

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5908882号  
(P5908882)

(45) 発行日 平成28年4月26日 (2016. 4. 26)

(24) 登録日 平成28年4月1日 (2016. 4. 1)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 43/10 (2006. 01)	HO 1 L 43/10	
HO 1 L 43/08 (2006. 01)	HO 1 L 43/08	Z
HO 1 L 43/12 (2006. 01)	HO 1 L 43/12	
G 1 1 B 5/39 (2006. 01)	G 1 1 B 5/39	
GO 1 R 33/09 (2006. 01)	GO 1 R 33/06	R
請求項の数 20 外国語出願 (全 10 頁)		

(21) 出願番号	特願2013-247176 (P2013-247176)	(73) 特許権者	500373758
(22) 出願日	平成25年11月29日 (2013. 11. 29)		シーゲイト テクノロジー エルエルシー
(65) 公開番号	特開2014-143398 (P2014-143398A)		Seagate Technology
(43) 公開日	平成26年8月7日 (2014. 8. 7)		LLC
審査請求日	平成26年8月26日 (2014. 8. 26)		アメリカ合衆国、95014 カリフォル
(31) 優先権主張番号	13/690, 532		ニア州、クパチーノ、サウス・デ・アンザ
(32) 優先日	平成24年11月30日 (2012. 11. 30)		・ブールバード、10200
(33) 優先権主張国	米国 (US)		10200 South De Anza
			Bld Cupertino CA
			95014 United States
			of America
		(74) 代理人	110001195
			特許業務法人深見特許事務所
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 磁気スタックおよび磁気素子を含む装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多層バリア構造が第 1 および第 2 の強磁性層の間に配置された磁気スタックを備える装置であって、

前記多層バリア構造は、第 1 および第 2 の合金層の間に配置された二元化合物層を有し、

二元化合物は、金属元素と、第 2 の要素とを含み、

少なくとも 1 つの合金層は、前記金属元素と、B a , S r , L i のグループから選択された第 3 の要素とを含む、装置。

【請求項 2】

前記金属元素はマグネシウムを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記第 2 の要素は酸素を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記第 2 の要素はバリウムを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記第 2 の要素はリチウムを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 2 の要素はストロンチウムを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

10

20

前記磁気スタックは、固定された基準磁化を持たない第 1 および第 2 の磁気自由層を有する三層積層体を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】

前記磁気スタックは、固定された磁化基準構造を有する当接された接合積層体を含み、前記磁化基準構造は、多層バリア構造について磁気自由層とは反対側に設けられる、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 9】

各合金層は、前記第 1 および第 2 の強磁性層の一方と、前記二元化合物層との間に配置される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 10】

前記第 1 および第 2 の合金層は同じ材料組成を有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 11】

前記二元化合物層および少なくとも 1 つの合金層は、各々共通の厚さを有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 12】

前記二元化合物層および少なくとも 1 つの合金層は、各々異なる厚さを有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 13】

前記第 1 および第 2 の合金層は異なる材料組成を有する、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 14】

