

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5852350号  
(P5852350)

(45) 発行日 平成28年2月3日(2016.2.3)

(24) 登録日 平成27年12月11日(2015.12.11)

(51) Int.Cl.

G 11 B 5/65 (2006.01)

F 1

G 11 B 5/65

請求項の数 20 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2011-164098 (P2011-164098)  
 (22) 出願日 平成23年7月27日 (2011.7.27)  
 (65) 公開番号 特開2012-33257 (P2012-33257A)  
 (43) 公開日 平成24年2月16日 (2012.2.16)  
 審査請求日 平成26年4月1日 (2014.4.1)  
 (31) 優先権主張番号 12/847,745  
 (32) 優先日 平成22年7月30日 (2010.7.30)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500373758  
 シーゲイト テクノロジー エルエルシー  
 アメリカ合衆国、95014 カリフォルニア州、クパチーノ、サウス・ディ・アンザ・ブールバード、10200  
 (74) 代理人 110001195  
 特許業務法人深見特許事務所  
 (72) 発明者 トマス・パトリック・ノーラン  
 アメリカ合衆国、94539 カリフォルニア州、フリーモント、イースト・ウォレン・アベニュー、279  
 (72) 発明者 ハンス・ジェイ・リヒター  
 アメリカ合衆国、94301 カリフォルニア州、パロ・アルト、バイロン・ストリート、1437

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】磁気層および交換ブレーク層を含む装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

装置であって、

第1の磁気異方性場 $H_{k1}$ を有する第1の磁気層と、

第1の磁気層上に形成される第1の交換ブレーク層と、

第1の交換ブレーク層上に形成される第2の磁気層とを備え、第2の磁気層は第2の磁気異方性場 $H_{k2}$ を有し、さらに

第2の磁気層上に形成される第2の交換ブレーク層と、

第2の交換ブレーク層上に形成される第3の磁気層とを備え、第3の磁気層は第3の磁気異方性場 $H_{k3}$ を有し、 $H_{k1} - H_{k2}$ は $H_{k2} - H_{k3}$ よりも小さく、前記第3の磁気層上に形成される、連続する粒状複合(CGC)層をさらに備え、前記粒状複合層および前記第3の磁気層は、交換結合複合層構造を備え、前記交換結合複合層構造は、前記第1および第2の磁気層上に、厚さ重み付きの平均磁気異方性場 $H_{k3.4}$ を有し、前記連続する粒状複合(CGC)層は、Pt含有量Pt4を有し、Pt4は、前記第3の磁気層のPt含有量Pt3よりも大きい、装置。

【請求項 2】

第1の比 $H_{k2} / H_{k1}$ は第2の比 $H_{k3} / H_{k2}$ よりも大きい、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記第1の比は、約0.6よりも大きい、請求項2に記載の装置。

【請求項 4】

10

20

前記第1の比は、約0.9よりも大きい、請求項2に記載の装置。

【請求項5】

前記第1の比は、約1.0よりも大きい、請求項2に記載の装置。

【請求項6】

第1の磁気層はあるPt含有量Pt1を有し、これは約18at.%および約22at.%の間にあり、第2の磁気層はあるPt含有量Pt2を有し、これは約14at.%および約18at.%の間にあり、第3の磁気層はあるPt含有量Pt3を有し、これは約14at.%未満であり、Pt1-Pt2はPt2-Pt3よりも小さい、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の装置。

【請求項7】

10

前記第1の磁気層は、第1の磁気材料と第1の酸化物とを有する第1の粒状磁気層を含み、前記第2の磁気層は、第2の磁気材料と、第2の酸化物とを有する第2の粒状磁気層を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項8】

前記連続する粒状複合層は、磁気異方性場H<sub>k4</sub>を有し、H<sub>k4</sub>はH<sub>k3</sub>よりも大きい、請求項1に記載の装置。

【請求項9】

H<sub>k1</sub>は、約16kOeと約24kOeとの間にある、請求項1に記載の装置。

【請求項10】

20

H<sub>k2</sub>は、約12kOeと約24kOeとの間にある、請求項9に記載の装置。

【請求項11】

H<sub>k3</sub>は、約15kOe未満である、請求項10に記載の装置。

【請求項12】

H<sub>k1</sub>は、約20kOeと約22kOeとの間にあり、H<sub>k2</sub>は、約17kOeと約20kOeとの間にあり、H<sub>k3</sub>は、約9kOeと約14kOeとの間にあり、請求項1に記載の装置。

【請求項13】

第1の磁気層、第2の磁気層、および第3の磁気層の少なくとも1つは、Co合金、Co合金およびPt合金の交互に重なった層、またはCo合金およびPd合金の交互に重なった層の少なくとも1つを有する、請求項1に記載の装置。

30

【請求項14】

Pt4は、約14at.%より大きい、請求項1に記載の装置。

【請求項15】

H<sub>k2</sub>は、H<sub>k1</sub>よりも大きい、請求項1に記載の装置。

【請求項16】

前記第2の磁気層は、磁気異方性エネルギーK<sub>u2</sub>を有し、第1の磁気層は、第1の磁気異方性エネルギーK<sub>u1</sub>を有し、K<sub>u2</sub>はK<sub>u1</sub>よりも小さい、請求項15に記載の装置。

【請求項17】

前記連続する粒状複合層は、CoCrPtB合金を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項18】

40

前記CoCrPtB合金は、Ru、W、またはNbでドープされている、請求項17に記載の装置。

【請求項19】

前記連続する粒状複合層は、実質的な量の酸化物を含まない、請求項1に記載の装置。

【請求項20】

装置であって、

第1の磁気異方性場H<sub>k1</sub>と、第1の磁気異方性エネルギーK<sub>u1</sub>とを有する第1の磁気層と、

第1の磁気層上に形成される第1の交換ブレーク層と、

第1の交換ブレーク層上に形成される第2の磁気層とを備え、第2の磁気層は第2の磁

50

気異方性場  $H_{k2}$  と第 2 の磁気異方性エネルギー  $K_{u2}$  を有し、  $H_{k2}$  は  $H_{k1}$  よりも大きく、  $K_{u2}$  は  $K_{u1}$  よりも小さく、

第 2 の磁気層上に形成される第 2 の交換ブレーク層と、

第 2 の交換ブレーク層上に形成される第 3 の磁気層とをさらに備え、第 3 の磁気層は第 3 の磁気異方性場  $H_{k3}$  を有し、  $H_{k1} - H_{k2}$  は  $H_{k2} - H_{k3}$  よりも小さく、

前記第 3 の磁気層上に形成される、連続する粒状複合層をさらに備え、前記粒状複合層および前記第 3 の磁気層は、交換結合複合層構造を備え、前記交換結合複合層構造は、前記第 1 および第 2 の磁気層上に、厚さ重み付きの平均磁気異方性場  $H_{k34}$  を有する、交換結合複合効果を発現させるように構成される、装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

発明の詳細な説明

技術分野

本発明は磁気層および交換ブレーク層を含む装置に関する。

【図面の簡単な説明】

【0002】

【図 1】ハードディスクドライブの概略図である。

【図 2】連続する段階的組成を含む磁気記録層における磁気異方性対硬質層からの距離のグラフ図である。

20

【図 3】第 1 の磁気層、第 1 の交換ブレーク層、第 2 の磁気層、第 2 の交換ブレーク層および第 3 の磁気層を有する記録層を含む記録媒体スタックの一例を示す概略ブロック図である。

【図 4 A】本開示に従う複数の記録層における磁気異方性対磁気層の例示的グラフ図である。

【図 4 B】本開示に従う複数の記録層における磁気異方性対磁気層の例示的グラフ図である。

【図 4 C】本開示に従う複数の記録層における磁気異方性対磁気層の例示的グラフ図である。

【図 4 D】本開示に従う複数の記録層における磁気異方性対磁気層の例示的グラフ図である。

30

【図 4 E】本開示に従う複数の記録層における磁気異方性対磁気層の例示的グラフ図である。

【図 5 A】 $n$  枚の磁気層と  $n - 1$  枚の交換ブレーク層とを交互に含む磁気記録層の一例を示す概略ブロック図である。

【図 5 B】 $n$  枚の磁気層と  $n - 1$  枚の交換ブレーク層とを交互に含む磁気記録層の一例を示す概略ブロック図である。

【図 6】磁気記録層を形成するための技術の一例を示すフロー図である。

【図 7 A】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのスイッチング保磁力等高線図である。

40

【図 7 B】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのエネルギーバリア減少等高線図である。

【図 8 A】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのスイッチング保磁力等高線図である。

【図 8 B】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのエネルギーバリア減少等高線図である。

【図 9 A】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのスイッチング保磁力等高線図である。

【図 9 B】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのエネルギーバリア減少等高線図である。

50

【図10A】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのスイッチング保磁力等高線図である。

【図10B】本開示に従い構成された磁気記録層の一例についてのエネルギーバリア減少等高線図である。

【発明を実施するための形態】

【0003】

詳細な説明

図1は本開示の一局面に従う、磁気記録媒体を含む磁気ディスクドライブ10の一例を示す。ディスクドライブ10はベース12と、一部が切取られて示されるトップカバー14とを含む。ベース12はトップカバー14と結合して、ディスクドライブ10のハウジング16を形成する。ディスクドライブ10はさらに1つ以上の回転可能磁気記録媒体18を含む。磁気記録媒体18はスピンドル14に接続され、中央軸を中心として媒体18を回転させるよう動作する。磁気記録および読み取りヘッド22は、磁気記録媒体18に隣接している。アクチュエータアーム20は磁気記録および読み取りヘッド22を磁気記録媒体18と通信するよう運ぶ。

