

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-146385

(P2012-146385A)

(43) 公開日 平成24年8月2日(2012. 8. 2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B 5/851 (2006.01)	G 1 1 B 5/851	5 D 0 0 6
G 1 1 B 5/84 (2006.01)	G 1 1 B 5/84	5 D 1 1 2
G 1 1 B 5/738 (2006.01)	G 1 1 B 5/738	5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/667 (2006.01)	G 1 1 B 5/667	
H O 1 F 41/18 (2006.01)	H O 1 F 41/18	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2012-1897 (P2012-1897)	(71) 出願人	509185044
(22) 出願日	平成24年1月10日 (2012. 1. 10)		ショウワ・デンコー・エイチディー・シン
(31) 優先権主張番号	201100141-9		ガポール・ピーティーイー・リミテッド
(32) 優先日	平成23年1月7日 (2011. 1. 7)		シンガポール・6 2 8 5 5 3・パイオニア
(33) 優先権主張国	シンガポール (SG)		・クレセント・2
		(74) 代理人	100108453
			弁理士 村山 靖彦
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100089037
			弁理士 渡邊 隆
		(74) 代理人	100110364
			弁理士 実広 信哉

最終頁に続く

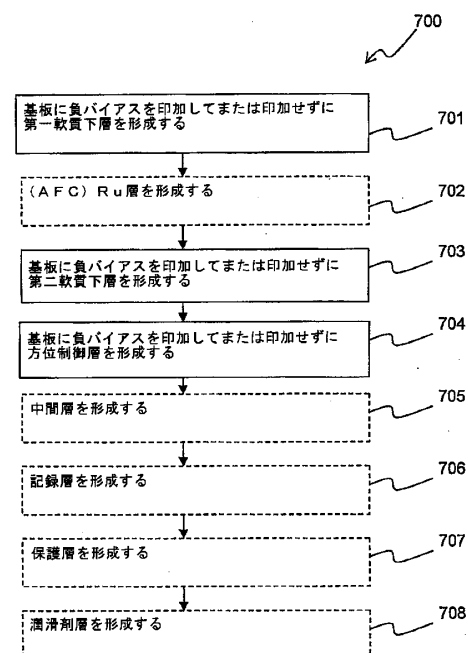
(54) 【発明の名称】 垂直磁気記録媒体の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 垂直磁気記録媒体の製造方法が提供される。

【解決手段】 垂直磁気記録媒体が、基板、該基板上の下層、該下層上の中間層及び該中間層上の記録層を備える。この下層が、第一軟質下層、該第一軟質下層上の反強磁性的に結合された R u 層、該反強磁性的に結合された R u 層上の第二軟質下層、及び該第二軟質下層上の方位制御層を備え、この方法が、下層を形成する間、基板に負バイアス電圧を印加するステップを含む。

【選択図】 図 7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

垂直磁気記録媒体の製造方法であって、

前記垂直磁気記録媒体が、基板、該基板上の下層、該下層上の中間層及び該中間層上の記録層を備え、

前記下層が、第一軟質下層、該第一軟質下層上の反強磁性的に結合されたRu層、該反強磁性的に結合されたRu層上の第二軟質下層、及び該第二軟質下層上の方位制御層を備え、

前記下層を形成する間、前記基板に負バイアス電圧を印加するステップを含むことを特徴とする方法。

10

【請求項 2】

前記第一軟質下層、前記第二軟質下層及び前記方位制御層の少なくとも一つを形成する間、負バイアス電圧が、前記基板に印加されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第一軟質下層を形成する間、負バイアス電圧が、前記基板に印加され、

前記反強磁性的に結合されたRu層と隣接する前記第一軟質下層の一部を形成する間、負バイアス電圧を除去するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記反強磁性的に結合されたRu層と隣接する前記第一軟質下層の一部が、前記第一軟質下層の厚さの最大 10 % の厚さを有することを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記第二軟質下層を形成する間、負バイアス電圧が、前記基板に印加され、

前記反強磁性的に結合されたRu層と隣接する前記第二軟質下層の一部を形成する間、負バイアス電圧を除去するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記反強磁性的に結合されたRu層と隣接する前記第二軟質下層の一部が、前記第二軟質下層の厚さの最大 10 % の厚さを有することを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記方位制御層が、第一副層及び第二副層を備え、

前記第一副層及び前記第二副層の少なくとも 1 つを形成する間、負バイアス電圧が、前記基板に印加されることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 8】

印加される負バイアス電圧が、最大 500 V であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法により製造された垂直磁気記録媒体。

【請求項 10】

前記方位制御層が、面心立方構造を有することを特徴とする請求項 9 に記載の垂直磁気記録媒体。

40

【請求項 11】

前記方位制御層が、第一副層及び第二副層を備えることを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の垂直磁気記録媒体。

【請求項 12】

前記第一副層が、非晶構造を有し、

前記第二副層が、面心立方構造を有することを特徴とする請求項 11 に記載の垂直磁気記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、概して、垂直磁気記録媒体の製造方法に関するものであり、特に、垂直磁気記録層を利用するハードディスクに有用である。

【背景技術】

【0002】

家庭用電化製品及び特にハードディスクにおける様々な用途に、垂直磁気記録媒体がますます使用されている。通常、個々の磁区の帯磁方向が媒体の表面に平行である従来の長手磁気記録媒体とは対照的に、垂直磁気記録媒体が、媒体の表面に垂直な個々の磁区の帯磁方向を有する。これが、長手磁気記録媒体において達成されるよりも極めて高い記録密度を可能にする。

10

【0003】

所定量のハードディスク領域における増え続けるデータ記録量に対する産業界の要求を満たすために（‘面密度’としても知られている）、垂直磁気記録媒体の配置の絶え間ない改善が必要とされる。高い面密度を達成するための一つの技術が、磁気記録媒体のグレインサイズを下げることである。しかしながら、垂直記録媒体に対しこの技術を適用することは、結果として、悪いスイッチング磁場分布 dH_c/H_c 及び悪い結晶方位 $\Delta\theta_{50}$ を生じる。これが、結果として、小さなグレインを使用することにより得られる信号雑音比（SNR）の任意の改善を取り消す高い媒体ノイズを生じる。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

20

【0004】

垂直記録媒体及び垂直記録媒体の製造方法が提供され、垂直記録媒体内の下層を形成する間、基板に対し負バイアス電圧を適用することが、結果として、通常小さなグレイン、良好な結晶 $\Delta\theta_{50}$ 方位及び改善されたスイッチング磁場分布 dH_c/H_c を有する垂直記録媒体を生じる。