多層バリア構造が、第 1 および第 2 強磁性層の間と、第 1 および第 2 の純金属層の間とに配置された磁気スタックを備え、

前記多層バリア構造は、第 1 および第 2 の合金層の間に配置された二元化合物層を有し、

二元化合物は、MgO を含み、

各合金層は、MgX を含み、X は、Ba, Sr, Li のグループから選択される、磁気素子。

【請求項 15】

各純金属層は、前記二元化合物の前記金属元素を含む、請求項 14 に記載の磁気素子。

【請求項 16】

前記二元化合物層は MgO を含み、各合金層は MgX を含み、X は Ba、Sr、および Li のグループから選択される、請求項 14 に記載の磁気素子。

【請求項 17】

少なくとも 1 つの強磁性層を有する磁気スタックの下部電極部を構成するステップと、前記下部電極部上に多層バリア構造を形成するステップとを含み、

前記多層バリア構造は、第 1 および第 2 の合金層間に配置された二元化合物層を有し、二元化合物は、金属元素と、第 2 の要素とを含み、

少なくとも 1 つの合金層は、前記金属元素と、Ba, Sr, Li のグループから選択された第 3 の要素とを含み、さらに、

前記多層バリア構造上に少なくとも 1 つの強磁性層を有する磁気スタックの上部電極部を堆積するステップを含む、方法。

【請求項 18】

前記堆積するステップに先立って、前記磁気スタックを極低温に冷却するステップをさらに含む、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記堆積するステップに先立って、前記磁気スタックを高温に加熱するステップをさらに含む、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 20】

純金属層は、前記少なくとも 1 つの合金層と、前記第 1 の強磁性層との間に配置され、前記純金属層は、アルカリ土類金属材料を含む、請求項 1 に記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

## 概要

様々な実施例は概して、高密度かつ低フォームファクタのデータ記憶環境においてデータビットを読み出すことが可能な磁気素子に向けられる。

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0002】

様々な実施例によれば、磁気データ読取部は概して、第1および第2の強磁性層の間に配置された多層バリア構造を有する磁気スタックによって少なくとも構成され得る。多層バリア構造は、第1および第2の合金層の間に配置された二元化合物層を有することができ、二元化合物は金属元素と第2の要素とを有し、少なくとも1つの合金層は、金属元素と、第2の要素とは異なる第3の要素とを有する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0003】

【図1】いくつかの実施例に従って構成され動作されるデータ記憶装置の例示的な部分のブロック図である。

【図2A】図1のデータ記憶要素において使用され得る例示的な磁気素子の磁気スタック部分を示す図である。

【図2B】図1のデータ記憶要素において使用され得る例示的な磁気素子の磁気スタック部分を示す図である。

【図3】様々な実施例に従って構成される例示的な磁気スタックの一部分を表す図である。

【図4】いくつかの実施例に従って構成される例示的な磁気スタックの一部分を示す図である。

【図5】様々な実施例に従って実行される例示的な磁気素子製造ルーチンのフローチャートを示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0004】

## 詳細な説明

今日の電子機器は、より多くのデータ記憶容量とより速いデータアクセス速度を要求しつつ物理サイズが継続的に減少してきているので、信頼性の瀬戸際付近で様々なデータ変換部品のスケーラビリティに重点が置かれている。より密なデータトラックに対応するデータビット密度の増大により、迅速にかつ正確にデータビットを検知するために磁気素子の抵抗面積積に重点が置かれている。データ読取機のための物理サイズの減少と抵抗面積積との組合せは、磁気抵抗比を信頼できないものにする微細な材料の欠陥によって支配され得る。したがって、低フォームファクタのデータ記憶装置のために抵抗面積積を最適化することは、継続的な業界の関心事である。

## 【0005】

したがって、様々な実施例は概して、第1および第2の強磁性層の間に配置された多層バリア構造を有する磁気スタックに向けられ得、多層バリア構造は、第1および第2の合金層の間に配置された二元化合物層を有し、二元化合物は金属元素と第2の要素とを有し、少なくとも1つの合金層は、金属元素と、第2の要素とは異なる第3の要素とを有する。異なる化合物を有する多層バリア構造を調整し最適化することができることで、磁気スタックについての有効バリア高さを減少させ、所与のバリア厚さについて面積抵抗を低下させることができる。最適化された多層バリア構造は、全体的なバリア厚さをさらに低下させて、より頑丈なバリア材料を用いて所定の面積抵抗値を実現することを可能にすることができる。

