

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-83208

(P2023-83208A)

(43)公開日 令和5年6月15日(2023.6.15)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 1 0 B 61/00 (2023.01)	H 0 1 L 27/105 4 4 7	4 M 1 1 9
H 1 0 N 50/10 (2023.01)	H 0 1 L 43/08 Z	5 F 0 9 2
H 0 1 L 29/82 (2006.01)	H 0 1 L 29/82 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全13頁)

(21)出願番号 特願2022-132440(P2022-132440)	(71)出願人 390019839
(22)出願日 令和4年8月23日(2022.8.23)	三星電子株式会社
(31)優先権主張番号 63/285672	S a m s u n g E l e c t r o n i c s
(32)優先日 令和3年12月3日(2021.12.3)	C o . , L t d .
(33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)	大韓民国京畿道水原市靈通区三星路12
(31)優先権主張番号 17/675876	9
(32)優先日 令和4年2月18日(2022.2.18)	1 2 9 , S a m s u n g - r o , Y e o
(33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)	n g t o n g - g u , S u w o n - s i
	, G y e o n g g i - d o , R e p u b
	l i c o f K o r e a
	(74)代理人 100107766
	弁理士 伊東 忠重
	(74)代理人 100070150
	弁理士 伊東 忠彦
	(74)代理人 100135079

最終頁に続く

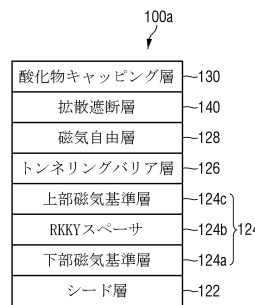
(54)【発明の名称】 スピントランスファートルクおよびスピン軌道トル克蘭ダムアクセスメモリのための磁気抵抗メモリ要素

(57)【要約】

【課題】製造中に改善された熱安定性および改善された製造後の収率および耐久性を有する磁気抵抗トンネル接合(MTJ)メモリ素子を提供すること。

【解決手段】磁気抵抗トンネル接合(MTJ)メモリ素子は、磁気基準層RL、磁気自由層FL、磁気基準層と磁気自由層との間に延びるトンネリングバリア層、および磁気自由層上に延びる拡散遮断層(DBL)を含む。拡散遮断層は、ビスマス(Bi)、アンチモン(Sb)、オスmium(Os)、レニウム(Re)、スズ(Sn)、ロジウム(Rh)、インジウム(In)およびカドミウム(Cd)からなるグループより選ばれた少なくとも一つを含む。酸化物キャッピング層が拡散遮断層にも提供される。酸化物層は、ストロンチウム(Sr)、スカンジウム(Sc)、ベリリウム(Be)、カルシウム(Ca)、イットリウム(Y)、ジルコニウム(Zr)およびハフニウム(Hf)の少なくとも一つを含むことができる。

【選択図】図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

磁気抵抗トンネル接合 (MTJ) メモリ素子において、  
磁気基準層と、  
磁気自由層と、  
前記磁気基準層および前記磁気自由層との間に延びるトンネリングバリア層と、  
前記磁気自由層上の拡散遮断層とを含み、  
前記拡散遮断層はビスマス (Bi)、アンチモン (Sb)、オスミウム (Os)、レニウム (Re)、スズ (Sn)、ロジウム (Rh)、インジウム (In) およびカドミウム (Cd) からなるグループより選ばれた一つ以上の物質を含む、メモリ素子。

10

## 【請求項 2】

前記磁気自由層は、前記磁気自由層との界面を定義する前記拡散遮断層と前記トンネリングバリア層との間に延びる、請求項 1 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 3】

前記拡散遮断層上の酸化物層をさらに含む、請求項 2 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 4】

前記拡散遮断層は  $1 \sim 10$  範囲の厚さを有する、請求項 2 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 5】

前記拡散遮断層は前記酸化物層と前記磁気自由層との間に延びる、請求項 3 に記載のメモリ素子。

20

## 【請求項 6】

前記酸化物層は、 $2 \sim 20$  範囲の厚さを有し、スカンジウム酸化物 (Sc-O) およびマグネシウム酸化物 (Mg-O) の少なくとも一つを含む、請求項 5 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 7】

前記酸化物層は、ストロンチウム酸化物 (Sr-O)、タンタル酸化物 (Ta-O)、ベリリウム酸化物 (Be-O)、カルシウム酸化物 (Ca-O)、イットリウム酸化物 (Y-O)、ジルコニウム酸化物 (Zr-O)、チタン酸化物 (Ti-O)、およびハフニウム酸化物 (Hf-O) の少なくとも一つを含む、請求項 5 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 8】

前記拡散遮断層は、  
第 1 物質を含む第 1 拡散遮断層と、  
第 1 物質と相異なる第 2 物質を含み、前記第 1 拡散遮断層と前記酸化物層との間に延びる第 2 拡散遮断層との積層された複合層を含む、請求項 5 に記載のメモリ素子。

30

## 【請求項 9】

前記第 1 拡散遮断層は、マグネシウム (Mg)、アルミニウム (Al)、スカンジウム (Sc)、チタン (Ti)、バナジウム (V) およびクロム (Cr) からなるグループより選ばれる少なくとも一つの物質を含む、請求項 8 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 10】