【0005】

第一の例示的な態様によると、垂直磁気記録媒体の製造方法が提供され、この垂直磁気記録媒体が、基板、該基板上の下層、該下層上の中間層及び該中間層上の記録層を備え、この下層が、第一軟質下層、該第一軟質下層上の反強磁性的に結合されたRu層、該反強磁性的に結合されたRu層上の第二軟質下層、及び該第二軟質下層上の方位制御層を備え、この方法が、下層を形成する間、基板に負バイアス電圧を印加するステップを含む。

30

【0006】

第一軟質下層、第二軟質下層及び方位制御層の少なくとも一つを形成する間、負バイアス電圧が、基板に印加されてよい。

【0007】

第一軟質下層を形成する間、負バイアス電圧が、基板に印加されてよく、この方法が、反強磁性的に結合されたRu層と隣接する第一軟質下層の一部を形成する間、負バイアス電圧を除去するステップをさらに含んでよい。

【0008】

反強磁性的に結合されたRu層と隣接する第一軟質下層の一部が、第一軟質下層の厚さの最大10%の厚さを有してよい。

40

【0009】

第二軟質下層を形成する間、負バイアス電圧が、基板に印加されてよく、この方法が、反強磁性的に結合されたRu層と隣接する第二軟質下層の一部を形成する間、負バイアス電圧を除去するステップをさらに含んでよい。

【0010】

反強磁性的に結合されたRu層と隣接する第二軟質下層の一部が、第二軟質下層の厚さの最大10%の厚さを有してよい。

【0011】

方位制御層が、第一副層及び第二副層を備えてよく、第一副層及び第二副層の少なくと

50

も1つを形成する間、負バイアス電圧が、基板に印加されてよい。

【0012】

印加される負バイアス電圧が、最大500Vであってよい。

【0013】

第二の例示的な態様により、上記のような方法によって製造された垂直磁気記録媒体が提供される。

【0014】

方位制御層が、面心立方構造を有してよい。

【0015】

方位制御層が、第一副層及び第二副層を備えてよい。

10

【0016】

第一副層が、非晶構造を有してよく、第二副層が、面心立方構造を有してよい。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】垂直記録媒体の上の垂直記録ヘッドの概略断面図である。

【図2】垂直記録媒体の好ましい形態の概略断面図である。

【図3】第一実施形態の下層の概略断面図である。

【図4】第二実施形態の下層の概略断面図である。

【図5】第三実施形態の第一下層の概略断面図である。

【図6】第四実施形態の第一下層の概略断面図である。

20

【図7】垂直記録媒体の好ましい製造方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0018】

好ましい実施形態が、添付の図面を参照してここで説明される。

【0019】

垂直記録媒体103の例示的な実施形態及び該例示的な実施形態の製造方法700が、図1～7を参照して以下において説明される。

【0020】

図1に示されるように、例示的な垂直記録システム100が、磁気記録ヘッド（読み込み－書き込みデバイス）102及び垂直記録媒体103を備える。磁気記録ヘッド102が、側部にシールド105a及び105bが配置されている磁気抵抗センサー104から構成されたリーダユニットを備える。また、磁気記録ヘッド102が、ライトポール107及びリターンポール106から構成されたライターユニットを備える。書き込み操作の間、垂直記録媒体103内において、ライトフラックスが、経路108を介して、ライトポール107から進み、リターンポール106に戻る。

30

【0021】

垂直記録媒体103が、基板109、下層110、中間層111及び記録層112を備える。好ましい形態の垂直記録媒体103の構造の例示的な概略断面図（正確な縮尺ではない）が、図2に示される。図に示すように、基板109上の下層110が、第一軟質下層113及び第二軟質下層114を備え、第一及び第二軟質下層113、114の間に反強磁性的に結合されたルテニウム層（（AFC）Ru）115を有する。また、下層110が、方位制御層116を備える。方位制御層116が、第二軟質下層114上に配置され、中間層111が、方位制御層116上に配置される。記憶層112、保護層119及び潤滑剤層120が、中間層111上に続いて形成される。

40

【0022】

好ましい実施形態において、垂直記録媒体103の基板109が、アルミニウム（Al）またはAl合金から形成される。必要または要求される場合、基板109が、代わりに、ガラス、ケイ素または炭化ケイ素等の材料から形成されてよい。好ましい実施形態において、基板109の平均表面粗さが、0.3nmより大きくなく、少なくとも0.1nmである。記録ヘッド102のフライアビリティを考慮し、例えば、0.2nm～0.1

50

nmの間の表面粗さが、許容される。

【0023】

第一及び第二軟質下層113、114が、軟磁性材料（すなわち、容易に磁化され及び消磁される材料）から形成される。好ましい実施形態において、軟磁性材料が、ベース合金として鉄（Fe）またはコバルト（Co）のいずれかを含むコバルト合金であり、タンタル（Ta）、ニオブウム（Nb）、ジルコニウム（Zr）、ケイ素（Si）、ホウ素（B）、炭素（C）、アルミニウム（Al）、クロム（Cr）から構成される群から選択された一つ以上の添加物を含む。添加物が、0～20at%の範囲内である。第一及び第二軟質下層113、114、並びに（AFC）Ru層115が、あわせて、好ましくは、20nm～80nmの間の総厚さを有する。第一及び第二軟質下層113、114が、非晶構造を有する。非晶構造を有する利点は、これが、垂直媒体構造におけるグレインの良好な結晶方位の獲得を助けることである。

10

【0024】

方位制御層116が、記録層112内におけるグレイン、結晶成長及び結晶方位を制御するように機能する。方位制御層が、好ましくは、ニッケル（Ni）合金、白金（Pt）タンタル（Ta）、またはパラジウム（Pd）合金からなる。好ましい実施形態において、方位制御層116の厚さが、1nm～15nmの間である。薄い方位制御層116が、記録層112内において所望の改善されたグレインの方位及び結晶成長を提供せず、一方、厚い方位制御層116が、結果として、ヘッドから軟質下層の空間を増大させ、従って、好ましくない書き込み能力の低下を生じうる。方位制御層116が、好ましくは、面心立方（fcc）構造を有する。

20

【0025】

図3～6に示されるような下層110の好ましい実施形態において、方位制御層116並びに第一及び第二軟質下層113、114の一方または両方を形成する間、負バイアス電圧が、基板109に印加されてよい。しかしながら、（AFC）Ru層115に隣接する第一及び第二軟質下層のいずれかの一部113n、114nを形成する間、バイアス電圧が印加されない。

【0026】

図3が、第一軟質下層113を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加された下層110の第一実施形態を示す。（AFC）Ru層115に隣接する第一軟質下層の一部113nを形成するとき、負バイアス電圧が除去された。（AFC）Ru層115に隣接する一部113nが、第一軟質下層113の厚さの最大10%である。第二軟質下層114を形成する間、負バイアス電圧が基板に印加されなかった。