【0004】

磁気記録媒体18は、磁気記録層において磁気的に配向されるビットとして情報を記憶する。磁気読み出し/書き込みヘッド22は、磁気記録媒体18上の磁気記録層の個々のドメインを磁化するのに十分な磁場を生成する記録(書き込み)ヘッドを含む。磁気記録層のドメインのパターンはデータのビットを表わし、磁化配向の変化は1を表わす。0は、ビット長の約2倍の一定磁化を含む領域によって表わされる。磁気記録および書き込みヘッド22はさらに読み取りヘッドを含み、読み取りヘッドは磁気記録層の個々の磁気ドメインの磁場を検出することができる。

【0005】

垂直磁気記録媒体は、磁気記録層において垂直磁気異方性場( $H_k$ )を有し、磁気記録層の面に対して実質的に垂直な方向で形成される磁化を有する磁気記録媒体18である。垂直磁気記録媒体は磁気記録システムで用いることができる。垂直磁気記録媒体は、多結晶CoCrまたはCoPt酸化物含有磁気記録層で製造され得る。多結晶磁気記録層におけるCoリッチな領域は強磁性であるのに対して、Crまたは酸化物がリッチな領域は、多結晶磁気記録層において近接する粒界を形成し、非磁性である。隣接する強磁性粒子間の横方向の磁気交換結合は、粒子間の非磁性領域によって減衰される。

【0006】

ディスクドライブ10のような磁気データ記憶装置での進歩は、主に装置の記憶容量の増加による、すなわち磁気記録媒体18の面記録密度(平方インチ当たりのギガビット(Gb/in<sup>2</sup>))によって表わされる)による。より小さい平均粒径の磁気記録媒体18は、磁気記録媒体の面記録密度を増加させ得る。

【0007】

高密度垂直磁気記録媒体は、磁気記録層におけるいくつかの磁気特性のバランスによって利益を享受し得る。これは、熱的安定のための高い磁気異方性、磁気記録ヘッドによる記録層を書き込みやすくするための低いスイッチング磁場、磁性粒子または塊間で小さい相関長を維持するための、磁性粒子間での十分に低い横磁気交換結合、狭スイッチング場分布(SFD)を維持するための、磁性粒子間の十分に高い横磁気交換結合、および熱的安定性を維持しつつSFDを最小化するための、粒子間の十分に均一な磁気特性を含む。

【0008】

面記録密度が増加するにつれ、より小さい平均径の磁性粒子を用いて、記録されるビットでの同じ値の磁性粒子数を維持できる。しかし、平均粒径が減少するにつれ、磁気記録媒体の磁気的安定性がより大きな関心事となる。

【0009】

磁性粒子は磁気異方性エネルギーによりその磁気配向を維持し、これは粒子体積( $K_u V$ であって、 $K_u$ は単位体積当たりの磁気異方性エネルギーであり、Vは体積である)に比例す

る。磁気異方性エネルギーは熱エネルギー変動と競合し、粒子の磁化を任意に再配向させることになる。熱エネルギー変動は磁気記録層の温度に依存する ( $k_B T$ 、ここで  $k_B$  はボルツマン定数であり、 $T$  は温度である)。磁気異方性エネルギー対熱エネルギーの比 ( $K_u V / kT$ ) はエネルギーバリアと呼ばれ、粒子の磁気的安定性の度合いを示すものであり、それぞれの粒子の体積に比例する。したがって、粒径 (粒子の体積) を減少させると面密度は増加するが、単位体積当たり同じ磁気異方性エネルギー  $K_u$  を有する粒子については熱安定性が減少する。 $K_u$  は単位体積当たりの磁気異方性エネルギーを表わすが、以降  $K_u$  は簡単にするために磁気異方性エネルギーと呼ぶことにする。

#### 【0010】

平均粒径の減少による熱的安定性の減少を克服する1つの方法は、磁性粒子の平均異方性磁場  $H_k$  を増加させることである ( $H_k = 2 K_u / M_s$ 、ここで  $M_s$  は材料の飽和磁化である)。より高い磁気異方性場を有する磁性粒子は、一般により高い磁気異方性エネルギー  $K_u$  を有し、より低い磁気異方性場を有する同様のサイズの粒子よりも熱的に安定している。しかし、粒子の平均磁気異方性場を増加させることは、粒子の磁気配向を変えるために用いられる磁場をも増加させ得るので、データを記録するために用いられる磁場を増加させることになる。

#### 【0011】

ここで記載されるのは磁気記録層用の交換結合複合 (ECC) 構造であり、磁気記録層へのデータの書き込みを容易にしながら受入可能な値以上で磁気記録層の熱的安定性 (すなわち、エネルギーバリア) を維持する。一部の実施の形態において、ここに記載される ECC 構造は、他の磁気記録層と比較して、磁気記録層へのデータの書き込みを容易にし、かつ記録層の熱的安定性を上げる。

#### 【0012】

提案している一部の ECC 構造では、磁気記録層は連続する段階的な材料からなる (たとえば、磁気記録層の組成は実質的に連続して変わり、別個の副層には分けられない)。このような連続する段階的 ECC 構造では、磁気記録層の磁気異方性が、最も高い異方性部分からの距離の二乗に比例して減少するような ( $H_k a l / x^2$ ;  $x$  は最も高い異方性部分からの距離)、組成勾配を選択することが提案されている。すなわち、磁気記録層の磁気異方性は、磁気記録層の高い異方性部分内および近くではより迅速に減少し、高い異方性部分からの距離が増加するにつれより遅く減少するべきである。これは図 2 に示されるように、磁気異方性対磁気記録層での位置のグラフでは凹形状をもたらす。このような  $H_k a l / x^2$  磁気異方性勾配が提案されている例では、磁気記録層の最も高い異方性部分は、記録層の残りのより低い異方性部分の働きがなくても熱的に安定している。

#### 【0013】

図 1 に示される磁気記録媒体 18 は、本開示に従う ECC 記録層構造を含む。本開示に従う ECC 記録層の一実施の形態の概略ブロック図は図 3 に示される。図 3 に示される磁気記録媒体 18 は、基板 32、軟質下地層 (SUL) 34、第 1 の中間層 36、第 2 の中間層 38、垂直記録層 40、および保護オーバコート 54 を含む。

#### 【0014】

基板 32 は磁気記録媒体で用いるのに適するどのような材料をも含むことができ、たとえば Al、NiP 被覆 Al、ガラス、またはセラミックガラスを含む。

#### 【0015】

図 2 には示されていないが、一部の実施の形態において、さらなる下地層が基板 32 のすぐ上にあってもよい。このさらなる下地層は非晶質であって、基板に接着性を与え、表面粗さを小さくする。

#### 【0016】

軟質下地層 (SUL) 34 は基板 32 (または、ある場合はさらなる下地層) 上に形成される。SUL 34 は十分な飽和磁化 ( $M_s$ ) および低い磁気異方性場 ( $H_k$ ) を有するいずれかの軟質磁性材料であり得る。たとえば、SUL 34 は Ni、Co、Fe のような非晶質の軟質磁性材料、NiFe (パーマロイ)、FeSiAl もしくは FeSiAlN の

10

20

30

40

50

ようなFe含有合金、CoZr、CoZrCr、もしくはCoZrNbのようなCo含有合金、またはCoFeZrNb、CoFe、FeCoBもしくはFeCoCのようなCoFe含有合金であり得る。

【0017】

第1の中間層36および第2の中間層38を用いてHCP(六方密構造)結晶配向をもたらすことができ、これは第1の磁気層42のHCP(0002)成長を引起し、膜面に対して垂直の磁化容易軸を有する。

【0018】

たとえばダイヤモンド状炭素のような保護オーバコート54を、垂直記録層40上に形成することができる。別の例として、保護オーバコート54は水素または窒素をさらに含む非晶質の炭素層を含み得る。図3には示されていないが、一部の実施の形態において、潤滑層を保護オーバコート54上に形成することができる。

10

【0019】

垂直記録層40は第2の中間層38上に形成でき、第1の磁気層42、第1の交換ブレーク層44、第2の磁気層46、第2の交換ブレーク層48、第3の磁気層50、および任意にCGC層52を含むことができる。第1の磁気層42は第1の磁気異方性場 $H_{k1}$ を有する。第2の磁気層46は第2の磁気異方性場 $H_{k2}$ を有する。第3の磁気層50は第3の磁気異方性場 $H_{k3}$ を有する。第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の各々の磁気異方性は、記録層40の面に対して実質的に垂直な方法で配向される(たとえば、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の各々の磁化容易軸は、記録層40の面に対して実質的に垂直であり得る)。第1の交換ブレーク層44を用いて、第1の磁気層42と第2の磁気層46との間の縦交換結合を調整することができる。第2の交換ブレーク層48を用いて、第2の磁気層46と第3の磁気層50との間の縦交換結合を調整することができる。一部の例において、磁気記録層40はさらなる交換ブレーク層および磁気層(たとえば、n枚の磁気層およびn-1枚の交換ブレーク層)を含むことができる。

20

【0020】

第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の各々は粒状であってもよく、非磁性材によって隣接する磁性粒子と実質的に分離される磁性粒子を含み得る。一部の実施の形態において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つは、Co合金、たとえば、Coと、Cr、Ni、Pt、Ta、B、Nb、O、Ti、Si、Mo、Cu、Ag、Ge、またはFeの少なくとも1つとの組合せを含み得る。一部の実施の形態において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つは、たとえばFe-Pt合金またはSm-Co合金を含み得る。一部の実施の形態において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つは、Co合金およびPt合金の薄膜層を交互に、またはCo合金およびPd合金の薄膜層を交互に含み得る。一部の実施の形態において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つにおいて粒子を分離している非磁性材は、磁性粒子を分離する酸化物、たとえば $SiO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $CoO$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ の酸化物を含み得る。別の実施の形態において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つにおいて粒子を分離している非磁性材は、Cr、B、Cまたは他の非強磁性体を含み得る。