前記酸化物層は、  
スカンジウム酸化物 (Sc-O)、ストロンチウム酸化物 (Sr-O) およびカルシウム酸化物 (Ca-O) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの酸化物を含む第 1 酸化物層と、  
タンタル酸化物 (Ta-O) およびハフニウム酸化物 (Hf-O) からなるグループより選ばれる少なくとも一つの酸化物を含む第 2 酸化物層との複合層を含む、請求項 5 に記載のメモリ素子。

40

## 【請求項 11】

前記第 1 酸化物層は、前記第 2 酸化物層と前記拡散遮断層との間に延びる、請求項 10 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 12】

50

前記第 2 酸化物層は、前記第 1 酸化物層よりもより厚い、請求項 1 1 に記載のメモリ素子。

【請求項 1 3】

前記酸化物層は、酸化マグネシウム (Mg - O)、酸化カルシウム (Ca - O)、酸化スカンジウム (Sc - O)、酸化チタン (Ti - O)、酸化バナジウム (V - O)、酸化鉄 (Fe - O)、酸化ニッケル (Ni - O)、酸化コバルト (Co - O)、酸化ジルコニウム (Zr - O)、酸化ニオブウム (Nb - O)、酸化タンタル (Ta - O)、酸化タングステン (W - O)、酸化オスミウム (Os - O) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含むシャント - 電流減少酸化物 (SRO) 層である、請求項 5 に記載のメモリ素子。

10

【請求項 1 4】

スピントランスファートルク磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (STT - MRAM) 素子において、

磁気基準層 (RL) と、

磁気自由層 (FL) と、

前記磁気基準層と前記磁気自由層の間に延びるトンネリングバリア層と、

前記磁気自由層上の拡散遮断層 (DBL) であって、前記拡散遮断層は 1 ~ 10 範囲の厚さを有し、ビスマス (Bi)、アンチモン (Sb)、オスミウム (Os)、レニウム (Re)、スズ (Sn)、ロジウム (Rh)、インジウム (In) およびカドミウム (Cd) からなるグループより選ばれる少なくとも一つの物質を含む拡散遮断層と、

20

前記拡散遮断層上の酸化物層と、

前記磁気基準層上のシード層とを含む、メモリ素子。

【請求項 1 5】

前記磁気基準層は、その間に延びる Ruderman - Kittel - Kasuya - Yosida (RKKY) 結合層を有する第 1 および第 2 磁気基準層の積層された複合層を含む、請求項 1 4 に記載のメモリ素子。

【請求項 1 6】

前記拡散遮断層は、

前記磁気基準層と接触する、マグネシウム (Mg)、アルミニウム (Al)、スカンジウム (Sc)、チタン (Ti)、バナジウム (V) およびクロム (Cr) からなるグループより選ばれた第 1 物質を含む第 1 拡散遮断層と、

30

前記第 1 物質と相異なる第 2 物質を含み、前記第 1 拡散遮断層と前記酸化物層との間に延びる第 2 拡散遮断層との積層された複合層を含む、請求項 1 4 に記載のメモリ素子。

【請求項 1 7】

前記酸化物層は、

前記拡散遮断層と接触する、スカンジウム酸化物 (Sc - O) 層、ストロンチウム酸化物 (Sr - O) 層および / またはカルシウム酸化物 (Ca - O) 層と、

タンタル酸化物 (Ta - O) 層および / またはその上のハフニウム酸化物 (Hf - O) 層との積層複合体を含む、請求項 1 4 に記載のメモリ素子。

【請求項 1 8】

40

スピン軌道トルク磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (SOT - MRAM) 素子であって、

磁気基準層 (RL) と、

磁気自由層 (FL) と、

前記磁気基準層と前記磁気自由層の間に延びるトンネリングバリア層と、

前記磁気自由層上の拡散遮断層 (DBL) であって、ビスマス (Bi)、アンチモン (Sb)、オスミウム (Os)、レニウム (Re)、スズ (Sn)、ロジウム (Rh)、インジウム (In)、およびカドミウム (Cd) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含む拡散遮断層と、

前記拡散遮断層上のシャント電流還元酸化物 (SRO) 層とを含む、メモリ素子。

50

## 【請求項 19】

前記シャント電流還元酸化物層上のスピン軌道トルク書き込みラインをさらに含み、  
前記シャント電流還元酸化物層は、酸化マグネシウム (Mg - O)、酸化カルシウム (Ca - O)、酸化スカンジウム (Sc - O)、酸化チタン (Ti - O)、酸化バナジウム (V - O)、酸化鉄 (Fe - O)、酸化ニッケル (Ni - O)、酸化コバルト (Co - O)、酸化ジルコニウム (Zr - O)、酸化ニオブウム (Nb - O)、酸化タンタル (Ta - O)、酸化タングステン (W - O)、酸化オスミウム (Os - O) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含む、請求項 18 に記載のメモリ素子。