30

【0027】

図4が、第二軟質下層114を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加された下層110の第二実施形態を示す。（AFC）Ru層115に隣接する第二軟質下層の一部114nを形成するとき、負バイアス電圧が除去された。（AFC）Ru層115に隣接する一部114nが、第一軟質下層114の厚さの最大10%である。第一軟質下層113を形成する間、負バイアス電圧が基板に印加されなかった。

【0028】

図5が、第一軟質下層113を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加された下層110の第三実施形態を示す。（AFC）Ru層115に隣接する第一軟質下層の一部113nを形成するとき、負バイアス電圧が除去された。また、第二軟質下層114を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加された。（AFC）Ru層115に隣接する第二軟質下層の一部114nを形成するとき、負バイアス電圧が除去された。（AFC）Ru層115に隣接する一部113n、114nが、各々、第一及び第二軟質下層113、114の厚さの最大10%である。

40

【0029】

図3～5に示される第一、第二及び第三実施形態において、基板109に負バイアス電圧を同時に印加しまたは印加せずに、方位制御層116が形成されてよい。

50

【0030】

図6が、図5に示される第三実施形態と同じ方法で第一及び第二軟質下層113、114が形成される、下層110の第四実施形態を示す。しかしながら、図6の第四実施形態において、方位制御層116が、第一副層116-1及び第二副層116-2を備える。第一副層116-1が、第二軟質下層114上に配置される。基板109に負バイアス電圧を同時に印加しまたは印加せずに、第一及び第二副層116-1、116-2の各々の形成が実施されてよい。好ましくは、第一副層116-1が、非晶構造を有するが、第二副層116-2が、fcc構造を有する。

【0031】

下層110の形成の間、すなわち、第一軟質下層113、第二軟質下層114及び方位制御層116の一つ以上の形成の間、基板109に最大500Vの負バイアス電圧を印加することにより、良好なCo-C軸方位を有する小さなグレインが、記録層112内に得られる。

【0032】

垂直記録媒体103の中間層111が、記録層112のグレインの方位を制御し、記録層112内のグレインの良好な分離を提供するように機能する。中間層111が、RuまたはRu-合金を含む。記録層112のグレインサイズを減少させるために、他の合金が使用されてよい。中間層111の厚さが、10nm~30nmの間である。

【0033】

記録層112が、酸化物を含むCo、Cr及びPt（好ましくは、Co-合金）の一つ以上を含み、通常、膜に垂直な容易軸方位を有する。SNRのさらなる改善のため、記録層112が、B、Zr、W、Ti、Ta、Ruの添加物も含む。好ましくは、記録層が、多数の粒状記録層、及び上部連続記録層を備える。十分な信号出力、SNR及び上書き特性を維持するために、記録層112の厚さが、好ましくは、20nm~70nmの間である。

【0034】

保護層119が、垂直記録媒体103の表面に対する損傷を防ぎ、さらには、腐食を防ぐように機能する。保護層119が、以下の材料：C、Ru、またはSiO₂のうちの一つを含む。好ましい形態の保護層119の厚さが、1nm~5nmの間である。

【0035】

潤滑剤層120が、以下の材料：ペルフルオロポリエーテル、フッ素化アルコール、テトラオール、Z-dol、A20Hのうちの一つを含む。

【0036】

図7のフローチャートを参照し、垂直記録媒体の好ましい製造方法700がここで説明される。本発明に関連するステップが、実線の四角形内に示され、本発明に関連しないステップが、破線の四角形内に示される。

【0037】

方法700が、基板109上に第一軟質下層113を形成するステップ(701)、第一軟質下層113上に(AFC)Ru層115を形成するステップ(702)、及び(AFC)Ru層115上に第二軟質下層114を形成するステップ(703)から始まる。第一軟質下層113及び第二軟質下層114の少なくとも一方を形成する間、負バイアス電圧が、基板109に印加される。

【0038】

(AFC)Ru層115に隣接する第一軟質下層113の一部113nを形成するとき、または(AFC)Ru層115に隣接する第二軟質下層114の一部114nを形成するとき、バイアス電圧が基板109に印加されない。例えば、第一軟質下層113を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加される場合、(AFC)Ru層115に隣接する第一軟質下層の一部113nを形成する間、負バイアス電圧が除去される。同様に、第二軟質下層114を形成する間、負バイアス電圧が基板109に印加される場合、(AFC)Ru層115に隣接する第二軟質下層の一部114nを形成する間、負バイアス電

10

20

30

40

50

圧が除去される。

【0039】

次に、方位制御層116が、第二軟質下層114上に形成される(704)。方位制御層116の少なくとも一部を形成する間、負バイアス電圧が、基板109に印加されてもよい。例えば、方位制御層116が、第一副層116-1及び第二副層116-2を備える場合、第一副層116-1及び第二副層116-2の少なくとも一方を形成する間、負バイアス電圧が、基板109に印加されてよい。

【0040】

方位制御層116の形成(704)の後、中間層111が、方位制御層116上に形成される(705)。次に、記録層112が、中間層111上に形成され(706)、記録層112上の保護層119の形成(707)、及び保護層119上の潤滑剤層120の形成(708)が続く。

【0041】

(実施例)

以下に説明される非制限的な実施例において、化学気相成長法によって形成された保護層119を除き、垂直記録媒体103の全ての層が、DCマグネトロンスパッタリング(INTERVAC、250B)によって製造された。この製造が、 10^{-5} またはそれ未満の内部真空レベルで維持された真空チャンバ内で実施された。

【0042】

4つの実施例の異なる下層110が形成された。実施例1、2、3及び4が、各々、8nm、6nm、4nm及び2nmの厚さを有する方位制御層116を含んでいた。下層110を形成する間、基板109にいずれのバイアス電圧を印加することなく、4つの実施例が形成された。

【0043】

また、8nm、6nm、4nm及び2nmの同じ厚さを有する方位制御層116を含む、4つの対照群の実施例が形成された。4つの各比較実施例において、上記のように、下層110を形成する間、負バイアス電圧が、基板109に印加された。

【0044】

P-KERR BH-810-CPC SD2(Neork)によって、磁気特性及びスイッチング磁場分布(dH_c/H_c)が測定された。Rigaku X-線回折計を用いて、シータ2シータ及びCo c-軸方位が測定された。面内のシータ2シータ測定に基づくSheror式を用いて、グレインサイズが推測された。

【0045】

以下の表1が、形成された4つの実施例及び比較実施例に対して得られた、もたらされた飽和保磁力 H_c 、核生成磁界 H_n 、グレインサイズ及びCo c-軸方位を示す。