30

【0021】

一部の例において、第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50の少なくとも1つは、Co-Pt合金を含んでもよい。層42、46および50の磁気異方性場を制御する1つの方法は、それぞれの層のPt含有量を制御することである。たとえば、より大きいPt含有量を有する磁気層は、より低いPt含有量を含む磁気層よりも高い磁気異方性場を有し得る。一部の例において、高い磁気異方性場の層は約18at.%を超えるPtを含み得る。本開示の一部の例に従い、 $H_k$ 勾配は第1の磁気層42、第2の磁気層46および第3の磁気層50のPt含有量によって規定され得る。すなわち、一部

40

50

の例において  $Pt_1 - Pt_2 < Pt_2 - Pt_3$  であり、  $Pt_1$  は第 1 の磁気層 4 2 の Pt 含有量、  $Pt_2$  は第 2 の磁気層 4 6 の Pt 含有量、  $Pt_3$  は第 3 の磁気層 5 0 の Pt 含有量である。一部の実施の形態において  $Pt_1$  は約 18 at. % および約 22 at. % の間にあり、  $Pt_2$  は約 14 at. % および約 18 at. % の間にあり、  $Pt_3$  は約 14 at. % 未満であり、  $Pt_1 - Pt_2 < Pt_2 - Pt_3$  である。

#### 【0022】

第 1 の交換ブレーク層 4 4 および第 2 の交換ブレーク層 4 8 の各々は相対的に低い飽和磁化 ( $M_s$ ) の材料を含む。たとえば、第 1 の交換ブレーク層 4 4 および第 2 の交換ブレーク層 4 8 の少なくとも一方は  $Co_xRu_{1-x}$  合金を含み得る。別の例として、第 1 の交換ブレーク層 4 4 および第 2 の交換ブレーク層 4 8 の少なくとも一方は、ルチウムを含むまたは本質的にルチウムからなる。ここで用いられる「本質的に～からなる」は、層がその指定された材料からなるが、その指定された材料で生成された不純物、または隣接する層からその層に拡散された他の素子もしくは材料をも含み得ることを意味する。第 1 の交換ブレーク層 4 4 または第 2 の交換ブレーク層 4 8 が  $Co_xRu_{1-x}$  合金を含む例では、ブレーク層 4 4 または 4 8 は約 3 nm 未満の厚さを有し得る。第 1 の交換ブレーク層 4 4 および第 2 の交換ブレーク層 4 8 が本質的に Ru からなる例では、ブレーク層 4 4 または 4 8 はより薄く、たとえば約 3 未満であり得る。

#### 【0023】

Ru または  $Co_xRu_{1-x}$  合金に加えて、第 1 の交換ブレーク層 4 4 および / または第 2 の交換ブレーク層 4 8 は非磁性酸化物、たとえば  $SiO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $CoO_2$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$  を任意に含むことができる。この非磁性酸化物は、後で行なわれる第 1 の交換ブレーク層 4 4 上の粒状の第 2 の磁気層 4 6 の生成、または第 2 の交換ブレーク層 4 8 上の粒状の第 3 の磁気層 5 0 の生成を促進させる役割を果たし得る。一部の実施の形態において、第 1 の交換ブレーク層 4 4 および第 2 の交換ブレーク層 4 8 は実質的に同様の組成を含むことができるが、別の実施の形態では、異なる組成を含み得る。

#### 【0024】

磁気記録層 4 0 はさらに CGC 層 5 2 を任意に含むことができる。CGC 層 5 2 は、たとえば  $CoCrPtB$  合金を含み得る。一部の実施の形態において、この  $CoCrPtB$  合金は金属または希土類元素、たとえば Ru、W または Nb でドーピングされてもよい。一部の実施の形態において、CGC 層 5 2 は酸化物、たとえば  $SiO_x$ 、 $TiO_x$ 、 $TaO_x$ 、 $WO_x$ 、 $NbO_x$ 、 $CrO_x$ 、 $CoO_x$  を少量含んでもよい。別の実施の形態において、CGC 層 5 2 は酸化物を含まない（たとえば、どの酸化物をも含まない）。

#### 【0025】

第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 の特定の組成は、それぞれの層 4 2、4 6、5 0 の各々に対して所定の磁気異方性場  $H_k$  を与えるよう選択され得る。特に、第 1 の磁気層 4 2 の組成は第 1 の磁気異方性場  $H_{k1}$  を与えるよう選択することができる。第 2 の磁気層 4 6 の組成は第 2 の磁気異方性場  $H_{k2}$  を与えるよう選択することができる。第 3 の磁気層 5 0 の組成は第 3 の磁気異方性場  $H_{k3}$  を与えるよう選択することができる。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 4 2 であり得る最も硬い磁気層の磁気異方性場は、約 30 kOe に限定され得る（たとえば、Co 合金で形成されている場合）。このため、磁気記録層 4 0 の平均粒径が十分に小さい場合、最も硬い磁気層は十分に安定しないかも知れない。これを解消するために、第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 の平均異方性を相対的に高くして、3 つの磁気層 4 2、4 6 および 5 0 の少なくとも 2 つが、磁気記録層 4 0 の磁気配向について熱的安定性をもたらすよう働くようにする。

#### 【0026】

第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 に対して相対的に高い平均磁気異方性場を達成しながら ECC 構造によって与えられる利点をも得る 1 つの方法は、 $H_{k1}$  および  $H_{k2}$  の差（すなわち、 $H_{k1} - H_{k2}$ ）が  $H_{k2}$  および  $H_{k3}$  の差（すなわち、 $H_{k2} - H_{k3}$ ）よりも小さいよう、第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気

10

20

30

40

50

層 5 0 の組成を選択することである。すなわち、磁気記録層 4 0 の個々の層 4 2、4 6 および 5 0 の磁気異方性は、第 1 の磁気層 4 2 の近くではより遅く減少、または増加し、第 1 の磁気層 4 2 からの距離が大きくなるにつれより速く減少する。磁気記録層 4 0 におけるこのような磁気異方性場の分布は、凸状磁気異方性場分布と呼ぶ。凸状磁気異方性場分布は、磁気記録層 4 0 の磁気配向の熱的安定性および記録層 4 0 の書込容易性を与え得る。一部の例において、凸状磁気異方性分布は、相対的に高い磁気異方性場の材料からなる磁気記録層 4 0 のより大きい割合をもたらし得る。

#### 【 0 0 2 7 】

$H_{k1}$ 、 $H_{k2}$  および  $H_{k3}$  の特定の値は、たとえば、データを磁気記録層 4 0 に書込むのに用いられる記録ヘッド、それぞれの層 4 2、4 6 および 5 0 における個々の粒子の大きさ、他の 2 層のそれぞれの磁気異方性場、それぞれの層の厚さ、それぞれの層の飽和磁化などに依存し得る。一部の実施の形態において、それぞれの層 4 2、4 6 および 5 0 の  $H_k$  値の範囲は、各層 4 2、4 6 および 5 0 の  $K_u V$  磁気異方性エネルギーの働きによって影響され得る。たとえば、より低い  $K_u V$  値を有する第 1 の磁気層 4 2 は、より高い  $K_u V$  値を有する第 1 の磁気層 4 2 よりも書込みやすい（すなわち、より低い  $K_u V$  の値を有する層 4 2 における粒子の磁気配向をスイッチングするのにより低い磁場が与えられてもよい）。したがって、より低い  $K_u V$  値を有する第 1 の磁気層 4 2 は、ECC による書込処理を駆動させるのに、より低い  $H_{k2}$  値を有する第 2 の磁気層 4 6 およびより低い  $H_{k3}$  を有する第 3 の磁気層 3 0 を用いることができる。しかし、より低い  $K_u V$  値は、全体として、垂直磁気層 4 0 の熱的安定性を維持するために、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 からより大きい磁気異方性エネルギー寄与 ( $K_u V$ ) を使用し得る。所与の  $H_k$  値を有するある層、たとえば第 2 の磁気層 4 6 では、 $K_u V$  異方性エネルギー寄与は、材料の飽和磁化  $M_s$  を変更することによって影響され得る、すなわち、 $K_u V = 2 H_k V / M_s$  である。さらに、または代替的に、有効量  $V$  は、磁気層内の粒子間での横磁気交換を変更することによって変えることができ、これは有効磁気クラスタサイズ（実質的に同様の条件下で磁気配向を変える粒子のクラスタ）を変え得る。

#### 【 0 0 2 8 】

$H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ 、 $H_{k3}$  のとり得る値の範囲は、簡潔にするために個々で規定することもできるが、互いに組合せて規定された場合、よりよく理解され得る。なぜなら、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ 、 $H_{k3}$  間の差は、所定の磁気記録層構造を規定する 1 つの方法だからである。他の層の  $H_k$  値に関連せずに単独で考慮されると、 $H_{k1}$  は約 16 kOe、一部の実施の形態では約 24 である。別の実施の形態において、 $H_{k1}$  は約 24 kOe または 16 kOe 未満である。 $H_{k1}$  の例示的値は、約 20 kOe または約 24 kOe を含み得る。

#### 【 0 0 2 9 】

一部の実施の形態において、 $H_{k2}$  は約 12 kOe および約 24 kOe の間であり、別の実施の形態において  $H_{k2}$  は 24 kOe よりも大きくまたは 12 kOe 未満よりも小さい。 $H_{k2}$  の例示的値は約 12 kOe および約 15 kOe の間、約 16 kOe、約 19 kOe、または約 24 kOe をとり得る。

#### 【 0 0 3 0 】

一部の実施の形態において  $H_{k3}$  は約 15 kOe よりも小さく、他の実施の形態では、 $H_{k3}$  は 15 kOe を超える。 $H_{k3}$  の例示的値は、約 3 kOe および約 9 kOe の間、約 9 kOe、約 6 kOe、または約 1 kOe である。