## 【0006】

調整されたバリア構造は、制限されない様々なデータ記憶環境に実装することができるが、図 1 は概して、様々な実施例に従って調整された磁気素子を利用することができる例示的なデータ記憶装置 100 環境の上面ブロック図を例示する。データ記憶装置 100 は、磁気記憶媒体 106 上の様々なロケーション上に作動アセンブリ 102 が変換ヘッド 104 を位置決めすることができる限定的でない構成で示され、磁気記憶媒体 106 では、格納された記憶データビット 108 が、幅 112 と、媒体 106 の記憶容量を決定する対応の面密度とで構成された所定のデータトラック 110 上に配置される。使用中に回転してエアベアリング面 (ABS) を形成する 1 つ以上のスピンドルモータ 114 への取付によって、記憶媒体 106 の動作を容易とすることができ、エアベアリング面上では、作動アセンブリ 102 のスライダ部 116 がその上を飛行して、変換ヘッド 104 を含むヘッドジンバルアセンブリ (HGA) 118 を媒体 106 の所定部分上に位置決めする。

10

#### 【0007】

変換ヘッド 104 は、それぞれ記憶媒体 106 の選択されたデータトラック 110 に対してデータをプログラムし読出すように動作する磁気書込部、磁気応答読取部、および磁気シールドなどの 1 つ以上の変換要素によって構成することができる。このように、作動アセンブリ 102 の制御された動作は、記憶媒体面上に規定されたデータトラック 110 とのトランスデューサのアライメントに対応して、データを書込み、読出し、かつ書き直す。より小さな径方向の幅 112 を有するデータトラック 110 にデータビット 108 がより高密度で位置決めされるにつれて、ヘッド 104 は確実な精度でより小さな磁束の特徴に反応しなければならず、これはヘッド 104 の部品の物理サイズが減少し、かつ、特に材料欠陥が存在する場合に問題になることがある。

20

#### 【0008】

なお、「スタック」という用語は、磁気的な読出しおよび書込みが可能な磁性および非磁性材料で構成される 1 つ以上の垂直かつ水平に整列された層とすることができる、本開示内の限定されない用語である。本願の全体にわたって、「スタック」という用語は、任意の動作環境において外部データビットに応答して外部データビットへのアクセスを提供するように構成される部品を意味するものと理解されるであろう。たとえば、まったく限定はしないが、磁気スタックは、複数のデータビット間を区別し得るデータ読出しまたは書込み構成であり得る。

#### 【0009】

図 2 A および図 2 B は、各々図 1 のデータ記憶装置 100 において使用可能な磁気スタック 130 および 150 をそれぞれ示す。図 2 A において示されるように、磁気スタック 130 は、非磁気バリア層 138 の磁気自由層 140 とは反対側に設けられる固定された磁化基準層 136 に接触する固定された磁化固定層 134 で構成される。基準層 136 が固定層 134 との交換結合によって固定磁化を維持している間は自由層 140 が外部データビットに応答するので、外部データビットを論理状態として読出すことができる。固定されたまたは自由な磁化をもたらさないが、様々な実施例においてシード層 142 およびキャップ 144 層をスタック 130 の一方側または両側に配置し得る。

30

#### 【0010】

当接された接合磁気スタック 130 の構造は、スタック 130 の磁気度および可能なデータトラック分解能を決定するシールド間間隔 146 と自由層厚さ 148 とを有することができる。しかし、基準層 136 および固定層 134 を含むことは、より小さな自由層厚さ 148、高抵抗領域、および自由層 140 と基準層 136 との間の磁気抵抗比の減少に対応することができる。それらの問題を念頭において、三層スタック 150 を用いて、当接された接合スタック 130 と比較して減少したシールド間間隔 152 およびより厚い自由層厚さ 154 でデータビットを読出し得る。

40

#### 【0011】

動作の際、三層スタック 150 は、バリア層 160 によって分離され、かつ、三層スタック 150 の外部の構造にバイアスをかけることにより磁化をデフォルトに設定する第 1 の磁気自由層 156 および第 2 の磁気自由層 158 を有する。任意の固定磁化構造をスタ