【0046】

【表1】

実施例／ 比較実施例	方位制御層 の厚さ (nm)	下層を形成する間、負バイアス電圧を印加するか？	dH_c/H_c	H_c (Oe)	H_n (Oe)	グレイン サイズ (nm)	Co c-軸 方位 ($\Delta\theta_{50}$)
1	8	No	0.063	4854	2218	9.1	3.443
2	6	No	0.072	4733	2100	8.8	3.330
3	4	No	0.076	4546	1921	8.2	3.488
4	2	No	0.089	3990	1471	6.4	3.583
比較.1	8	Yes	0.061	4994	2317	10.0	3.251
比較.2	6	Yes	0.065	4857	2192	8.8	3.281
比較.3	4	Yes	0.072	4677	2021	8.6	3.167
比較.4	2	Yes	0.080	4165	1575	6.8	3.193

表1

【0047】

結果から、下層110を形成する間、基板109に負バイアス電圧を印加することは、結果として、高い飽和保磁力 H_c 、核生成磁界 H_n を生じたことが分かる。

【0048】

dH_c/H_c 及び $\Delta\theta_{50}$ 値の低下により示されるように、スイッチング磁場分布 (dH_c/H_c) 及び C_{oc} 軸方位も、負バイアス電圧の印加とともに改善された。概して、負バイアス電圧またはバイアスプロセスの適用が、結果として、良好なスイッチング磁場分布 (dH_c/H_c) 及び $\Delta\theta_{50}$ 値を有する比較的小さなグレインを生じる。通常、小さなグレイン媒体が、悪いスイッチング磁場分布 (dH_c/H_c) 及び高い $\Delta\theta_{50}$ を有する。しかしながら、バイアスプロセスの適用が、結果として、グレインサイズのわずかな増加はあるものの全体的には小さなグレインを保持しつつ、良好なスイッチング及び C_{oc} 軸方位を生じることが可能である。

10

【0049】

請求項の範囲から逸脱することなく、当業者によって理解されるような上記の好ましい実施形態が、設計、構造または操作において、変化または修正されうる。

【符号の説明】

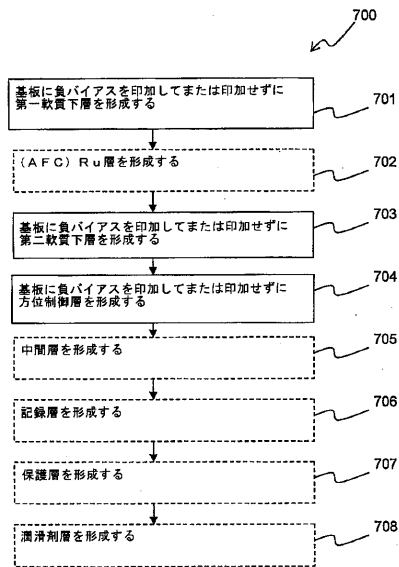
【0050】

- 103 垂直記録媒体
- 110 下層
- 111 中間層
- 112 記録層
- 113 第一軟質下層
- 113n 第一軟質下層の一部
- 114 第二軟質下層
- 114n 第二軟質下層の一部
- 115 (AFC)Ru層
- 116 方位制御層
- 116-1 第一副層
- 116-2 第二副層
- 119 保護層
- 120 潤滑剤層