## 【請求項 20】

前記拡散遮断層は、1 ~ 10 範囲の厚さを有し、前記シャント電流還元酸化物層と  
前記磁気自由層との間で延びてこれらと接触する、請求項 19 に記載のメモリ素子。 10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、集積回路メモリ装置に関し、特に、不揮発性集積回路メモリ装置およびその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来の磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (MRAM) 装置は、一般的に不揮発性メモリ素子として磁気抵抗 (a / k / a 磁気) トンネル接合 (MTJ) を用いており、これは単  
純化された形態で3個の層の垂直スタックで定義することができる。この3個の層は、(i) 「ピン (pinned)」または「固定された」磁気層という磁気基準層、(ii) ト  
ンネリング誘電体層というトンネリングバリア層、および (iii) 磁気自由層を含む。 20  
当業者によって理解されるように、MTJ はメモリ書き込み動作の間に磁気基準層のフィールドと平行または反平行にするように磁気自由層の「フィールド」を設定することによって「0」または「1」ロジック状態を定義するようにプログラミングされることができ  
る。

## 【0003】

したがって、図 1 a に示すように、MTJ 10 は、磁気自由層 12 の磁化が磁気基準層 16 の磁化と平行になるように設定することによって「第 1」ロジック状態を有するよう  
に設定されるので、前記基準層 16 から磁気自由層 12 を分離するトンネリングバリア層 14 を含む MTJ 10 の層にわたって読み取り電流が設定される時相対的に低い抵抗状態  
が存在するようになる。 30

## 【0004】

代案として、MTJ 10 は、磁気自由層 12 の磁化が磁気基準層 16 の磁化と反平行になるように設定することによって「第 2」ロジック状態を有するよう  
に設定されるので、読み取り電流が MTJ 10 の層にわたって形成される時相対的に高い抵抗状態が存在するようになる。図面に示していないが、従来の MTJ はまた、図 1 a に示す「水平」スピン  
方向よりは「垂直」または「直角」スピン方向をサポートするように構成されることができ 40

## 【0005】

また、図 1 b の左側に示すように、スピントランスファー (spin transfer) トルク (STT) MRAM 20 a (単一の「読み取り / 書き込み」選択トランジスタ T1 を有する) は、ロジック「0」をプログラミングするために MTJ 10 の層を介して第 1 方向に  
、そしてロジック「1」をプログラミングするために第 1 方向と逆である第 2 方向に、「書き込み」電流を伝達して書き込み動作の間プログラミングされることができ

## 【0006】

また、より速いプログラミングの結果としてより高い書き込み電流を使用してより短いアクセス時間を得ることができるが、より高い電流は、繰り返されたプログラミングに対  
する応答として MTJ 10 の層に対して漸進的に損傷を引き起こし、それによって STT 50

- M R A M 2 0 a の長期的な耐久性および信頼性を低下させる。

【 0 0 0 7 】

幸いなことに、図 1 b の右側に示すように、スピン軌道トルク ( S O T ) M R A M 2 0 b ( 分離された読み取りおよび書き込み選択トランジスタ T 1 , T 2 を有する ) は、磁気自由層 1 2 と界面を共有する別途の「ストラップ」層 1 8 の両端に「書き込み」電流を伝達することによってプログラミングされることができる。別途の読み取り電流および書き込み電流の経路からわかるように、書き込み電流をサポートするストラップ層 1 8 の使用は、書き込み電流経路を読み取り電流経路から分離するように動作し、これによって S T T - M R A M 2 0 a と関連する潜在的な耐久性および信頼性の制限を回避することができるが、各メモリセル内の追加の書き込み選択トランジスタ T 2 により引き起こされるビット当たりレイアウトフットプリントは多少大きくなる。

【 0 0 0 8 】

以下、図 2 を参照すると、従来技術によるより代表的な M T J 1 0 ' は、シード層 2 2 を含むものとして示されており、その上に下部磁気基準層 2 4 a、R u d e r m a n - K i t t e l - K a s u y a - Y o s i d a ( R K K Y ) スペーサ / 結合層 2 4 b、上部磁気基準層 2 4 c のスタックが複合磁気基準層 2 4 として順次形成される。M T J 1 0 ' と関連する従来装置は、D. Apalkov, B. Dieny および J. M. Slaughter による、「磁気抵抗ランダムアクセスメモリ」IEEE Proceedings, vol. 104, no. 10, pp. 1796-1830, 2016年10月に開示されている。

【 0 0 0 9 】

M T J 1 0 ' はまた、酸化マグネシウム ( M g - O ) 層で構成されるトンネリングバリア層 2 6、およびトンネリングバリア層 2 6 の真上にある磁気自由層 2 8 を含む。図示するように、マグネシウム酸化物 ( M g - O ) 層で構成できる酸化物キャップ 3 0 がまた、図示するように、磁気自由層 2 8 上に提供される。いかなる理論にも拘束されることを望まないが、高効率および / または最適なトンネル磁気抵抗 ( T M R ) のための酸化物キャップは他の低性能酸化物キャップと比較するとアニーリング後の安定性が好ましくない。したがって、高性能酸化物キャップと優れたアニーリング後の安定性を有する M T J ベースの不揮発性メモリ素子の開発の必要性が台頭している。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

本発明が解決しようとする課題は、製造中に改善された熱安定性および改善された製造後の収率および耐久性を有する磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

本発明の技術的課題は、以上で言及した技術的課題に制限されず、言及されていないまた他の技術的課題は以下の記載から当業者に明確に理解されることができる。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 2 】