#### 【 0 0 3 1 】

一部の実施の形態において共に考慮されると、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ 、および  $H_{k3}$  が  $H_{k1} - H_{k2} < H_{k2} - H_{k3}$  の関係を満たすよう、 $H_{k1}$  は約 16 kOe から約 24 kOe の間であり、 $H_{k2}$  は約 12 kOe から約 24 kOe の間であり、 $H_{k3}$  は  $H_{k2}$  未満であり得る。一部の実施の形態において、 $H_{k1}$  は約 20 kOe から約 22 kOe の間であり、 $H_{k2}$  は約 17 kOe から約 20 kOe の間であり、 $H_{k3}$  は約 9 kOe から約 14 kOe の間であり得る。他の実施の形態において、層 1 の Pt 濃度は約 18 ~ 12 at% である。層 2 の Pt 濃度は約 14 ~ 18 at% であり、層 3 の Pt 濃度は約 14 at% よりも小さく、 $H_{k2}$  は約

10

20

30

40

50

17 - 20 kOe であり、 $H_{k3}$  は約 9 - 14 kOe である。

【0032】

一部の実施の形態において、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ 、および $H_{k3}$ 間の関係は、さらに $H_{k2}$ および $H_{k1}$ の間の比率、および / または  $H_{k3}$ および $H_{k2}$ の間の比率によって規定される。たとえば、 $H_{k2} / H_{k1}$  の比は  $H_{k3} / H_{k2}$  の比よりも大きい。一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 0.6 より大きく、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.6 未満であり得る。一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 0.7 より大きく、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.7 未満であり得る。一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 0.9 より大きく、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.9 未満であり得る。一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 1.0 より大きく、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 1.0 未満であり得る。一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  の比は約 1.2 である。 10

【0033】

一部の実施の形態において、 $H_{k2} / H_{k1}$  の値と無関係に、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.6 未満である。一部の実施の形態において、 $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.1 未満である。

【0034】

第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の飽和磁化は同じまたは異なるてもよい。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の各々の飽和磁化  $M_s$  は約 350 emu / cm<sup>3</sup> および約 700 emu / cm<sup>3</sup> の間にある。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の少なくとも 1 つの飽和磁化は約 450 emu / cm<sup>3</sup> から約 700 emu / cm<sup>3</sup> の間にある。たとえば、第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の少なくとも 1 つの飽和磁化は約 550 emu / cm<sup>3</sup> である。 20

【0035】

第 1 の磁気層 42 の厚さは約 5 nm および約 10 nm の間にある。第 2 の磁気層 46 の厚さは約 3 nm および約 7 nm の間にある。第 3 の磁気層 50 の厚さは約 10 未満である。上記のように、それぞれの磁気層 42、46 および 50 の厚さは、それぞれの層 42、46 および 50 の  $H_k$  値および / または  $M_s$  の選択に影響し得る。ある実施の形態において、第 2 の磁気層 46 の厚さは約 4 nm 未満であり、 $H_{k1} / H_{k2}$  は約 0.8 より大きく、 $H_{k2} / H_{k3}$  は約 0.8 未満である。 30

【0036】

図 4A - 図 4E は第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の磁気異方性場構成の例を示す図である。図 4A - 図 4E は磁気記録層 40 の構成の例を示し、第 1 の磁気層 42、第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 の組成は、差  $H_{k1} - H_{k2}$  が差  $H_{k2} - H_{k3}$  よりも小さいよう選択される。上記のように、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ 、および  $H_{k3}$  間の関係は、さらに第 1 の比  $H_{k2} / H_{k1}$  および / または第 2 の比  $H_{k3} / H_{k2}$  によってさらに規定される。

【0037】

たとえば、図 4A は、 $H_{k1} - H_{k2}$  が  $H_{k2} - H_{k3}$  より小さい磁気記録層 40 を示す。さらに、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 0.6 よりも大きく、一部の実施の形態において約 0.9 よりも大きい。図 4A に示される磁気記録層 40 の構成の比  $H_{k3} / H_{k2}$  は、約 0.6 未満であり、0.1 よりも小さくてもよい。たとえば、 $H_{k1}$  は約 16 kOe および約 24 kOe の間であり、 $H_{k2}$  は約 12 kOe および約 24 kOe の間であり、 $H_{k3}$  は約 15 kOe 未満である。一部の実施の形態において、 $H_{k1}$  は約 20 kOe であり、 $H_{k2}$  は約 16 kOe であり、 $H_{k3}$  は約 9 kOe である。別の実施の形態において、 $H_{k1}$  は約 20 kOe であり、 $H_{k2}$  は約 19 kOe であり、 $H_{k3}$  は約 6 kOe である。さらなる実施の形態において、 $H_{k1}$  は約 24 kOe であり、 $H_{k2}$  は約 16 kOe であり、 $H_{k3}$  は約 1 kOe である。 40

【0038】

別の実施の形態として、図 4B は、 $H_{k1} - H_{k2}$  が  $H_{k2} - H_{k3}$  より小さい磁気記録層 40 を示す。さらに、 $H_{k1} - H_{k2}$  は 0 よりも小さく、 $H_{k2} / H_{k1}$  は約 1.0 より大きい、たとえば約 1.2 である。図 4B に示される実施の形態では、比  $H_{k3} / H_{k2}$  は約 0.6 未 50

満であり、一部の実施の形態では約 0.1 未満である。一実施の形態では、 $H_{k1}$  は約 20 kOe、 $H_{k2}$  は約 24 kOe、 $H_{k3}$  は約 1 kOe である。

【0039】

図 4 C - 図 4 E は、第 3 の磁気層 5 2 上に形成される CGC 層 5 2 を含む磁気記録層 4 0 の実施の形態を示す。CGC 層 5 2 が直接第 3 の磁気層 5 0 上に形成される実施の形態では、第 2 の磁気層 4 6 および第 1 の磁気層 4 2 に対する第 3 の磁気層 5 0 および CGC 層 5 2 の ECC 効果のために、CGC 層 5 2 および第 3 の磁気層 5 0 は単一の複合層として働く。すなわち、厚さ重み付きの平均磁気異方性場  $H_{k34}$  は、 $H_{k3}$  の厚さ重み付きの平均と CGC 層 5 2 の磁気異方性場  $H_{k4}$  とによって概算することができる。複合層（第 3 の磁気層 5 0 および CGC 層 5 2）は、磁気異方性エネルギー  $K_u V$  の寄与のために共に考慮することができ、複合層の  $K_u V$  の計算は、第 3 の磁気層 5 0 および CGC 層 5 2 の結合された厚さおよび磁気モーメントに基づいて行なうことができる。第 3 の磁気層 5 0 および CGC 層 5 2 を含む複合層は、磁気異方性場  $H_{k34}$  を有する単一の層と実質的に同様に、ECC 効果を第 2 の磁気層 4 6 および第 1 の磁気層 4 2 に与えることができる。CGC 層 5 2 内の粒子間の横交換結合は、同じ  $H_k$  を有するが横交換結合がより低い層と比べて、CGC 層 5 2 内の粒子の磁気配向をスイッチングするのに用いられる印加磁場を減少させ得る。したがって、一部の実施の形態において、有効  $H_{k34}$  は  $H_{k3}$  および  $H_{k4}$  の厚さ重み付きの平均よりも低くてもよい。したがって、一部の実施の形態において、凸状磁気異方性勾配を規定するのに、 $H_{k4}$  ではなく、 $H_{k3}$  のみが考慮される。

【0040】

一部の実施の形態において、図 4 C および図 4 D で示されるように、CGC 層 5 2 は  $H_{k3}$  よりも小さいまたは実質的に等しい磁気異方性場  $H_{k4}$  を含み得る。一部の実施の形態において、図 4 C に示されるように、CGC 層 5 2 と第 3 の磁気層 5 0 との間の磁気異方性場の差  $H_{k4} - H_{k3}$  は、差  $H_{k3} - H_{k2}$  よりも大きくてよい。すなわち、凸状磁気異方性場勾配は CGC 層 5 2 に延び得る。

【0041】

別の実施の形態において、図 4 D に示されるように、 $H_{k4} - H_{k3}$  は差  $H_{k3} - H_{k2}$  よりも大きくない。このような実施の形態において、凸状磁気異方性場勾配は CGC 層 5 2 に延在するのではなく、第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 を通つて実質的に延在し得る。

【0042】

別の実施の形態において、図 4 E に示されるように、CGC 層 5 2 はある磁気異方性場  $H_{k4}$  を有し、これは  $H_{k3}$  よりも大きい。 $H_{k4} - H_{k3}$  が差  $H_{k3} - H_{k2}$  よりも大きくない実施の形態と同様に、 $H_{k4}$  が  $H_{k3}$  よりも大きい場合、凸状磁気異方性場勾配は CGC 層 5 2 に延在するのではなく、第 1 の磁気層 4 2、第 2 の磁気層 4 6 および第 3 の磁気層 5 0 を通つて実質的に延在する。

【0043】

上記の実施の形態は 3 つの磁気層を含み、任意に CGC 層を含む磁気記録層に向けられているが、一部の実施の形態において、磁気記録層は 4 枚以上の磁気層を含んでもよい。一般に、凸状磁気異方性勾配を含む磁気記録層の概念は、任意の数の磁気層に適応することができる。たとえば、図 5 A に示されるように、磁気記録層 6 0 は  $2n - 1$  層を含むことができ、これは  $n$  枚の磁気層と  $n - 1$  枚の交換ブレーク層とを交互に含み、 $n$  は 3 以上の整数である。さらに、かつ任意に、磁気記録層 6 1 は図 5 B に示されるように、磁気層  $n$  上に形成される CGC 層 7 1 を含むことができる。特に、図 5 A は相対的に高い磁気異方性場をもたらす組成を有する粒状磁気層であり得る第 1 の磁気層 6 2 を示す。第 1 の磁気層 6 2 の磁気異方性場は、記録層 6 0 の面に対して実質的に垂直な方向に配向される（すなわち、第 1 の磁気層 6 2 の粒子の磁化容易軸は、記録層 6 0 の面に対して実質的に垂直であり得る）。第 1 の磁気層 6 2 は Co 合金、たとえば、Co と、Cr、Ni、Pt、Ta、B、Nb、O、Ti、Si、Mo、Cu、Ag、Ge、または Fe の少なくとも 1 つとの組合せを含み得る。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 6 2 は、たとえば F