50

ック１５０からその他の場所に再配置することにより、当接された接合スタック１３０を有する固定磁化と比較して、物理サイズ１５２の減少が可能となる。たとえ三層スタック１５０がより小さく、より厚い自由層１５６および１５８を有していても、スタック１３０および１５０のバリア層１３８および１６０は、密にパックされたデータビットを正確に検知することが可能な十分な磁気抵抗比および面積抵抗をもたすのが困難となっている。

#### 【００１２】

磁気スタック１３０および１５０の双方に直面する問題の一部は、有効バリア高さ、すなわち、より具体的には、自由層１４０および１５８からバリア層１３８および１６０を横切り基準層１３６および自由層１５６へ至る、またはその逆の、トンネル電子が経る静電位である。すなわち、バリア層１３８および１６０の単一材料組成および結果として生ずる電子帯構造は、自由層１４８および１５４のサイズにかかわらず、スタック１３０および１５０の有効バリア高さを決定し、結果的にスタック１３０、１５０の面積抵抗およびトンネル磁気抵抗比を決定することができる。

#### 【００１３】

図３は、様々な実施例に従って有効バリア高さを最適化することによって所定の面積抵抗および磁気抵抗比をもたすことができる多層バリア構造１８２で調整された例示的な磁気スタック１８０の一部を表す。図２Ａおよび図２Ｂの当接された接合および三層スタックのように、多層バリア構造１８２が多様な限定的でないデータ検知積層体において利用され得るとき、強磁性層１８４および１８６がバリア構造１８２を挟み、全体として空間コンテキストをもたす。

#### 【００１４】

多層バリア構造１８２は、二元化合物層１８８が第１の合金層１９０および第２の合金層１９２の間に配置され、第１の合金層１９０および第２の合金層１９２に接触して構成される。様々な実施例は、二元化合物を、異なる材料と組み合わせられたアルカリ土類金属として構成し、体心立方体などの所定の格子構成と、トンネル電子によって見られる静電バリア高さを決定する所定の仕事関数とをもたす。

#### 【００１５】

第１の限定的でない実施例では、二元化合物層は酸化マグネシウムを含み、高い信号対雑音比および検出電子機器との適合性をもたすことができる。ＭｇＯの使用は銅などの純粋な非磁性バリア層に対する構造上および動作上の利点をもたすことができる一方、二元化合物層１８８中の金属材料の合金で各々構成される合金層１９０および１９２を二元化合物層１８８の両側に配置することにより、所定の格子構成および仕事関数を促進して強磁性層１８４および１８６の間の有効バリア高さを低くすることを助けることができる。

#### 【００１６】

合金層１９０および１９２の材料組成は、いくつかの実施例では、Ｍｇなどの二元化合物層１８８の金属材料と一致するように選択され、かつ、その金属材料よりも低い仕事関数を有する第２の材料と組み合わせられ得る。以下の式１および様々な要素の仕事関数特性に基づき、合金層１９０および１９２を調整して有効バリア高さを低くすることができる。

#### 【００１７】

【数 1】

$$\varphi_{AB} = \varphi_A + \left( \frac{1.41}{d_A} \right) \left[ \frac{(2\varphi_A - \varphi_B - .34)}{(\varphi_A + \varphi_B - .68)} \right] \quad \text{式 1}$$

式中、 $\varphi_A$ はより小さな仕事関数特性を有する要素の仕事関数であり、 $\varphi_B$ はより大きな仕事関数特性を有する要素であり、 $d_A$ は共有結合の強度である。いずれかの要素を用いて合金層 190 および 192 を形成することができるが、Mg 単独よりも低い仕事関数特性を有することと二元合金の形成し易さにより、式 1 から、二元化合物層 188 に見られるアルカリ土類金属と組合わせられる候補としてバリウム、リチウムおよびストロンチウムが得られる。