本発明の実施形態による不揮発性メモリは、製造中に改善された熱安定性および改善された製造後の収率および耐久性を有する磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子を用いることができる。

【 0 0 1 3 】

これらの実施形態の一部によれば、磁気基準層 R L、磁気自由層 F L、および磁気 R L と磁気 F L との間に延びるトンネリングバリア層を含む M T J メモリ要素が提供される。また、熱的安定性を向上させるために D B L とトンネリングバリア層との間に延びる磁気 F L 上に拡散遮断層 ( D B L ) が提供される。この D B L は：( i ) 比較的高い熱安定性 ( 例：アニーリング安定性 )、( i i ) 相対的に高い拡散障壁エネルギー ( E b ) または、その層界面 ( 複数可 ) 側に行くほど相対的に高い分離傾向、および ( i i i ) 隣接する層に対する格子不整合の減少を有するように構成され、ピスマス ( B i )、アンチモン ( S

b)、オスミウム(Os)、レニウム(Re)、スズ(Sn)、ロジウム(Rh)、インジウム(In)およびカドミウム(Cd)からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含むことができる。一部の実施形態で、酸化物キャッピング層のような酸化物層がDBL上に提供される。また、DBLは1 ~ 10 (オングストローム)範囲の厚さを有することができるのに対して、酸化膜は2 ~ 20 範囲の厚さを有することができる。本発明の一部の実施形態で、酸化物層はマグネシウム酸化物(Mg-O)を含むが; 他の実施形態で、酸化物層はストロンチウム酸化物(Sr-O)、タンタル酸化物(Ta-O)、スカンジウム酸化物(Sc-O)、ベリリウム酸化物(Be-O)、カルシウム酸化物(Ca-O)、イットリウム酸化物(Y-O)、ジルコニウム酸化物(Zr-O)およびハフニウム酸化物(Hf-O)の少なくとも一つを含むことができる。

10

## 【0014】

本発明の他の実施形態によれば、DBLは第1物質の第1DBL、および第1DBLと酸化物層との間に延びる第2物質の第2DBLの積層された複合層を含む。このような第1物質はマグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、スカンジウム(Sc)、チタン(Ti)、バナジウム(V)およびクロム(Cr)からなるグループより選ばれる物質であり得る。酸化物層は次のような複合層で構成されることができる:(i)スカンジウム酸化物(Sc-O)、ストロンチウム酸化物(Sr-O)およびカルシウム酸化物(Ca-O)からなるグループより選ばれた少なくとも一つの酸化物を含む第1酸化物層、および(ii)タンタル酸化物(Ta-O)およびハフニウム酸化物(Hf-O)からなるグループより選ばれた少なくとも一つの酸化物を含む第2酸化物層。第1酸化物層は、DBLと第1酸化物層よりもより厚くてもよい第2酸化物層との間に延びる。

20

## 【0015】

本発明の追加的な実施形態によれば、スピントランスファートルク磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(STT-MRAM)素子が提供され、これは、磁気基準層RL、磁気自由層FL、磁気RLと磁気FLとの間に延びるトンネリングバリア層、および磁気RLの下のシード層を含む。これらの実施形態の一部で、磁気RLは、間にRuderman-Kittel-Kasuya-Yosida(RKKY)結合層が延びている第1および第2磁気基準層の積層された複合層を含むことができ、これは下部RLと上部RLとの間の反強磁性結合を容易にするように設計されたものである。

## 【0016】

また、拡散遮断層(DBL)が磁気FL上に提供され、酸化物「キャッピング」層がDBL上に提供される。好ましくは、DBLは、何よりも磁気FLからの外部拡散(すなわち、FLと酸化物キャッピング層との間の相互拡散)を抑制し、キャッピング層からの外部拡散を抑制することによって、製造中のメモリ要素のアニーリング安定性を改善するように動作する。これらの実施形態の一部で、DBLは、1 ~ 10 範囲の厚さを有することができる、ピスマス(Bi)、アンチモン(Sb)、オスミウム(Os)、レニウム(Re)、スズ(Sn)、ロジウム(Rh)、インジウム(In)およびカドミウム(Cd)からなるグループより選ばれた1種以上の物質を含むことができる。DBLは、第1DBL、および第1DBLと酸化物キャッピング層との間に延びる(相異なる材料の)第2DBLの積層された複合層で構成されることもできる。このような第1DBLは、磁気FLと接触する、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、スカンジウム(Sc)、チタン(Ti)、バナジウム(V)およびクロム(Cr)からなるグループより選ばれた第1物質を含むことができる。本発明のまた他の実施形態で、酸化物キャッピング層は次の積層された複合物を含むことができる:(i)スカンジウム酸化物(Sc-O)層、ストロンチウム酸化物(Sr-O)層および/またはDBLと接触するカルシウム酸化物(Ca-O)層、および(ii)タンタル酸化物(Ta-O)層および/またはその上のハフニウム酸化物(Hf-O)層。

30

40

## 【0017】

本発明の他の実施形態によれば、スピン-軌道トルク磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(SOT-MRAM)素子が提供され、これは、磁気基準層RL、磁気自由層FL、およ