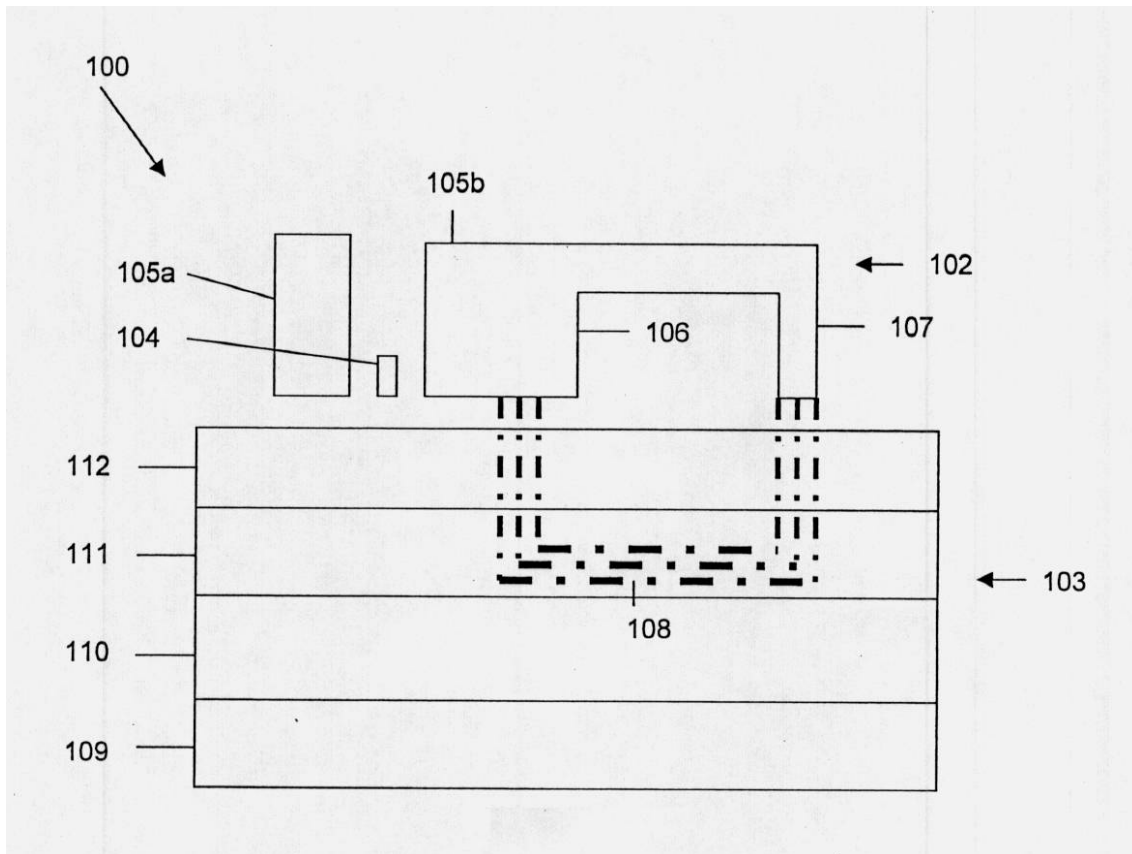
20

30

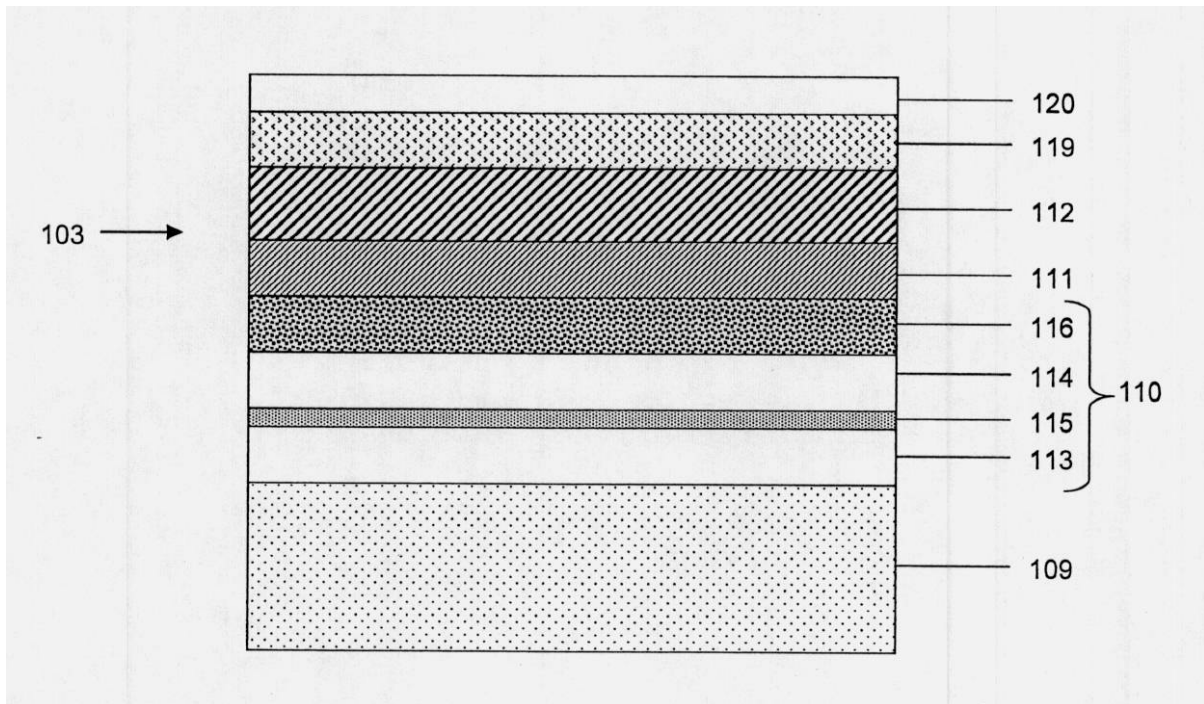
【図 7】



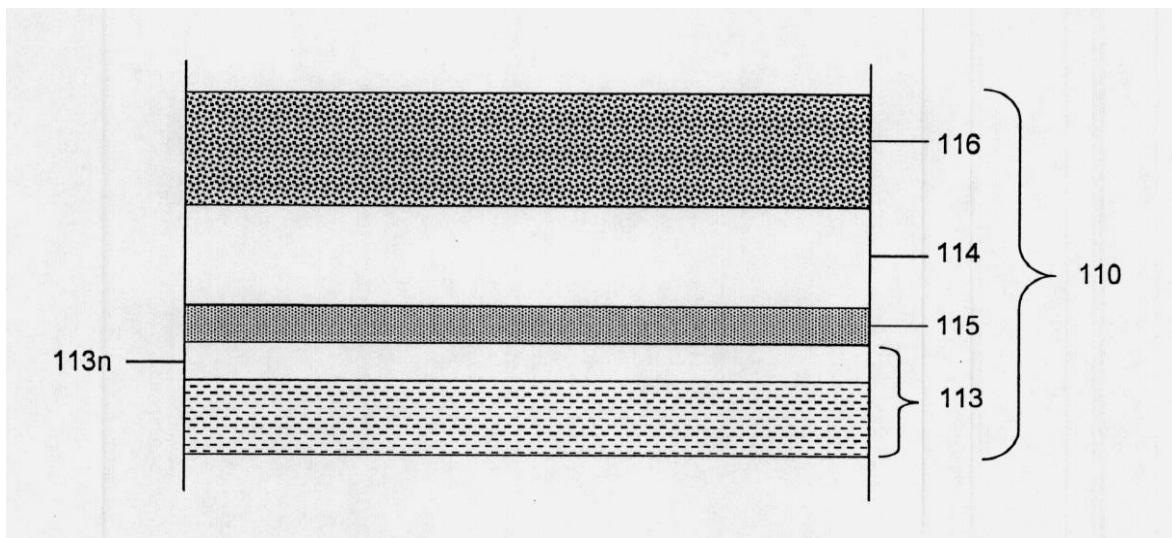
【図 1】



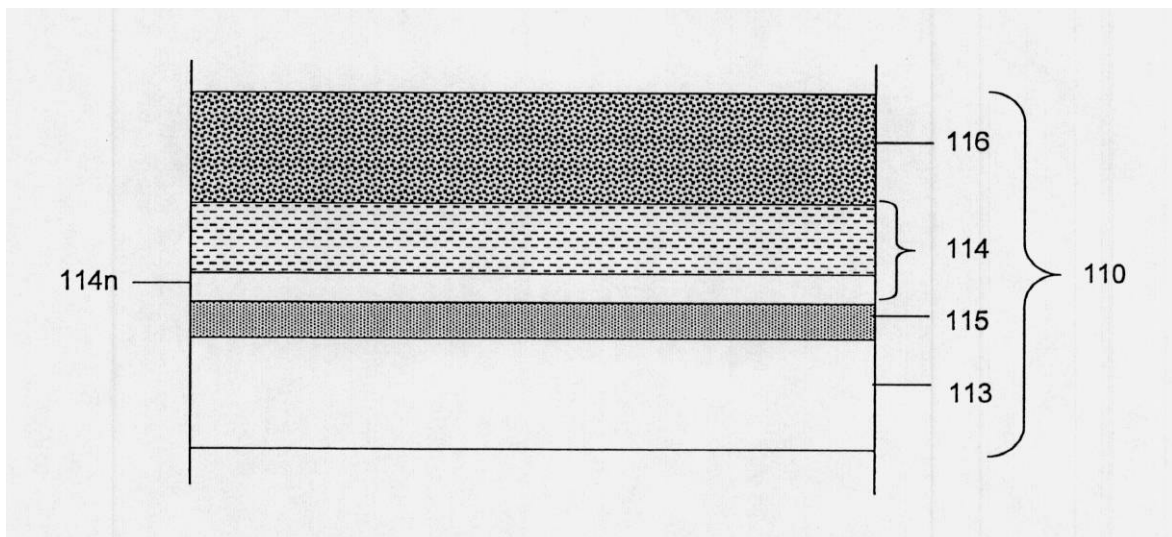
【図 2】



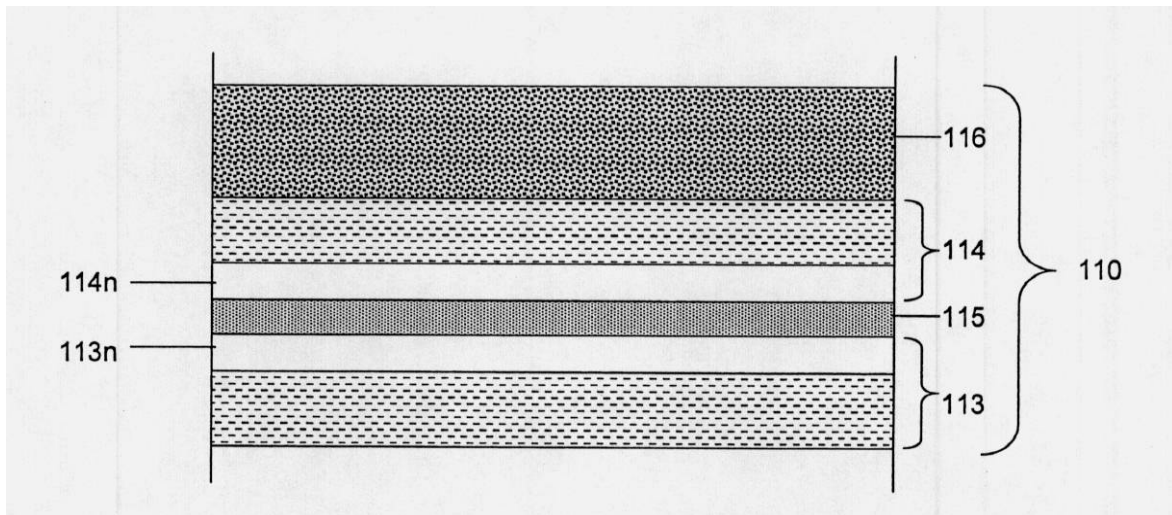
【図 3】



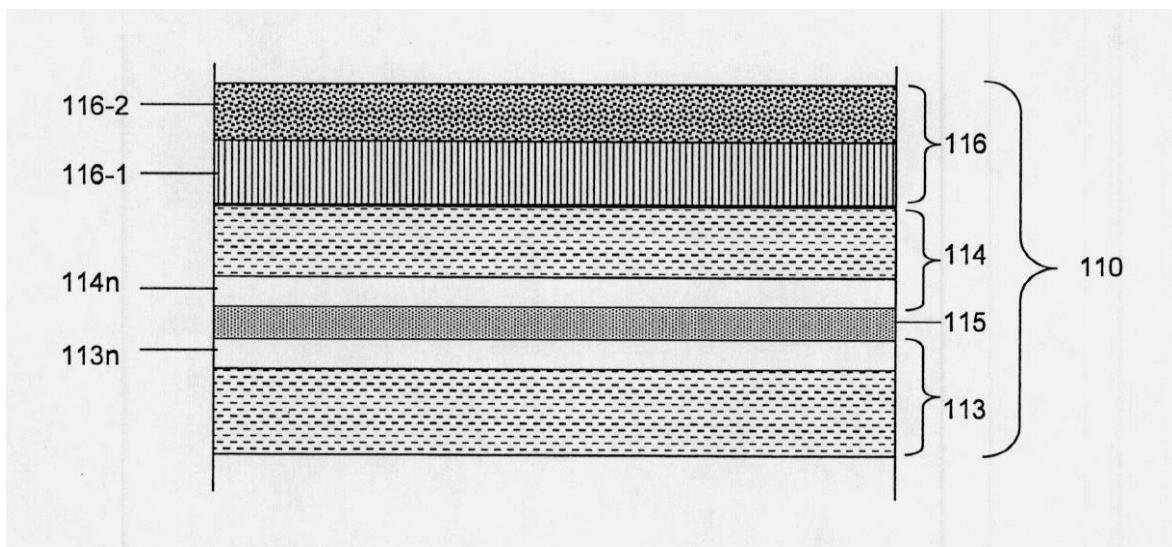
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H 0 1 F 10/26 (2006.01) H 0 1 F 10/26

(72)発明者 アマレンドラ・クマール・シング
シンガポール・6 2 8 5 5 3・パイオニア・クレセント・2・ショウワ・デンコー・エイチディー
・シンガポール・ピーティーイー・リミテッド内

(72)発明者 シュン・マツモト
シンガポール・6 2 8 5 5 3・パイオニア・クレセント・2・ショウワ・デンコー・エイチディー
・シンガポール・ピーティーイー・リミテッド内

(72)発明者 シャオ・ドン・チェン
シンガポール・6 2 8 5 5 3・パイオニア・クレセント・2・ショウワ・デンコー・エイチディー
・シンガポール・ピーティーイー・リミテッド内

(72)発明者 ヒロシ・カナザワ
シンガポール・6 2 8 5 5 3・パイオニア・クレセント・2・ショウワ・デンコー・エイチディー
・シンガポール・ピーティーイー・リミテッド内

F ターム (参考) 5D006 BB07 CA01 CA03 CA05 DA03 DA08 EA03 FA09
5D112 AA03 AA04 AA05 AA24 FA04 FB26
5E049 AA04 AC05 BA06 CB02 DB12 GC01

【外国語明細書】

METHOD OF FABRICATING A PERPENDICULAR MAGNETIC RECORDING MEDIUM

TECHNICAL FIELD

The present application relates generally to a method of fabricating a perpendicular magnetic recording medium and has particular utility in hard disks utilizing perpendicular magnetic recording layers.

BACKGROUND

Perpendicular magnetic recording media are being increasingly used for various applications in consumer electronics and in particular hard disks. In contrast to traditional longitudinal magnetic recording media, where the magnetic orientation of individual magnetic domains is generally parallel to the surface of the medium, perpendicular magnetic recording media have magnetic orientation of individual magnetic domains perpendicular to the surface of the medium. This allows for a much higher storage density than have been achieved in longitudinal magnetic recording media.

To meet the industry requirement for ever-increasing amounts of data storage in a given amount of hard disk area (also known as 'areal density'), continuous improvement in the arrangement of perpendicular magnetic recording media is needed. One technique in which to achieve higher areal density is to reduce the grain size of the magnetic recording media. However, applying this technique to perpendicular recording media results in a poor switching field distribution dH_c/H_c and poor crystal orientation $\Delta\theta_{50}$. This in turn results in higher media noise, which cancels any improvement in signal-to-noise ratio (SNR) obtained by using smaller grains.

SUMMARY OF THE INVENTION

A perpendicular recording medium and method of fabricating the perpendicular recording medium are provided, in which application of a negative bias voltage to the substrate during formation of an underlayer in the perpendicular recording medium results in the perpendicular recording medium having generally smaller grains, better crystal $\Delta\theta_{50}$ orientation and improved switching field distribution dH_c/H_c .