10

【0018】

その 3 つの有望な要素は、より低い酸化物バリア高さおよび結晶構造を有する酸化物として形成されると、MgO よりも低い電子バンドギャップをさらにもたらしことができ、二元化合物層 188 の実効バンドギャップを減少させることができる。3 つの要素の各々のさらに別の局面は、二元化合物層中に拡散する代わりにホウ素が各要素と接合し得ることであり、それにより、バリア構造 182 を横切って強磁性結合を低減させるための手段をもたらしことができる。このように、様々な実施例は、二元化合物層 188 の厚さ 198 と一致してもよいし一致しなくてもよい厚さ 194 および 196 をそれぞれ有する、MgBa、MgLi または MgSr のバリア構造 182 の合金層 190 および 192 を形成して、所定の面積抵抗をもたらし。

20

【0019】

なお、第 1 の合金層 190 が MgBa で構成され得、第 2 の合金層 192 が MgSr で形成されるので、合金層 190 および 192 は、一致する材料組成を有する必要はない。そのような種々の調整能力により、広範囲にわたるデータ記憶環境に向けた正確な面積抵抗と有効バリア高さ調整とを可能にすることができる。合金層 190 および 192 を二元化合物層 188 のいずれかの側に配置することと、合金層 190 および 192 の材料組成とによって、面積抵抗の減少がもたらされ得るが、磁気抵抗比の低下を被ることがある。少なくとも部分的に 0.5 ~ 2 ( .5 2 ) などの最小厚さと、無線周波数スパッタリングのような堆積手段とにより、合金層 190 および 192 は所定の組織および格子構造を取らない場合があるためである。

30

【0020】

そのような問題から、合金層 190 および 192 の両側への純金属層の付加は避けられ得る。図 4 は、組織化されたシード要素およびキャップ要素として純金属層 214 を用いて、合金層 216 および二元化合物層 218 について所定の組織および格子整合を確実にする多層バリア構造 212 を有する例示的な磁気スタック 210 の一部分を示す。純金属層 214 の付加は、二元化合物層 218 および合金層 216 において均等に用いられるアルカリ土類金属（つまり Mg）と同様または異なる材料の形態とすることができる。しかしながら、いくつかの実施例は、純金属層 214 ならびに合金層 216 および二元化合物層 218 の一部として、Cu などの金属を均等に用いる。

40

【0021】

純金属層 214 の厚さ 220 および材料にかかわらず、強磁性層 222 と合金層 216 との間の層 214 の位置は、バリア構造 212 と強磁性層 222 との界面に金属材料を配置して面積抵抗の減少と大きな磁気抵抗比とをもたらし。合金層の厚さ 224 および二元化合物層の厚さ 226 とともに金属層の厚さ 220 を調整して、強磁性層 222 同士の上に所定の多層の厚さをもたらしすることができる。いくつかの実施例では、多層バリア構造 212 の各層は、2 などの同じ厚さを実質的に有するが、他の実施例では、純金属層 214 および合金層 216 は二元化合物層 218 の厚さ 226 より小さな厚さ 220 および 224 を有する。

【0022】

50

多層バリア構造 2 1 2 の様々な層をそれぞれの材料および厚さに調整することができることによって、電子トンネル接合の面積抵抗について要求を満たした最適化が可能となる。そのような調整はいつでもすることができ、所定の製造ルーチンに準拠し得る。図 5 は、様々な実施例に従って行われるまさにそのような磁気素子製造ルーチン 2 4 0 を示す。必須または限定的ではないが、下部電極材料をステップ 2 4 2 で最初に堆積してもよく、磁気シールドなどの強磁性層を少なくとも含んでもよく、さらにシード層を含んでもよい。