50

び磁気 R L と磁気 F L との間に延びるトンネリングバリア層を含む。また、製造中の熱安定性を向上させるために磁気 F L に拡散遮断層 ( D B L ) が提供される。この D B L は、ビスマス ( B i )、アンチモン ( S b )、オスミウム ( O s )、レニウム ( R e )、スズ ( S n )、ロジウム ( R h )、インジウム ( I n ) およびカドミウム ( C d ) からなるグループより選ばれた一つ以上の物質を含む。シャント電流減少酸化物 ( S R O ) 層が D B L の上に提供されてスピン軌道トルク書き込みラインが S R O 層上に提供される。このような S R O 層は、酸化マグネシウム ( M g - O )、酸化カルシウム ( C a - O )、酸化スカンジウム ( S c - O )、酸化チタン ( T i - O )、酸化バナジウム ( V - O )、酸化鉄 ( F e - O )、酸化ニッケル ( N i - O )、酸化コバルト ( C o - O )、酸化ジルコニウム ( Z r - O )、酸化ニオブ ( N b - O )、酸化タンタル ( T a - O )、タングステン酸化物 ( W - O )、およびオスミウム酸化物 ( O s - O ) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含むことができる。D B L はまた、1 ~ 10 範囲の厚さを有することができる、S R O 層と磁性 F L との間に延びることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1a】低抵抗プログラム状態と高抵抗プログラム状態にプログラムされる時、不揮発性メモリ素子として動作する従来の磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) の断面図である。

【図1b】従来技術によるスピントランスファートルク ( S T T ) M R A M 単位セルおよびスピン軌道トルク ( S O T ) M R A M 単位セルの単純化された概略図である。

【図2】不揮発性メモリ素子として動作できる従来の磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) の断面図である。

20

【図3】本発明の一実施形態による、不揮発性磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子の断面図である。

【図4】本発明の一実施形態による、不揮発性磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子の断面図である。

【図5】本発明の一実施形態による、不揮発性磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子の断面図である。

【図6】本発明の一実施形態による、不揮発性磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子の断面図である。

【図7】本発明の一実施形態による、スピン軌道トルク ( S O T ) M R A M 装置の不揮発性磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子の断面図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0019】

本発明は、以下の本発明の好ましい実施形態が図示されている添付する図面を参照してより完全に説明される。しかし、本発明は多くの異なる形態で具現化することができ、本明細書で説明された実施形態に制限されるものと解釈されるべきではなく、これらの実施形態は本開示が徹底かつ完全であり、本発明の範囲が当業者に十分に伝達されるように提供される。

【0020】

図面で、層および領域の厚さは明確性のために誇張されている。また、層が他の層や基材 ( 基板 ) の「上に」と言及される場合、これは他の層または基材のすぐ上にあるか中間層が存在し得るものとして理解することができる。同じ参照番号は全体にわたって同じ要素を指す。また、ここで M - O と識別される金属 ( M ) 酸化物 ( O ) に対する各言及は、金属酸化物化合物  $M_xO_y$  を表し、ここで M は金属を表し、O は酸素を表し、このとき化学量論的に添え字は多様である：  $x \geq 1$  ,  $y \geq 1$  である。

40

【0021】

第1、第2、第3などの用語は、多様な要素、構成要素、領域、層および/またはセクションを説明するために本明細書で使用され得るが、このような要素、構成要素、領域、層および/またはセクションはこれらの用語だけに制限されない。このような用語は単に一つの要素、構成要素、領域、層またはセクションを他の領域、層またはセクションと区

50

別するために使用される。したがって、以下で言及される第1構成、構成要素、領域、層またはセクションは、本発明の教示から逸脱することなく、第2構成、構成要素、領域、層またはセクションと指称され得る。

#### 【0022】

本明細書で使用した用語は、単に特定の実施形態を説明するために使用されたものであり、本発明を限定しようとする意図ではない。本明細書に使用される単数形は、文脈から特に示さない限り複数形も含むことを意図している。また、本明細書で使用される用語の「含む」、「備える」、「有する」およびこれらの変形は、明示された機能、段階、作業、要素および/または構成要素の存在を指定するが、一つ以上の他の機能、段階、作業、要素、構成要素および/またはこれらのグループの存在または追加を排除しない。対照的に、本明細書で使用される時「～からなる」という用語は、明示された特徴、段階、動作、要素および/または構成要素を指定し、追加機能、段階、動作、要素および/または構成要素を排除する。

10

#### 【0023】

別に定義されない限り、本明細書で使用されるすべての用語（技術的、科学的用語を含む）は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が一般的に理解されるものと同じ意味を有する。また、一般的に用いられる辞書に定義されている用語は、関連技術の脈絡でのその意味と一致する意味を有するものと解釈されるべきであり、本明細書で特に定義されない限り理想化されるかまたは過度に形式的な意味で解釈されないことが理解されるであろう。