10

20

30

40

50

e - Pt 合金または Sm - Co 合金を含み得る。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 62 は、Co 合金および Pt 合金または Pd 合金の薄膜層を交互に含み得る。一部の実施の形態において、第 1 の磁気層 62 の粒子を分離する非磁性材は、酸化物、たとえば  $SiO_2$ 、 $TiO_2CoO$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$  を含み得る。別の実施の形態において、第 1 の磁気層 62 の粒子を分離している非磁性材は、Cr、B、C または他の非強磁性体を含み得る。

#### 【 0044 】

第 1 の交換ブレーク層 64 は第 1 の磁気層 62 上に形成される。第 1 の交換ブレーク層 42 は  $Co_xRu_{1-x}$  合金を含み得る。別の実施の形態として、第 1 の交換ブレーク層 64 はルチウムを含む、または本質的にルチウムからなることができる。第 1 の交換ブレーク層 64 が  $Co_xRu_{1-x}$  合金を含む例では、ブレーク層 64 は約 3 nm 未満の厚さを有し得る。第 1 の交換ブレーク層 64 が本質的に Ru からなる例では、ブレーク層 64 はより薄く、たとえば約 3 未満であり得る。

#### 【 0045 】

第 2 の磁気層 66 は第 1 の交換ブレーク層 64 上に形成され、相対的に高い磁気異方性場をもたらす組成の粒状磁気層であり得る。上記のように、第 2 の磁気層 66 は第 1 の磁気層 62 の磁化異方性よりも小さい、または実質的に等しい、または大きい磁気異方性を有し得る。第 2 の磁気層 66 の磁気異方性は、記録層 60 の面に対して実質的に垂直な方向に配向される（すなわち第 2 の磁気層 66 の粒子の容易軸は、記録層 60 の面に対して実質的に垂直であり得る）。第 2 の磁気層 66 は Co 合金、たとえば、Co と、Cr、Ni、Pt、Ta、B、Nb、O、Ti、Si、Mo、Cu、Ag、Ge、または Fe の少なくとも 1 つとの組合せを含み得る。一部の実施の形態において、第 2 の磁気層 66 は、たとえば Fe - Pt 合金または Sm - Co 合金を含み得る。一部の実施の形態において、第 2 の磁気層 66 は、Co 合金および Pt 合金または Pd 合金の薄膜層を交互に含み得る。一部の実施の形態において、第 2 の磁気層 66 の粒子を分離する非磁性材は、酸化物、たとえば  $SiO_2$ 、 $TiO_2CoO$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$  を含み得る。別の実施の形態において、第 2 の磁気層 66 の粒子を分離している非磁性材は、Cr、B、C または他の非強磁性体を含み得る。

#### 【 0046 】

磁気層 60 は、交互のパターンをなす任意の数の磁気層および交換ブレーク層を含むことができる。各後続の磁気層は、磁気記録層 60 がその複数の磁気層間で凸状磁気異方性場勾配を含むよう、組成が選択される。すなわち、それぞれの磁気層の組成は、 $H_{k(n-2)} - H_{k(n-1)}$  が  $H_{k(n-1)} - H_{k(n)}$  よりも小さいよう選択され、 $H_{ki}$  は層  $i$  の磁気異方性場である。たとえば、第 1 の磁気層 62、第 2 の磁気層 66 および第 3 の磁気層（図示されていない）の組成は、 $H_{k1} - H_{k2}$  が  $H_{k2} - H_{k3}$  よりも小さいよう選択される。交換ブレーク層  $n-1$  - 68 は磁気層  $n-1$  上に形成される（図示されていない）。交換ブレーク層  $n-1$  - 68 はルチウムまたはルチウム合金を含み、第 1 の交換ブレーク層 64 に対して同様の組成または異なる組成を含み得る。一部の実施の形態において、交換ブレーク層  $n-1$  - 68 は本質的にルチウムからなる、またはルチウムを含み、別の実施の形態において、交換ブレーク層  $n-1$  - 68 はルチウム合金、たとえば  $Co_xRu_{1-x}$  を含み得る。Ru または  $Co_xRu_{1-x}$  に加えて、交換ブレーク層  $n-1$  - 68 は非磁気酸化物、たとえば  $SiO_2$ 、 $TiO_2CoO$ 、 $Cr_2O_3$ 、または  $Ta_2O_5$  を含み得る。

#### 【 0047 】

磁気層  $n-70$  は交換ブレーク層  $n-1$  - 68 上に形成され、一部の実施の形態においては、相対的に低い磁気異方性、たとえば記録層 60 の他の磁気層の磁気異方性よりも低い磁気異方性を有する粒状磁気層であり得る。磁気層  $n$  は、記録層 60 の面に対して実質的に垂直な方向に配向される磁気異方性場を有する。磁気層  $n-70$  は、たとえば Co 合金、Fe - Pt 合金、または Sm - Co 合金を含み、たとえば上記の  $SiO_2$ 、 $TiO_2CoO$ 、 $Cr_2O_3$ 、または  $Ta_2O_5$  の非磁性酸化物を含んでも、含ななくてもよい。磁気層

10

20

30

40

50

$n_{70}$  の組成は、第 1 の磁気層 62 および / または第 2 の磁気層 66 の組成と異なり、それにより磁気層  $n_{70}$  の磁気異方性場は、磁気記録層 60 の他の磁気層の磁気異方性場とともに、凸状磁場勾配をもたらす。たとえば、磁気層  $n_{70}$  は第 1 の磁気層 62 および / または第 2 の磁気層 66 と同様の組成を含み得るが、その割合は異なり得る。

【0048】

一部の実施の形態において、CGC 層 71 (図 5B に示される) は、図 3 を参照して説明した CGC 層 52 と同様であってもよい。

【0049】

垂直磁気記録層を形成する方法は図 6 に示される。この方法は、磁気異方性場  $H_{k2}$  を有する第 1 の磁気層を形成し (72)、第 1 の磁気層上に第 1 の交換ブレーク層を形成し (74)、第 1 の交換ブレーク層上に第 2 の磁気層を形成する (76)。第 2 の磁気層は、第 2 の磁気異方性場  $H_{k2}$  を有する。一部の実施の形態において、本方法はさらに第 2 の磁気層上に第 2 の交換ブレーク層を形成し (78)、第 2 の交換ブレーク層上に第 3 の磁気層を形成する (80) ことを含む。第 3 の磁気層は第 3 の磁気異方性場  $H_{k3}$  を有する。一部の実施の形態において、 $H_{k1} - H_{k2}$  は  $H_{k2} - H_{k3}$  よりも小さい。

10

【0050】

ここに記載される磁気記録層は磁気層とブレーク層とを交互に有するが、一部の実施の形態において、磁気記録層は各隣接する磁気層対間にブレーク層を含まなくてもよい。たとえば、磁気記録層は、互いにすぐ隣接して形成される第 2 の磁気層 46 および第 3 の磁気層 50 (図 3) を含むが、その間に介在する第 2 のブレーク層 48 はない。この概念は他の磁気層の対にも、たとえば第 1 の磁気層 42 および第 2 の磁気層 46 に拡張することができる。さらに、4 枚以上の磁気層を含む実施の形態 (たとえば、図 5A および図 5B を参照して記載されている実施の形態) では、磁気記録層 60 は 2n - 1 枚の層を有することができ、 $n$  の磁気層および  $n - 1$  の磁気層を有する。このような実施の形態において、一部の隣接する磁気層対は介在するブレーク層を含み、他の隣接する磁気層対は介在するブレーク層を含まない。

20

【0051】

上記は磁気記録媒体を含む装置に主に立脚しているが、ここに記載される磁気層構造は他でも応用することができる。たとえば、ここに記載される磁気層構造は、磁気センサまたは磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (MRAM) に用いることができる。

30

【0052】

実施例

以下の実施例は開示の実施の形態を示すものであるが、本開示の範囲を限定するものではない。実施例は理想的な磁気層を用いた理論的計算に基づいている。各々の磁気層は同じ  $M_s$  および  $H_{ex}$  の値を有する。実施例の磁気記録層は CGC 層を含んでいない。以下の実施例において、パラメータは以下のように定義されている。式 1 は層  $i$  の有効磁気厚さ<sub>i</sub> を定義する。

【0053】

【数 1】

$$\Delta_i = \frac{M_{si} \delta_i}{M_{s1} \delta_1} \quad |$$

40

式 1

【0054】

ここで  $M_{si}$  は層  $i$  の飽和磁化であり、 $\delta_i$  は層  $i$  の厚さであり、 $M_{s1}$  は層 1 (すなわち、第 1 の磁気層) の飽和磁化であり、 $\delta_1$  は層 1 の厚さである。

【0055】

式 2 は層  $i$  の有効異方性  $k_i$  を定義する。

50

【0056】

【数2】

$$\kappa_i = \frac{M_{si} H_{Ai} \delta_i}{M_{s1} H_{A1} \delta_1} = \Delta_i \frac{H_{Ai}}{H_{A1}}$$

式2

【0057】

ここで  $M_{si}$  は層  $i$  の飽和磁化であり、  $H_{Ai}$  は層  $i$  の磁気保磁力であり、  $\delta_i$  は層  $i$  の厚さであり、  $M_{s1}$  は層 1 の飽和磁化であり、  $H_{A1}$  は層 1 の磁気保磁力であり、  $\delta_1$  は層 1 の厚さである。 10

【0058】

式3は層  $i$  および層  $j$  間の有効結合  $\chi_{ij}$  を定義する：

【0059】

【数3】

$$\chi_{ij} = \frac{2J_{ij}}{K_1 \delta_1}$$

式3

20

【0060】

ここで  $J_{ij}$  は層  $i$  と層  $j$  との間の量子機械結合であり、  $K_1$  は層 1 の磁気異方性エネルギーであり、  $\delta_1$  は層 1 の厚さである。