#### 【 0 0 2 3 】

下部電極材料が形成されると、磁気素子がどのようにして構成されるかについての選択ルーチン 2 4 0 が進められる。ステップ 2 4 4 は、上部および底部電極が強磁性自由層であり、スタックが固定磁化を有さず、代わりにエアベアリング面の遠位のサイドシールドまたはバイアス磁石のような外部バイアス構造を有する三層スタック積層体の形成に対応する。したがって、ステップ 2 4 6 は、下部電極上に第 1 の強磁性自由層を形成する。一方、ステップ 2 4 8 における当接された接合スタックを形成する選択は、ステップ 2 4 6 ではなくステップ 2 5 0 に進み、強磁性基準層に結合された磁性ピン層などの固定された基準構造を形成する。

#### 【 0 0 2 4 】

磁気素子の下方部分がステップ 2 4 2 とステップ 2 4 6 または 2 5 0 のいずれかから構成された状態で、判断 2 5 2 は、純金属層を挿入すべきか否かを判定する。純金属層が多層バリア構造の強磁性層と合金層との間に配置されるべきである場合、ステップ 2 5 4 は、所定厚さを有する、Mg などの所定材料の第 1 の純金属層を堆積する。磁気素子に純金属層を含めないことを選択するかまたは第 1 の純金属層の堆積が終了すると、ルーチン 2 4 0 はステップ 2 5 6 に進み、MgO などの二元化合物層の両側に接触する、MgX などの合金層で多層バリア構造を形成する。ここで X は Ba、Li、または Sr である。

#### 【 0 0 2 5 】

様々な限定的でない実施例によって、合金層は MgO で形成され、MgO は、MgO として堆積され得るか、または酸素存在下で堆積してもよいし堆積しなくてもよい Mg 層の酸化によって形成され得る。いずれかの技術の生成物は MgO の薄い層であり、MgO は、所定厚さおよび組織に調整されて、二元化合物層を MgBa、MgLi または MgSr とし、かつ、所定の面積抵抗に一致する格子構成、結晶構造および仕事関数を有することを可能にする。ステップ 2 5 6 における多層バリア構造の形成に続いて、ステップ 2 5 8 は、判断 2 5 2 において金属層が選択された場合に第 2 の純金属層を堆積する。第 2 の純金属層が堆積されたとしても堆積されなかったとしても、ステップ 2 6 0 は、強磁性自由層、キャップ層、および磁気シールドなどの上部電極材料を多層バリア構造上に形成して、磁気素子を完成させる。

#### 【 0 0 2 6 】

ステップ 2 6 0 における上部電極材料の堆積に先立ち、様々な実施例は、温度処理を変更することによって多層バリア構造を調整することができる。すなわち、スタックを 50 K などの極低温に露出して、および / または現場の高温に露出して、多層バリア構造の材料を反応させ、所定の面積抵抗、仕事関数、および有効バリア高さを生じさせることができる。

#### 【 0 0 2 7 】

ルーチン 2 4 0 の様々なステップおよび判断によって、様々な材料および厚さに調整された最適化されたバリア構造で磁気素子を作成することができる。しかし、限定されない様々な処理をルーチン 2 4 0 に追加することができるので、ルーチン 2 4 0 は図 5 に示されるステップおよび判断に限定されないが、既存の局面のいずれかを自由に変更し削除することができる。たとえば、熱 / 冷却処理を多層バリア構造に対して行うべきかどうかを判定する判断をステップ 2 6 0 の前に含めることができる。

#### 【 0 0 2 8 】

調整し最適化し得る広範な磁気スタック機能により、有効バリア高さおよび面積抵抗を

10

20

30

40

50

低減した磁気素子を作成することができる。合金および二元化合物層の双方についてアルカリ土類金属の組合せを適切に選択すると、バリアの物理サイズの減少にかかわらず、大きな磁気抵抗比を実現することが可能となる。また、同じ起源の金属元素を有する合金層および二元化合物層の仕事関数が低くなるにつれて、有効バリア高さを増大させずにより頑強なトンネルバリアがもたらされ得る。さらに、実施例は磁気検知に向けられているが、データ記憶装置用途を含むあらゆる他の用途において、クレームに記載の発明を容易に利用することができると認識されるであろう。