20

#### 【0024】

以下、図3を参照すると、本発明の実施形態による不揮発性磁気抵抗トンネル接合（MTJ）メモリ素子100aは、次の垂直スタックを含むものとして示される：（i）シード層122、（ii）シード層122上の磁気基準層（RL；Reference Layer，124）、（iii）磁気RL124上のトンネリングバリア層126、および（iv）トンネリングバリア層126上の磁気自由層（FL；Free Layer，128）。図示するように、磁気RL124は、下部磁気RL124a、Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida（RKKY）結合/スペーサ層124b、およびスペーサ層124b上の上部磁気RL124cの積層された複合層で構成される。

#### 【0025】

これらの実施形態の一部によれば、シード層122は、例えば、Ir、Ru、Taからなるグループより選ばれた物質を含み、約10～約2000範囲の厚さを有することができる。その上、下部磁気RL124aは、Co/Pt多重層またはCo-Pt合金からなるグループより選ばれた物質またはPtまたはPdのような非磁気物質とCoまたはFeのような磁気物質の多重層を含む他の物質を含み得、約10～約500範囲の厚さを有することができる。

30

#### 【0026】

RKKY（Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida）結合層124bは、Ru、Rh、Irおよびこれらの合金からなるグループより選ばれた物質を含むことができ、約3～約18範囲の厚さを有することができる。

40

#### 【0027】

上部磁気RL124cは、選択的な非磁性または弱磁性挿入層とトンネリングバリア層126の隣りのCoFeBを有するCo/Pt多重層または合金からなるグループより選ばれた物質を含むことができ、約5～約200の範囲の厚さを有する。

#### 【0028】

トンネリングバリア層126は、例えば、酸化マグネシウム（Mg-O）層および/またはMg-Al-O層で構成され、約4～約20の厚さを有することができる。

#### 【0029】

磁気FL128は、Co、Fe、B、Nb、Ta、Mo、Si、Zr、Ge、Wからなるグループより選ばれた物質を含むことができ、約4～約50範囲の厚さを有するこ

50

とができる。

【0030】

好ましくは、熱安定性を向上させるために、図示するように磁気FL128と酸化物キャッピング層130との間に延びる（そしてそれらと界面を形成する）拡散遮断層（DBL；Diffusion Blocking Layer，140）が提供される。

【0031】

特に、FL128と酸化物キャッピング層130との間の相互拡散を抑制するために、DBL140は、好ましくは（i）相対的に高い熱安定性（例：アニーリング安定性）、（ii）その層の界面（複数可）に行くほど相対的に高い拡散障壁エネルギー（Eb）または相対的に高い分離傾向、および（iii）隣接する磁気FL128および酸化物キャッピング層130に対する格子不整合の減少を有する。特に、本明細書で参照により組み込まれる、上述した2021年12月3日付で出願された米国仮出願番号63/285,672に記載されたように、酸化物キャッピング層130のアニーリング安定性は、DBL140を構成することによって向上できるので、特に磁気FLと酸化物（例：Mg-O）キャッピング層との間の従来の界面に比べて拡散障壁エネルギー（Eb）の増加または相対的に高い分離傾向および減少した格子不整合が達成される（従来の界面に比べて十分な垂直磁気異方性（PMA）を維持しながら）。

10

【0032】

また、本発明の一部の実施形態によれば、DBL140は、1～10の厚さを有することができる。ビスマス（Bi）、アンチモン（Sb）、オスミウム（Os）、レニウム（Re）、スズ（Sn）、ロジウム（Rh）、インジウム（In）およびカドミウム（Cd）からなるグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含むことができる。

20

【0033】

いかなる理論にも拘束されることを望まないが、オスミウム（Os）、レニウム（Re）およびロジウム（Rh）は、自由層および酸化物層の界面に行くほどより低い分離傾向を有するが、相対的に高い拡散障壁を有すると考えられ、これは、このような要素がポストアニーリング中に蒸着された状態で残っていてもよいことを示唆する。

【0034】

代案として、ビスマス（Bi）、インジウム（In）およびカドミウム（Cd）は、より低い拡散障壁を有するが、界面側に行くほどより高い分離傾向を有すると考えられるので、ポストアニーリング中の拡散はこのような要素を界面の外に移動させる可能性がない。

30

【0035】

また、一部の実施形態で、以後に形成される酸化物キャップの安定性（およびその他特性）の可能性に基づいて、8個の要素グループ内で、ビスマス（Bi）、アンチモン（Sb）、オスミウム（Os）、レニウム（Re）およびスズ（Sn）の第1下位グループが、ロジウム（Rh）、インジウム（In）およびカドミウム（Cd）の第2下位グループに比べて選択され得、以下で詳細に説明する。DBL140の厚さの均一性はまた、DBL140の蒸着前に磁気FL128を含む中間ステージ基板を約-250～約-100の温度に冷却することによって向上することができる。

40

【0036】

DBL140に提供される図3の酸化物キャッピング層130は、2～20の厚さを有することができる。酸化マグネシウム（Mg-O）または他の酸化物からなる。

【0037】

しかし、図4の磁気抵抗トンネル接合（MTJ）メモリ素子100bにより示すように、代替の酸化物キャッピング層130'は、低い形成エネルギーと高い酸素拡散障壁を提供できる。ストロンチウム酸化物（Sr-O）、スカンジウム酸化物（Sc-O）、ベリリウム酸化物（Be-O）、カルシウム酸化物（Ca-O）、タンタル酸化物（Ta-O）、イットリウム酸化物（Y-O）、ジルコニウム酸化物（Zr-O）およびハフニウム酸化物（Hf-O）の少なくとも一つを含むことができる。