【0061】

以下の実施例において、特定のパラメータは固定されている。たとえば、  $\delta_2 = \delta_3 = 0$  . 5  $\delta_1$ 。すなわち、層 2 および層 3 の有効厚さは等しく設定され、その各々は層 1 の有効厚さの半分である。

【0062】

以下の実施例 1 - 3 を検討するに当り、コヒーレントにスイッチングされる 3 層磁気記録層と比較され、これら 3 つの磁気層は  $H_{A1} = 0$  . 75  $H_{A1}$  および  $H_{A3} = 0$  . 5  $H_{A1}$  の磁気異方性を有する。このような磁気異方性分布は 0 . 8125  $H_{A1}$  の平均磁気異方性  $\langle H_A \rangle$  をもたらした。実施例を行なうに当り、  $\langle H_A \rangle$  は一定に保たれ、  $\delta_2$  の値が選択され、これにより、  $\delta_3$  値が設定される。  $\delta_2$  および  $\delta_3$  は自由パラメータである。 30

【0063】

実施例 1

図 7\_A および図 7\_B は、磁気層 1 の磁気異方性値  $H_{A1}$  が 20 kOe であり、磁気層 2 の磁気異方性値  $H_{A2}$  が 16 kOe であり、磁気層 3 の磁気異方性値  $H_{A3}$  が 9 kOe である例を示す。このような磁気異方性分布は、本開示に従い凸状磁気異方性勾配である。  $H_{A1} - H_{A2}$  は 4 kOe であり、これは 7 kOe である  $H_{A2} - H_{A3}$  よりも小さい。さらに、  $H_{A2} / H_{A1}$  は 0 . 8 であり、これは  $H_{A3} / H_{A2}$  (0 . 5625) よりも大きい。実施例 1において、  $\delta_2 = \delta_3 = 0$  . 5,  $\delta_2 = 0$  . 4,  $\delta_3 = 0$  . 225 である。 40

【0064】

実施例 1 の磁気配向スイッチング性能は、コヒーレントにスイッチングした基準 3 層磁気記録層と比較された。たとえば、3 つの磁気層は結合され、単一の磁気層として働き、その有効異方性はそれぞれの層の異方性の有効厚さ重み付きの平均として計算された。第 1 の磁気層は  $H_{A1} = 20$  kOe の異方性を有し、相対有効厚さは 1 であった。第 2 の磁気層は  $H_{A2} = 0$  . 8  $H_{A1} = 16$  kOe の異方性を有し、相対有効厚さは 0 . 5 であった。第 3 の磁気層は  $H_{A3} = 0$  . 45  $H_{A1} = 9$  kOe の異方性を有し、相対有効厚さは 0 . 5 であった。このような磁気異方性分布は 0 . 8125  $H_{A1} = 16$  . 25 kOe の有効厚さ重み付きの平均磁気異方性  $\langle H_A \rangle$ 、および 1 . 625 のエネルギー変化  $E / E_1$  50

をもたらした。エネルギー変化は、第1の磁気層のみを有する磁気記録層と比べて、第2および第3の磁気層が磁気記録層の熱的安定性に与える影響を示す。

#### 【0065】

実施例1の磁気配向スイッチング性能を基準コヒーレントスイッチング磁気記録層と比べると、最小正規化  $H_{sw}$  値（磁気記録層の有効保磁力；磁気記録層の配向が切換わった適用磁場に等しく、第1の磁気層の保磁力によって正規化される）は、基準磁気記録層のエネルギー変化（1.625）と実質的に等しいエネルギー変化で見出された。図7Aおよび図7Bを参照すると、円82の近似座標は  $_{12} = 0.45$  および  $_{23} = 0.45$  である。図7Aを参照すると、 $_{12} = 0.45$  および  $_{23} = 0.45$  での正規化  $H_{sw}$  値は、円84によって示されるように約0.73である。これを基準膜の正規化  $H_{sw}$  値0.8125と比較すると、実施例1の磁気異方性勾配は、約11%減少した正規  $H_{sw}$  をもたらした。すなわち、凸状磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層は、線形の磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層と比べて、より容易に切換わり、匹敵する熱安定性を有する。  
10

#### 【0066】

##### 実施例2

図8Aおよび図8Bは、磁気層1の磁気異方性値  $H_{A1}$  が20kOeであり、磁気層2の磁気異方性値  $H_{A2}$  が19kOeであり、磁気層3の磁気異方性値  $H_{A3}$  が6kOeである例を示す。このような磁気異方性分布は、本開示に従い凸状磁気異方性勾配である。 $H_{A1} - H_{A2}$  は1kOeであり、これは13kOeである  $H_{A2} - H_{A3}$  よりも小さい。さらに、 $H_{A2} / H_{A1}$  は0.95であり、これは  $H_{A3} / H_{A2}$  (0.3158) よりも大きい。実施例1において、 $_{2} = _3 = 0.5$ 、 $_{2} = 0.475$ 、 $_{3} = 0.15$  である。  
20

#### 【0067】

実施例2の磁気配向スイッチング性能は、コヒーレントにスイッチングした基準3層磁気記録層と比較された。たとえば、3つの磁気層は結合され、単一の磁気層として働き、その有効異方性はそれぞれの層の異方性の有効厚さ重み付きの平均として計算された。第1の磁気層は  $H_{A1} = 20$  kOeの異方性を有し、相対有効厚さは1であった。第2の磁気層は  $H_{A2} = 0.95$   $H_{A1} = 19$  kOeの異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。第3の磁気層は  $H_{A3} = 0.3$   $H_{A1} = 6$  kOeの異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。このような磁気異方性分布は0.8125  $H_{A1} = 16.25$  kOeの平均磁気異方性  $< H_A >$ 、および1.625のエネルギー変化  $E / E_1$  をもたらした。エネルギー変化は、第1の磁気層のみを有する磁気記録層と比べて、第2および第3の磁気層が磁気記録層の熱的安定性に与える影響を示す。  
30

#### 【0068】

実施例2の磁気配向スイッチング性能を基準コヒーレントスイッチング磁気記録層と比べると、最小正規化  $H_{sw}$  値は、基準磁気記録層のエネルギー変化（1.625）と実質的に等しいエネルギー変化で見出された。図8Aおよび図8Bを参照すると、円86の近似座標は  $_{12} = 0.45$  および  $_{23} = 0.45$  である。図8Aを参照すると、 $_{12} = 0.45$  および  $_{23} = 0.45$  での正規化  $H_{sw}$  値は、円88によって示されるように約0.68である。これを基準膜の正規化  $H_{sw}$  値0.8125と比較すると、実施例2の磁気異方性勾配は、約20%減少した正規  $H_{sw}$  をもたらした。ここでも、凸状磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層は、線形の磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層と比べて、より容易に切換わり、匹敵する熱安定性を有する。  
40

#### 【0069】

##### 実施例3

図9Aおよび図9Bは、磁気層1の磁気異方性値  $H_{A1}$  が20kOeであり、磁気層2の磁気異方性値  $H_{A2}$  が24kOeであり、磁気層3の磁気異方性値  $H_{A3}$  が1kOeである例を示す。このような磁気異方性分布は、本開示に従い凸状磁気異方性勾配である。 $H_{A1} - H_{A2}$  は-4kOeであり、これは23kOeである  $H_{A2} - H_{A3}$  よりも小さい。さら  
50

に、 $H_{A2}/H_{A1}$ は1.2であり、これは $H_{A3}/H_{A2}$ (0.0417)よりも大きい。実施例3において、 $\frac{1}{2} = \frac{1}{3} = 0.5$ 、 $\frac{2}{2} = 0.6$ 、 $\frac{3}{3} = 0.025$ である。

#### 【0070】

実施例3の磁気配向スイッチング性能は、コヒーレントにスイッチングした基準3層磁気記録層と比較された。たとえば、3つの磁気層は結合され、単一の磁気層として働き、その有効異方性はそれぞれの層の異方性の有効厚さ重み付きの平均として計算された。第1の磁気層は $H_{A1} = 20 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは1であった。第2の磁気層は $H_{A2} = 1.2 H_{A1} = 24 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。第3の磁気層は $H_{A3} = 0.05 H_{A1} = 1 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。このような磁気異方性分布は $0.8125 H_{A1} = 16.25 \text{ kOe}$ の平均磁気異方性 $\langle H_A \rangle$ 、および1.625のエネルギーバリア変化 $E/E_1$ をもたらした。エネルギーバリア変化は、第1の磁気層のみを有する磁気記録層と比べて、第2および第3の磁気層が磁気記録層の熱的安定性に与える影響を示す。  
10

#### 【0071】

実施例4の磁気配向スイッチング性能を基準コヒーレントスイッチング磁気記録層と比べると、最小正規化 $H_{sw}$ 値（磁気記録層の有効保磁力；磁気記録層の配向が切換わった適用磁場に等しく、第1の磁気層の保磁力によって正規化される）は、基準磁気記録層のエネルギーバリア（1.625）と実質的に等しいエネルギーバリアで見出された。図9Aおよび図9Bを参照すると、円90の近似座標は $\frac{1}{2} = 0.45$ および $\frac{2}{3} = 0.45$ である。図9Aを参照すると、 $\frac{1}{2} = 0.45$ および $\frac{2}{3} = 0.45$ での正規化 $H_{sw}$ 値は、円92によって示されるように約0.55である。これを基準膜の正規化 $H_{sw}$ 値0.8125と比較すると、実施例1の磁気異方性勾配は、約48%減少した正規 $H_{sw}$ をもたらした。ここでも、凸状磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層は、線形の磁気異方性勾配を与えるよう選択された3つの磁気層を有する磁気記録層と比べて、より容易に切換わり、匹敵する熱安定性を有することを示す。  
20