According to a first exemplary aspect, there is provided a method of forming a perpendicular magnetic recording medium, the perpendicular magnetic recording medium comprising a substrate, an underlayer on the substrate, an intermediate layer on the underlayer and a recording layer on the intermediate layer, the underlayer comprising a first soft underlayer, an

antiferromagnetically coupled Ru layer on the first soft underlayer, a second soft underlayer on the antiferromagnetically coupled Ru layer, and an orientation control layer on the second soft underlayer, the method comprising applying a negative bias voltage to the substrate during formation of the underlayer.

The negative bias voltage may be applied to the substrate during formation of at least one of: the first soft underlayer, the second soft underlayer and the orientation control layer.

The negative bias voltage may be applied to the substrate during formation of the first soft underlayer, and the method may further comprise removing the negative bias voltage during formation of a portion of the first soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer.

The portion of the first soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer may have a thickness of up to 10% of the thickness of the first soft underlayer.

The negative bias voltage may be applied to the substrate during formation of the second soft underlayer, and the method may further comprise removing the negative bias voltage during formation of a portion of the second soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer.

The portion of the second soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer may have a thickness of up to 10% of the thickness of the second soft underlayer.

The orientation control layer may comprise a first sub-layer and a second sub-layer, and the negative bias voltage may be applied to the substrate during formation of at least one of the first sub-layer and the second sub-layer.

The negative bias voltage applied may be up to 500V.

According to a second exemplary aspect, there is provided perpendicular magnetic recording medium fabricated by the method as described above.

The orientation control layer may have a face-centred cubic structure.

The orientation control layer may comprise a first sub-layer and a second sub-layer.

The first sub-layer may have an amorphous structure and the second sub-layer may have a face-centred cubic structure.

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

Preferred embodiments will now be described with reference to the accompanying figures in which:

FIG. 1 is a schematic cross-section of a perpendicular recording head over a perpendicular recording medium;

FIG. 2 is a schematic cross-section of a preferred form of the perpendicular recording medium;

FIG. 3 is a schematic cross-section of the underlayer in a first embodiment;

FIG. 4 is a schematic cross-section of the underlayer in a second embodiment;

FIG. 5 is a schematic cross-section of the first underlayer in a third embodiment;

FIG. 6 is a schematic cross-section of the first underlayer in a fourth embodiment; and

FIG. 7 is a flow chart of the preferred method of fabricating the perpendicular recording medium.

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS

Exemplary embodiments of a perpendicular recording medium 103 and a method 700 of fabrication of the exemplary embodiments will be described below with reference to FIGS. 1 to 7.

As shown in FIG. 1, an exemplary perpendicular recording system 100 has a magnetic recording head (read-write device) 102 and a perpendicular recording medium 103. The magnetic recording head 102 has a reader unit consisting of a magnetoresistive sensor 104 flanked by shields 105a and 105b. The magnetic recording head 102 also has a writer unit consisting of a write pole 107 and a return pole 106. During a writing operation, write flux travels from the write pole 107 through a path 108 in the perpendicular recording medium 103 and returns to the return pole 106.

The perpendicular recording medium 103 comprises a substrate 109, an underlayer 110, an intermediate layer 111 and a recording layer 112. An exemplary schematic cross-section (not to scale) of the structure of a preferred form perpendicular recording medium 103 is shown in FIG. 2. As can be seen, the underlayer 110 on the substrate 109 comprises a first soft underlayer 113 and a second soft underlayer 114 with a layer of antiferromagnetically coupled ruthenium (AFC) Ru 115 between the first and second soft underlayers 113, 114. The underlayer 110 also comprises an orientation control layer 116. The orientation control layer 116 is arranged on the second soft underlayer 114, with the intermediate layer 111 being arranged on the

orientation control layer 116. The recording layer 112, a protective layer 119, and a lubricant layer 120 are formed subsequently on the intermediate layer 111.

The substrate 109 of the perpendicular recording medium 103 is made of aluminium (Al) or Al alloy in the preferred embodiment. Where necessary or desired, the substrate 109 may be made of materials such as glass, silicon, or silicon carbide instead. The average surface roughness of the substrate 109 in the preferred embodiment is not higher than 0.3 nm, and not less than 0.1 nm. For example, surface roughness between 0.2 nm and 0.1 nm is acceptable taking into account flyability of the recording head 102.

The first and second soft underlayers 113, 114 are formed of a soft magnetic material (i.e. a material that is easily magnetized and demagnetized). In the preferred embodiment, the soft magnetic material is cobalt alloy with either cobalt (Co) or iron (Fe) as the base alloy, and with one or more additives selected from the group consisting of: tantalum (Ta), niobium (Nb), zirconium (Zr), silicon (Si), boron (B), carbon (C), aluminium (Al), chromium (Cr). The additive is within the range of 0 to 20 at%. The first and second soft underlayers 113, 114 and the (AFC) Ru layer 115 together preferably have a total thickness of between 20 nm and 80 nm. The first and second soft underlayers 113, 114 have an amorphous structure. The advantage of having an amorphous structure is that it helps obtain better crystal orientation of grains in the perpendicular medium structure.

The orientation control layer 116 functions to control the grains, crystal growth and crystal orientation in the recording layer 112. The orientation control layer is preferably of a nickel (Ni) alloy, platinum (Pt), tantalum (Ta), or palladium (Pd) alloy. The thickness of the orientation control layer 116 is between 1 nm and 15 nm in the preferred embodiment. A thinner orientation control layer 116 may not provide the desired improved crystal growth and orientation of the grains in the recording layer 112, while a thicker orientation control layer 116 may result in an increase in the head-to-soft-underlayer spacing and therefore may undesirably decrease writeability. The orientation control layer 116 preferably has a face-centred cubic (fcc) structure.

In the preferred embodiments of the underlayer 110 as shown in FIGS. 3 to 6, a negative bias voltage may be applied to the substrate 109 during formation of one or both of the first and second soft underlayers 113, 114 as well as the orientation control layer 116. However, no bias voltage is applied during formation of a portion of either of the first and second soft underlayers 113n, 114n adjacent the (AFC) Ru layer 115.

FIG. 3 shows a first embodiment of the underlayer 110 in which a negative bias voltage was applied to the substrate 109 during formation of the first soft underlayer 113. The negative bias

voltage was removed when forming a portion of the first soft underlayer 113n adjacent the (AFC) Ru layer 115. The portion 113n adjacent the (AFC) Ru layer 115 is up to 10% of the thickness of the first soft underlayer 113. No negative bias voltage was applied to the substrate during formation of the second soft underlayer 114.

FIG. 4 shows a second embodiment of the underlayer 110 in which a negative bias voltage was applied to the substrate 109 during formation of the second soft underlayer 114. The negative bias voltage was removed when forming a portion of the second soft underlayer 114n adjacent the (AFC) Ru layer 115. The portion 114n adjacent the (AFC) Ru layer 115 is up to 10% of the thickness of the first soft underlayer 114. No bias voltage was applied to the substrate during formation of the first soft underlayer 113.