50

## 【 0 0 3 8 】

また、図 5 の磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子 1 0 0 c により示すように、図 3 および図 4 の D B L 1 4 0 は、第 1 物質の第 1 D B L 1 4 0 a と第 2 物質の第 2 D B L 1 4 0 b との積層された複合層を含むように修正することができ、これは、第 1 D B L 1 4 0 a と酸化物キャッピング層 1 3 0 ' との間に延びる。このような第 1 物質は、マグネシウム ( M g )、アルミニウム ( A l )、スカンジウム ( S c )、チタン ( T i )、バナジウム ( V ) およびクロム ( C r ) からなるグループより選ばれる物質であり得、第 2 物質は、ビスマス ( B i )、アンチモン ( S b )、オスミウム ( O s )、レニウム ( R e )、スズ ( S n )、ロジウム ( R h )、インジウム ( I n ) およびカドミウム ( C d ) の少なくとも一つを含むことができる。

10

## 【 0 0 3 9 】

いかなる理論にも拘束されることを望まないが、第 1 D B L 1 4 0 a は、(例えば、第 2 D B L 1 4 0 b の蒸着および後 - アニーリングの間に) 第 2 D B L 1 4 0 b から磁気 F L 1 2 8 への原子の外部拡散を抑制するように動作することができる。

## 【 0 0 4 0 】

以下、図 6 の磁気抵抗トンネル接合 ( M T J ) メモリ素子 1 0 0 d を参照して、図 3 ないし図 5 の酸化物キャッピング層 1 3 0 , 1 3 0 ' は、( i ) スカンジウム酸化物 ( S c - O )、ストロンチウム酸化物 ( S r - O ) およびカルシウム酸化物 ( C a - O ) からなるグループより選ばれた一つの酸化物を含むアニーリング安定性に優れた第 1 酸化物層 1 3 0 a、および ( i i ) マグネシウム酸化物 ( M g - O )、タンタル酸化物 ( T a - O ) およびハフニウム酸化物 ( H f - O ) からなるグループより選ばれた少なくとも一つの酸化物を含む優れた性能指数 ( F O M ; F i g u r e O f M e r i t ) のための第 2 酸化物層 1 3 0 b の積層された複合層を含むように修正することができ、第 1 酸化物層 1 3 0 a より厚くてもよい。

20

## 【 0 0 4 1 】

最後に、図 7 に示すように、本発明の他の実施形態によるスピン軌道トルク磁気抵抗ランダムアクセスメモリ ( S O T - M R A M ) 素子 1 0 0 e は：( i ) 上部にキャッピング層 2 5 0 を有する磁気基準層 2 2 4 (例えば、T a - N、T i - N のような窒化物)、( i i ) 磁気自由層 2 2 8、( i i i ) 磁気基準層 2 2 4 と磁気自由層 2 2 8 との間に延びるトンネリングバリア層 2 2 6、および ( i v ) 磁気自由層 2 2 8 上の拡散遮断層 2 4 0 を含む。磁気基準層 2 2 4 は、上部基準層 2 2 4 a、R u d e r m a n - K i t t e l - K a s u y a - Y o s i d a ( R K K Y ) 結合 / スペーサ層 2 2 4 b、および下部基準層 2 2 4 c の積層された複合層を含むものとして示されている。メモリ要素 1 0 0 e の一部の実施形態で、層 ( i ) ないし ( i v ) は、図 3 ないし図 6 のメモリ要素 1 0 0 a - 1 0 0 d と関連して上述したとおりに構成されることができる。

30

## 【 0 0 4 2 】

図 7 の S O T - M R A M 素子 1 0 0 e は、拡散遮断層 2 4 0 と S O T 書き込み / 読み取りライン 3 0 0 との間に延びる薄いシャント電流減少酸化物 ( S R O ) 層 2 6 0 をさらに含み、これは、相対的に高い抵抗を有して書き込みおよび読み取り作業中の図 1 b の S O T - M R A M 2 0 b のストラップ層 1 8 と同じ機能を遂行することができる。有利には、S R O 層 2 6 0 は、薄く (界面透明度を改善するために) S O T 書き込み / 読み取りライン 3 0 0 に対して相対的に高い並列抵抗を提供するので、側方向シャント電流 J c が書き込み動作中に相対的に低い抵抗自由層 2 2 8 を側方向に通過するのを遮断するようにする。拡散遮断層 2 4 0 はまた、薄い S R O 層 2 6 0 のアニーリング安定性を向上させる。

40

## 【 0 0 4 3 】

これらの実施形態の一部によれば、S R O 層は、酸化マグネシウム ( M g - O )、酸化カルシウム ( C a - O )、酸化スカンジウム ( S c - O )、酸化チタン ( T i - O )、酸化バナジウム ( V - O )、酸化鉄 ( F e - O )、酸化ニッケル ( N i - O )、酸化コバルト ( C o - O )、酸化ジルコニウム ( Z r - O )、酸化ニオブウム ( N b - O )、酸化タンタル ( T a - O )、酸化タングステン ( W - O )、酸化オスミウム ( O s - O ) からな