#### 実施例4

図10Aおよび図10Bは、磁気層1の磁気異方性値 $H_{A1}$ が24kOeであり、磁気層2の磁気異方性値 $H_{A2}$ が16kOeであり、磁気層3の磁気異方性値 $H_{A3}$ が1kOeである例を示す。このような磁気異方性分布は、本開示に従い凸状磁気異方性勾配である。 $H_{A1} - H_{A2}$ は4kOeであり、これは15kOeである $H_{A2} - H_{A3}$ よりも小さい。さらに、 $H_{A2}/H_{A1}$ は0.667であり、これは $H_{A3}/H_{A2}$ (0.0625)よりも大きい。実施例4において、 $\frac{1}{2} = \frac{1}{3} = 0.5$ 、 $\frac{2}{2} = 1/3$ 、 $\frac{3}{3} = 1/48$ である。  
30

#### 【0072】

実施例4の磁気配向スイッチング性能は、コヒーレントにスイッチングした基準3層磁気記録層と比較された。たとえば、3つの磁気層は結合され、単一の磁気層として働き、その有効異方性はそれぞれの層の異方性の有効厚さ重み付きの平均として計算された。第1の磁気層は $H_{A1} = 24 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは1であった。第2の磁気層は $H_{A2} = (2/3) H_{A1} = 16 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。第3の磁気層は $H_{A3} = (1/24) H_{A1} = 1 \text{ kOe}$ の異方性を有し、相対有効厚さは0.5であった。このような磁気異方性分布は $0.677 H_{A1} = 16.25 \text{ kOe}$ の平均磁気異方性 $\langle H_A \rangle$ 、および1.354のエネルギーバリア変化 $E/E_1$ をもたらした。エネルギーバリア変化は、第1の磁気層のみを有する磁気記録層と比べて、第2および第3の磁気層が磁気記録層の熱的安定性に与える影響を示す。  
40

#### 【0073】

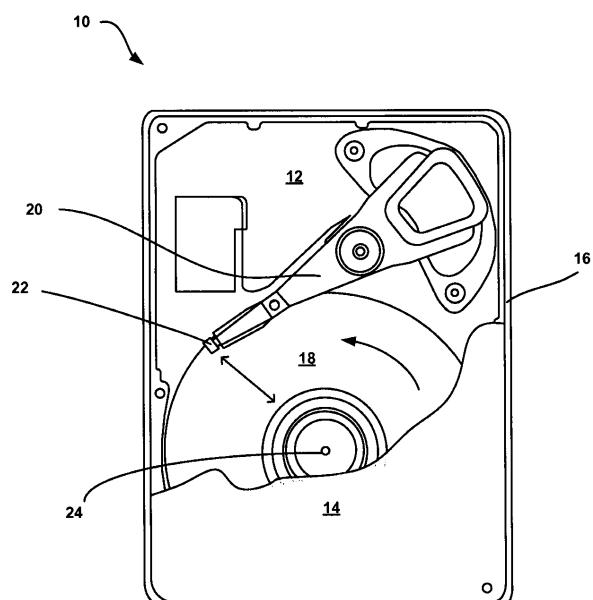
実施例4の磁気配向スイッチング性能を基準コヒーレントスイッチング磁気記録層と比べると、最小正規化 $H_{sw}$ 値は、基準磁気記録層のエネルギーバリア（1.354）と実質的に等しいエネルギーバリアで見出された。図10Aおよび図10Bを参照すると、円94の近似座標は $\frac{1}{2} = 0.35$ および $\frac{2}{3} = 0.4$ である。図10Aを参照すると、 $\frac{1}{2} = 0.35$ および $\frac{2}{3} = 0.4$ での正規化 $H_{sw}$ 値は、円96によって示されるように約0.42である。これを基準膜の正規化 $H_{sw}$ 値0.677と比較すると、実施例4の磁気異方性  
50

勾配は、約 6.1 % 減少した正規  $H_{sw}$  をもたらした。これは、凸状磁気異方性勾配を与えるよう選択された 3 つの磁気層を有する磁気記録層は、線形の磁気異方性勾配を与えるよう選択された 3 つの磁気層を有する磁気記録層と比べて、より容易に切換わり、匹敵する熱安定性を有することを示す。