#### 【 0 0 2 9 】

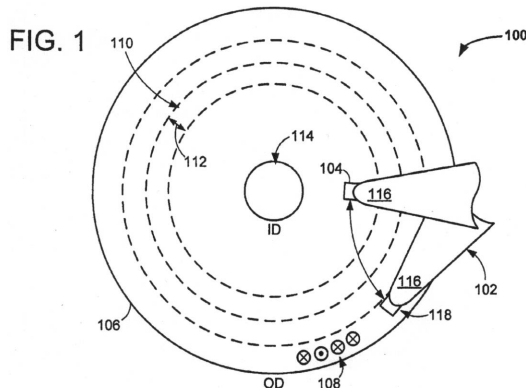
本開示の様々な実施例の多くの特徴および利点が上記の説明において様々な実施例の構造および機能の詳細と共に記載されたが、この詳細な説明は例示に過ぎず、添付の請求項が表現されている用語の広い一般的な意味で示される最大限の範囲まで、本開示の原理内における細部、特に部品の構造および配置の事柄において変更が行われ得ることが理解されるべきである。たとえば、本技術の精神および範囲から逸脱することなく特定用途に依存して特定の要素を変動させ得る。

#### 【 符号の説明 】

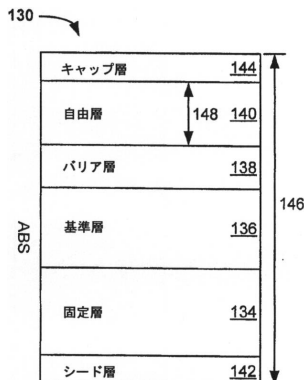
#### 【 0 0 3 0 】

180 磁気スタック、182 多層バリア構造、184 強磁性層、186 強磁性層、188 二元化合物層、190 第1の合金層、192 第2の合金層、194, 196, 198 厚さ。