50

るグループより選ばれた少なくとも一つの物質を含み、約 2 ~ 約 10 範囲の厚さを有する。

【0044】

図面および明細書で、本発明の典型的な好ましい実施形態が開示されており、特定の用語が使用されているが、これらは制限のためのものでなく一般的かつ説明的な意味でのみ使用され、本発明の範囲は次の特許請求の範囲で記載されるとおりである。

【符号の説明】

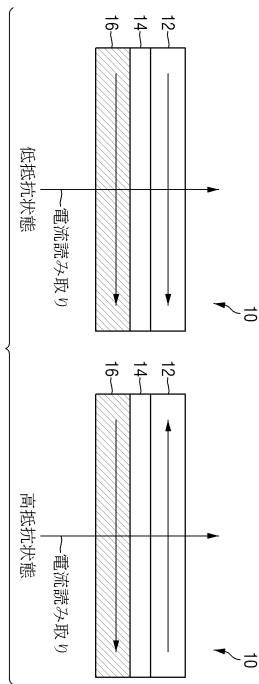
【0045】

- 100 a - 100 d 磁気抵抗トンネル接合 (MTJ) メモリ素子
- 124 磁気基準層
- 128 磁気自由層
- 126 トンネリングバリア層
- 240 拡散遮断層

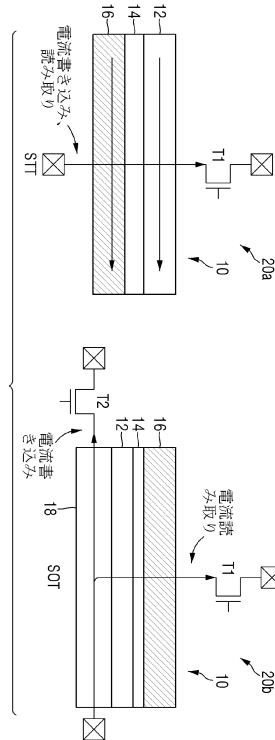
10

【図面】

【図1a】



【図1b】



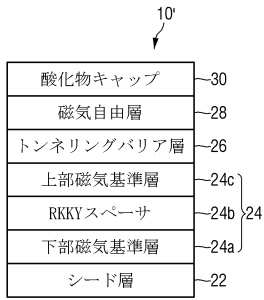
20

30

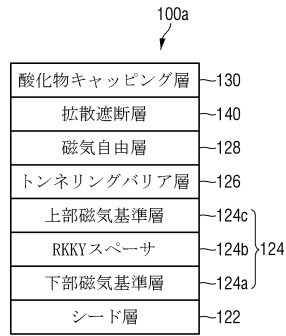
40

50

【図 2】

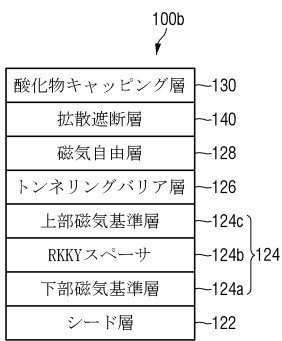


【図 3】

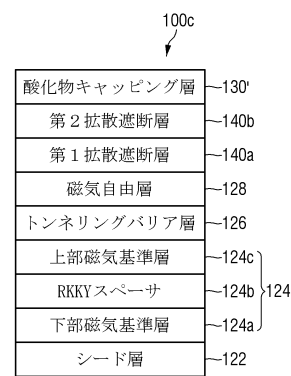


10

【図 4】

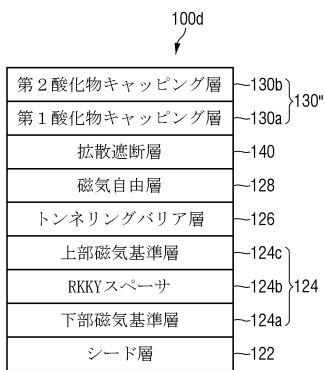


【図 5】

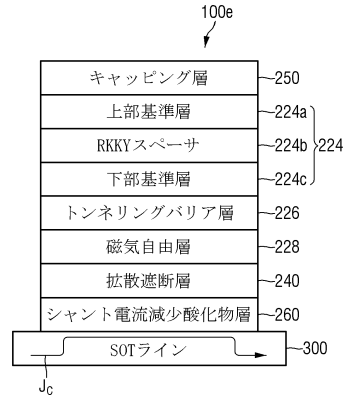


20

【図 6】



【図 7】



30

40

50

## フロントページの続き

弁理士 宮崎 修

(72)発明者 ドミトロ, アパルコフ

アメリカ合衆国 9 5 1 3 4 カリフォルニア州 サン・ノゼ ノース・1スト・ストリート 3 6 5 5

(72)発明者 ローマン, チェブルスキー

アメリカ合衆国 9 5 1 3 4 カリフォルニア州 サン・ノゼ ノース・1スト・ストリート 3 6 5 5

Fターム(参考) 4M119 BB01 CC05 CC10 DD06 DD07 DD08 DD32 EE03

5F092 AB08 AC12 AC30 AD25 AD30 BB08 BB23 BB34 BB36 BB43

BB53 BC04