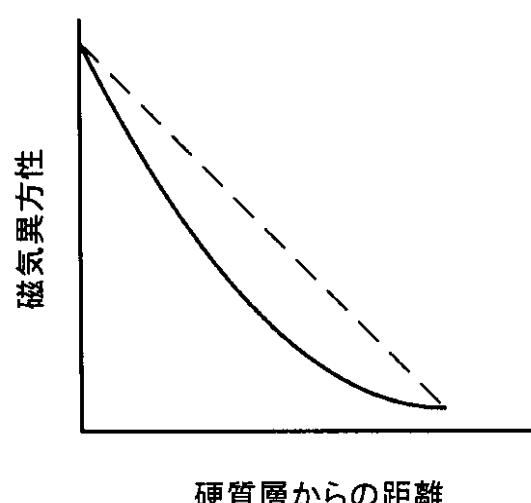
【0074】

本開示のさまざまな実施の形態が記載された。上記の実施および他の実施は、添付の請求項の範囲内にある。

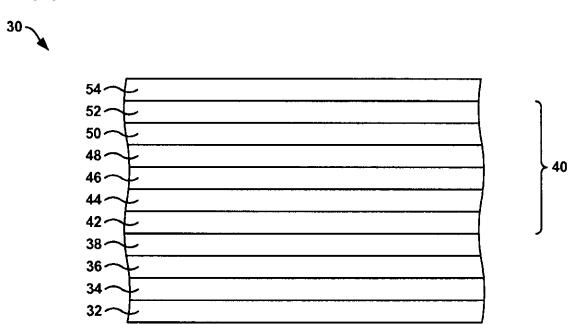
【図 1】



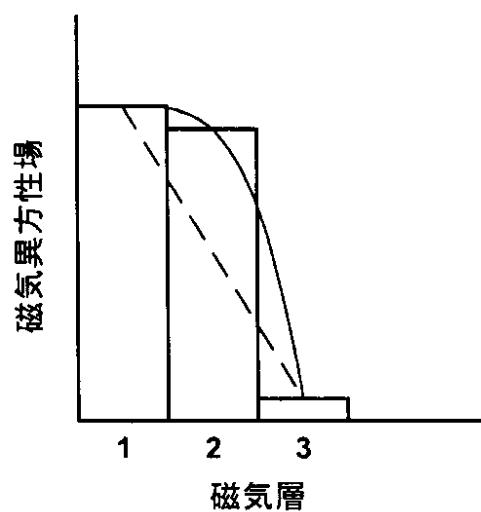
【図 2】



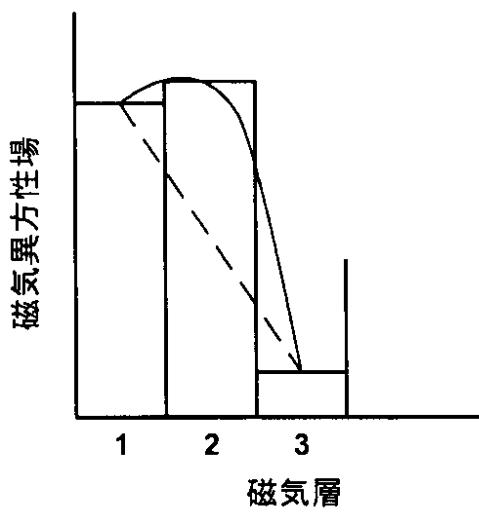
【図 3】



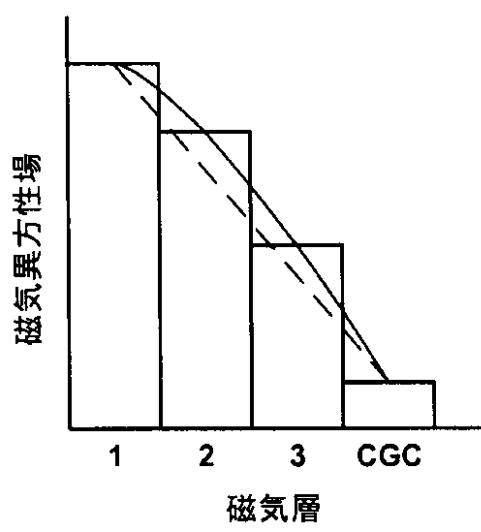
【図 4 A】



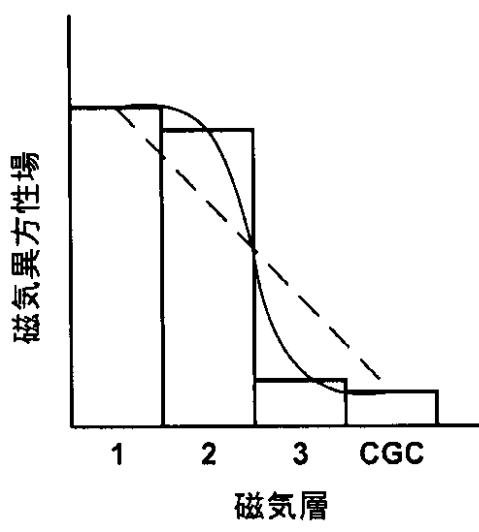
【図 4 B】



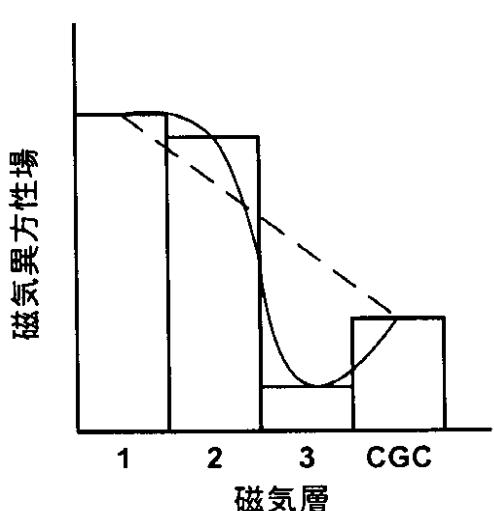
【図 4 C】



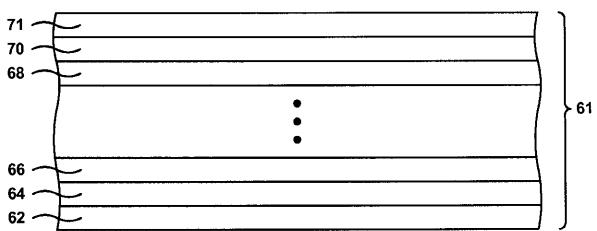
【図 4 D】



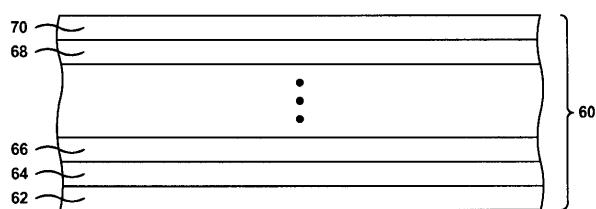
【図4 E】



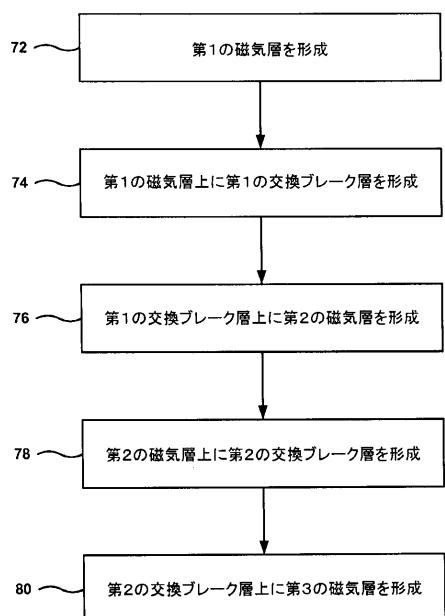
【図5 B】



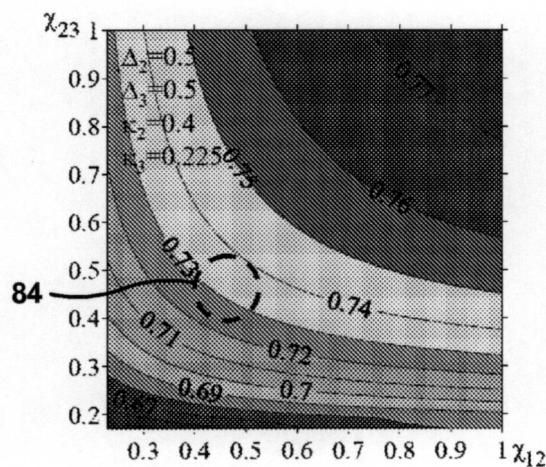
【図5 A】



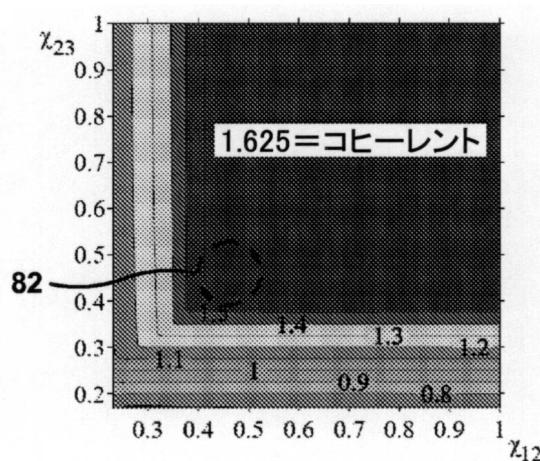
【図6】



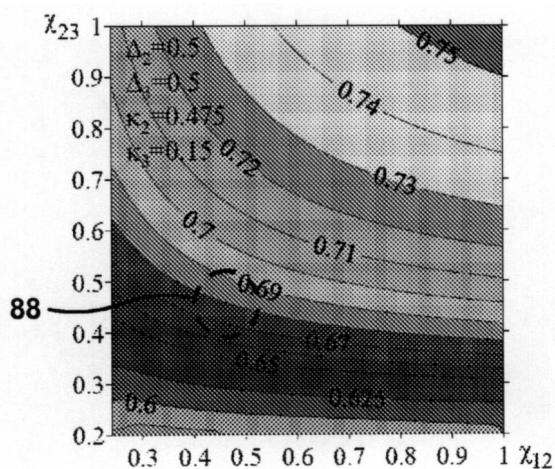
【図 7 A】



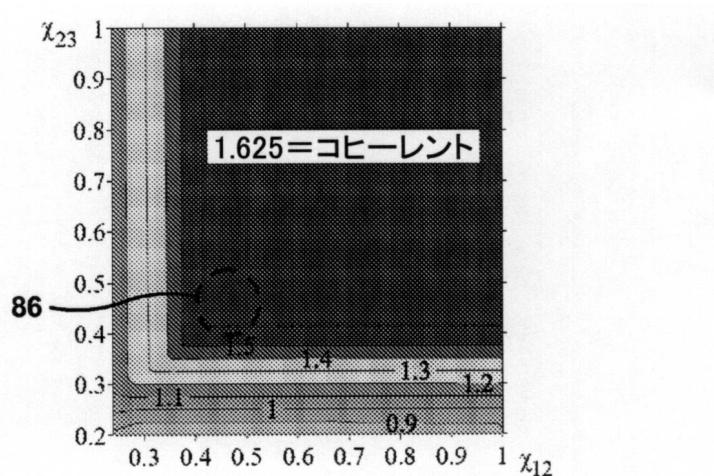
【図 7 B】



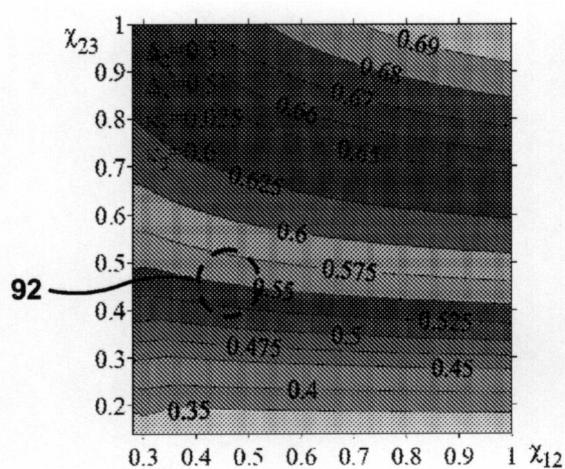
【図 8 A】



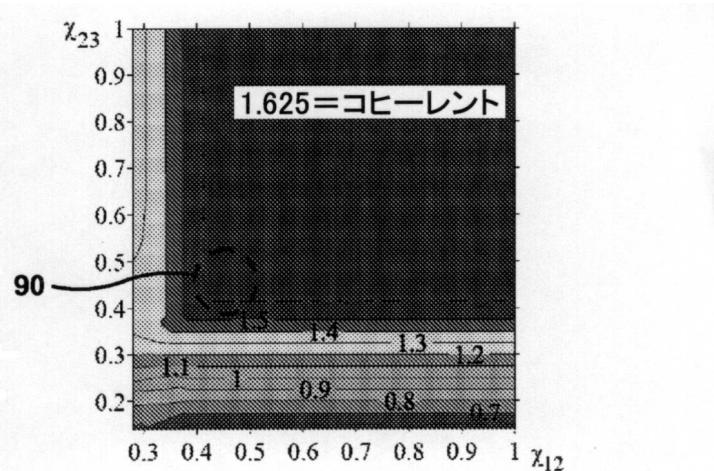
【図 8 B】



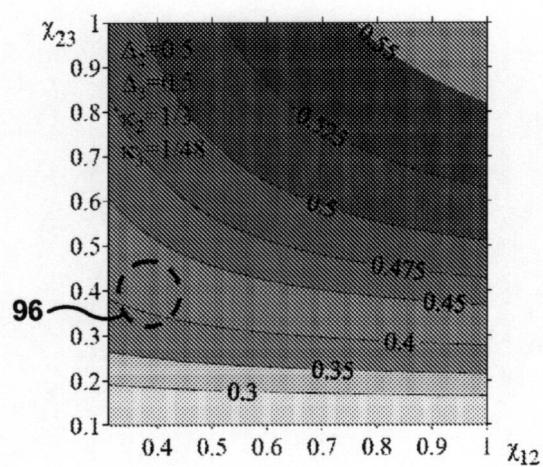
【図 9 A】



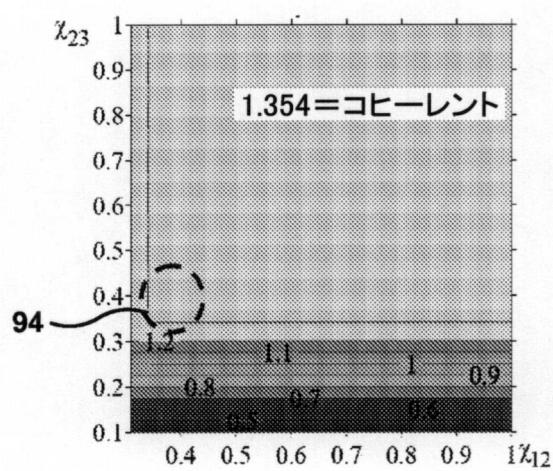
【図 9 B】



【図10A】



【図10B】



---

フロントページの続き

審査官 深沢 正志

(56)参考文献 特開2010-009683(JP, A)  
特開2007-317304(JP, A)  
特開2010-123196(JP, A)  
特開2008-287853(JP, A)  
特開2009-187597(JP, A)  
米国特許出願公開第2007/0072011(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 11 B 5 / 65