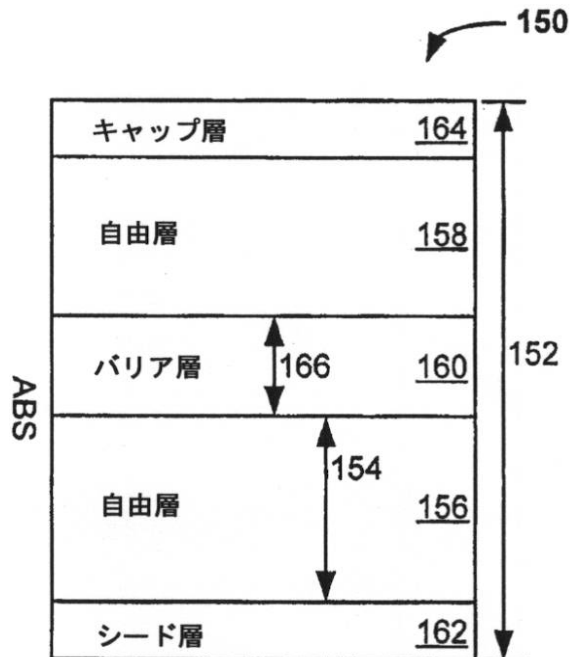
【 図 1 】



【 図 2 A 】



【 図 2 B 】





【図 3】

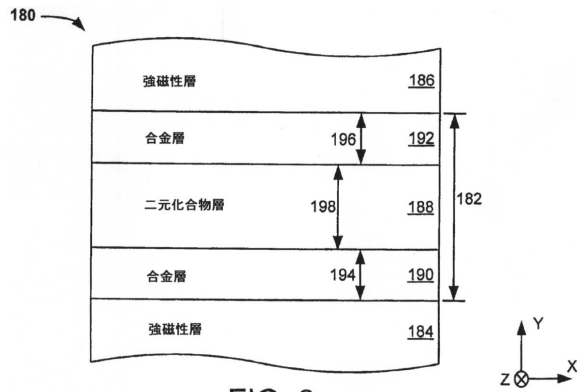


FIG. 3

【図 4】

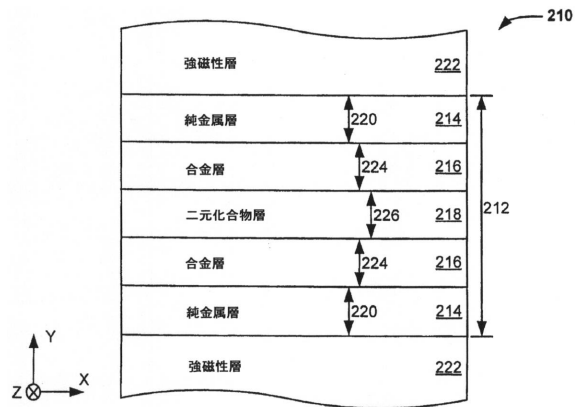


FIG. 4

【図 5】

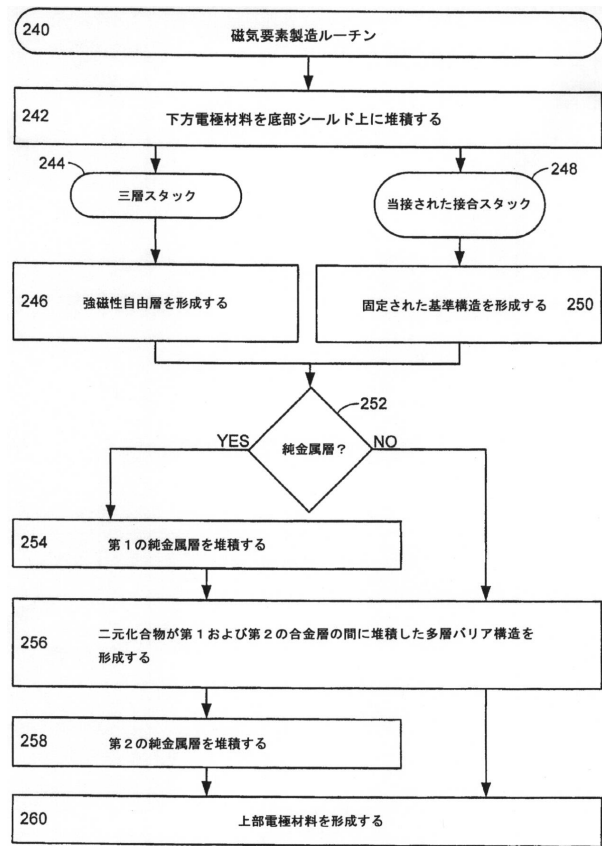


FIG. 5

---

フロントページの続き

(72)発明者 ビジャイ・カルティック・サンカル

アメリカ合衆国、55435 ミネソタ州、エディナ、ヨーク・アベニュー・サウス、7201

(72)発明者 マーク・ウィリアム・コピントン

アメリカ合衆国、55410 ミネソタ州、エディナ、アボット・アベニュー・サウス、5916

審査官 境 周一

(56)参考文献 特開2012-142555(JP, A)

米国特許出願公開第2012/0164484(US, A1)

特開2010-109319(JP, A)

米国特許出願公開第2005/0173698(US, A1)

特開2008-117953(JP, A)

米国特許出願公開第2008/0106827(US, A1)

特開2008-124173(JP, A)

米国特許出願公開第2008/0112096(US, A1)

特開2002-319112(JP, A)

米国特許出願公開第2002/0135954(US, A1)

特開2010-092579(JP, A)

米国特許出願公開第2010/0085666(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/10 - 27/118; H01L 27/22

H01L 29/82

G11C 11/00 - 11/16

H01L 43/00 - 43/14