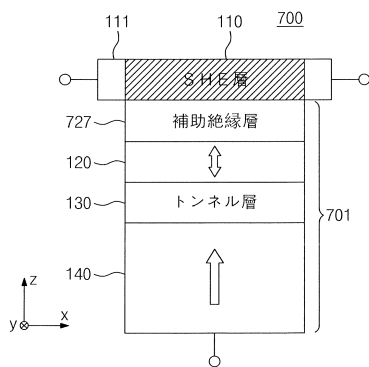
【図 17】



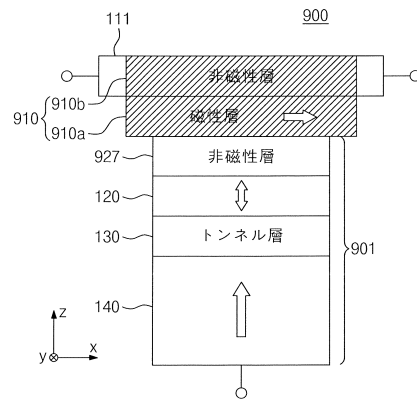
【図 19】



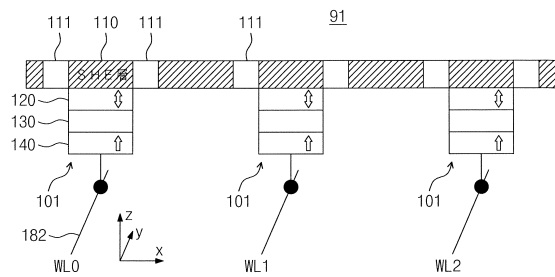
【図 18】



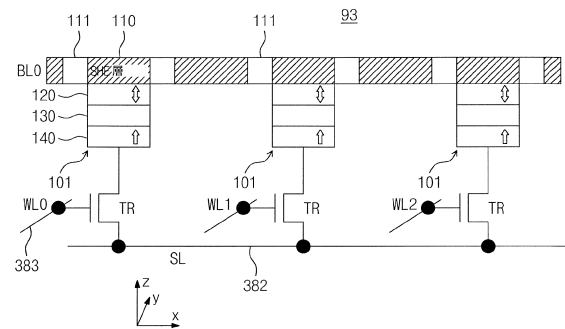
【図 20】



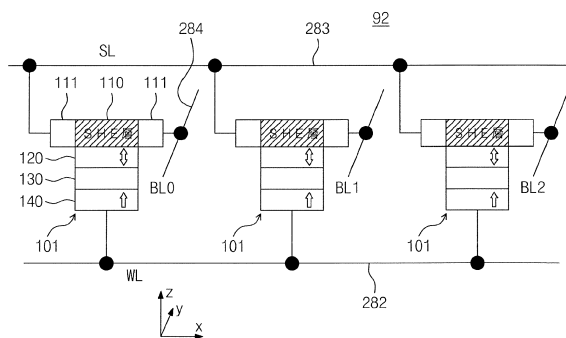
【図 21】



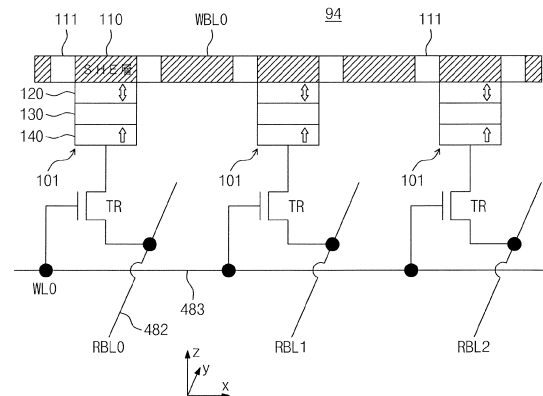
【図 23】



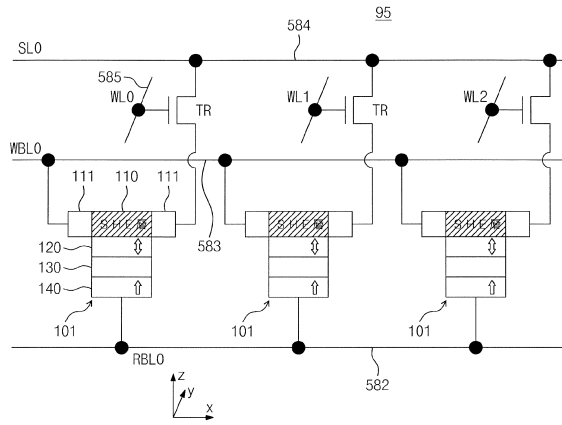
【図 22】



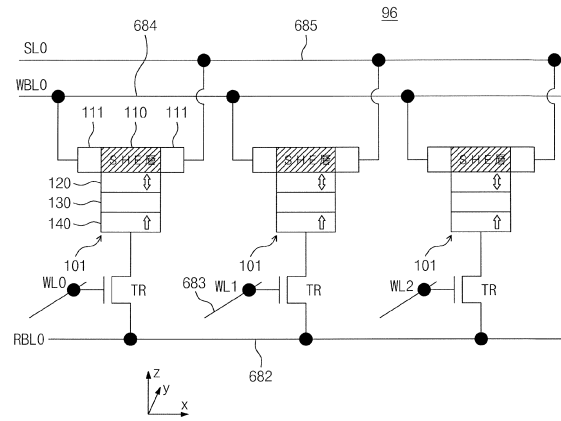
【図 24】



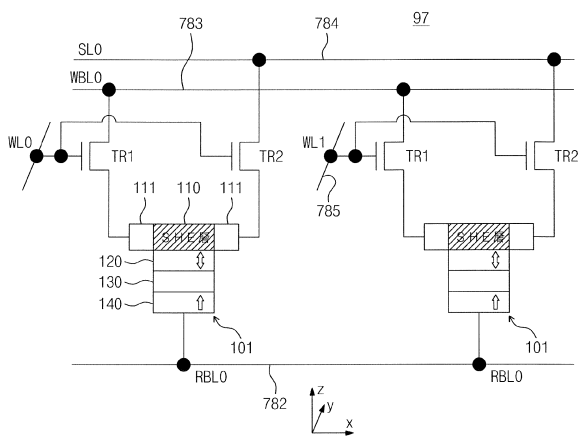
【図 25】



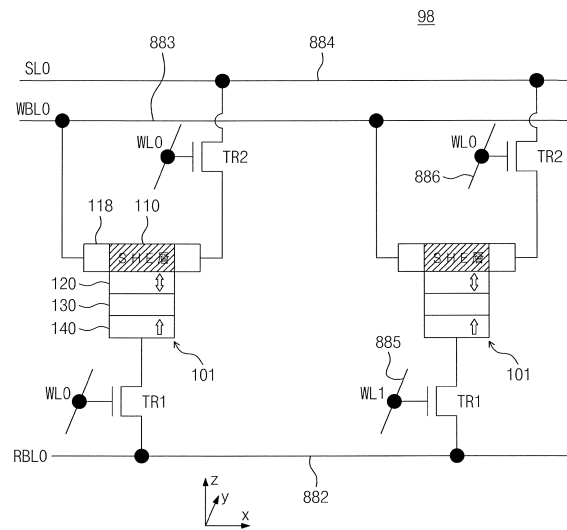
【図 26】



【図 27】



【図 28】



フロントページの続き

(74)代理人 100191086

弁理士 高橋 香元

(72)発明者 キム, ヤング ケウン

大韓民国, ソウル 06009, ガンナムーグ, アプグジョンロー 61ーギル, 37, 72-1109

(72)発明者 リー, キョンージン

大韓民国, ソウル 01735, ノウォンーグ, ジュンゲーロ, 195, 105-305

(72)発明者 ゴー, ギョン チューン

大韓民国, ソウル 02862, ソンブクーグ, サムソンギョーロ 24ーギル, 13, 503

審査官 上田 智志

(56)参考文献 米国特許出願公開第2015/0145575 (US, A1)

国際公開第2016/021468 (WO, A1)

米国特許第09218864 (US, B1)

特開2014-045196 (JP, A)

特開2002-204007 (JP, A)

国際公開第2015/195122 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/8239, 27/105, 29/82, 43/08

G11C 11/16

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)