FIG. 5 shows a third embodiment of the underlayer 110 in which a negative bias voltage was applied to the substrate 109 during formation of the first soft underlayer 113. The negative bias voltage was removed when forming a portion of the first soft underlayer 113n adjacent the (AFC) Ru layer 115. A negative bias voltage was also applied to the substrate 109 during formation of the second soft underlayer 114. The negative bias voltage was removed when forming a portion of the second soft underlayer 114n adjacent the (AFC) Ru layer 115. The portions 113n, 114n adjacent the (AFC) Ru layer 115 are up to 10% of the thickness of the first and second soft underlayers 113, 114 respectively.

For the first, second and third embodiments shown in FIGS. 3 to 5, the orientation control layer 116 may be formed with or without simultaneous application of a negative bias voltage to the substrate 109.

FIG. 6 shows a fourth embodiment of the underlayer 110 in which the first and second soft underlayers 113, 114 are formed in the same way as that of the third embodiment shown in FIG. 5. However, in the fourth embodiment of FIG. 6, the orientation control layer 116 comprises a first sub-layer 116-1 and a second sub-layer 116-2. The first sub-layer 116-1 is arranged on the second soft underlayer 114. Formation of each of the first and second sub-layers 116-1, 116-2 may be performed with or without simultaneous application of a negative bias voltage to the substrate 109. Preferably, the first sub-layer 116-1 has an amorphous structure while the second sub-layer 116-2 has a fcc structure.

By applying a negative bias voltage of up to 500 V to the substrate 109 during formation of the underlayer 110, that is, during formation of one or more of the first soft underlayer 113, the second soft underlayer 114 and the orientation control layer 116, smaller grains with better Co c-axis orientation are obtained in the recording layer 112.

The intermediate layer 111 of the perpendicular recording medium 103 functions to control orientation of the grains of the recording layer 112, and to provide better segregation of grains in the recording layer 112. The intermediate layer 111 comprises Ru or a Ru-alloy. Other alloys may be used to decrease the grain size of the recording layer 112. The thickness of the intermediate layer 111 is between 10 nm and 30 nm.

The recording layer 112 comprises one or more of Co, Cr and Pt (preferably a Co-alloy) with an oxide, and has an easy axis orientation perpendicular to the film normal. The recording layer 112 also comprises the additives of B, Zr, W, Ti, Ta, Ru for further improvement in the SNR. The recording layer preferably comprises multiple granular recording layers, and an upper continuous recording layer. The thickness of the recording layer 112 is preferably between 20 nm and 70 nm to maintain sufficient signal output, SNR and overwrite characteristic.

The protective layer 119 functions to prevent damage to the surface of the perpendicular recording medium 103, and additionally helps to prevent corrosion. The protective layer 119 comprises one of the following materials: C, Ru, or SiO₂. The thickness of the preferred form protective layer 119 is between 1 nm and 5 nm.

The lubricant layer 120 comprises one of the following materials: perfluoropolyether, a fluorinated alcohol, tetraol, Z-dol, A20H.

A preferred method 700 of fabricating the perpendicular recording medium will now be described with reference to the flow chart of FIG. 7. The steps relevant to the present invention are shown in solid boxes while steps not relevant to the present invention are shown in dashed boxes.

The method 700 begins with forming the first soft underlayer 113 on the substrate 109 (701), forming the (AFC) Ru layer 115 on the first soft underlayer 113 (702), and forming the second soft underlayer 114 on the (AFC) Ru layer 115 (703). A negative bias voltage is applied to the substrate 109 during formation of at least one of the first soft underlayer 113 and the second soft underlayer 114.

No bias voltage is applied to the substrate 109 when forming a portion 113n of the first soft underlayer 113 adjacent the (AFC) Ru layer 115 or when forming a portion 114n of the second soft underlayer 114 adjacent the (AFC) Ru layer 115. For example, if a negative bias voltage is applied to the substrate 109 during formation of the first soft underlayer 113, the negative bias voltage is removed during formation of the portion 113n of the first soft underlayer adjacent the

(AFC) Ru layer 115. Similarly, if a negative bias voltage is applied to the substrate 109 during formation of the second soft underlayer 114, the negative bias voltage is removed during formation of the portion 114n of the second soft underlayer adjacent the (AFC) Ru layer 115.

The orientation control layer 116 is then formed on the second soft underlayer 114 (704). A negative bias voltage may also be applied to the substrate 109 during formation of at least a portion of the orientation control layer 116. For example, where the orientation control layer 116 comprises a first sub-layer 116-1 and a second sub-layer 116-2, the negative bias voltage may be applied to the substrate 109 during formation of at least one of the first sub-layer 116-1 and the second sub-layer 116-2.

After formation of the orientation control layer 116 (704), the intermediate layer 111 is formed on the orientation control layer 116 (705). The recording layer 112 is then formed on the intermediate layer 111 (706), followed by formation of the protective layer 119 on the recording layer 112 (707), and formation of the lubricant layer 120 on the protective layer 119 (708).

Examples

In the non-limiting examples described below, all of the layers of the perpendicular recording medium 103 were fabricated by DC magnetron sputtering (INTERVAC, 250 B) except for the protective layer 119, which was formed by chemical vapour deposition. The fabrication was performed in a vacuum chamber maintained at an internal vacuum level of 10^{-5} or less.

Four examples of different underlayers 110 were formed. Examples 1, 2, 3 and 4 comprised orientation control layers 116 with thicknesses of 8 nm, 6 nm, 4 nm and 2 nm respectively. The four examples were formed without application of any bias voltage to the substrates 109 during formation of the underlayers 110.

Four control examples were also formed comprising orientation control layers 116 with the same thicknesses of 8 nm, 6 nm, 4 nm and 2 nm. For each of the four comparative examples, a negative bias voltage was applied to the substrate 109 during formation of the underlayer 110 as described above.

Magnetic properties and switching field distribution (dH_c/H_c) were measured by P-KERR BH-810-CPC SD2 (Neork). Theta 2 theta and Co c-axis orientation were measured with a Rigaku X-Ray Diffractometer. Grain size was estimated with the Sheror equation based on in-plane theta-2theta measurement.

Table 1 below shows the resulting coercivity H_c , nucleation field H_n , grain size and Co c-axis orientation obtained for the four examples and comparative examples formed.

Example / Comparative (Comp.) Example	Orientation control layer thickness (nm)	Negative bias voltage on during underlayer formation?	dH_c/H_c	H_c (Oe)	H_n (Oe)	Grain Size (nm)	Co c-axis orientation ($\Delta\theta_{50}$)
1	8	No	0.063	4854	2218	9.1	3.443
2	6	No	0.072	4733	2100	8.8	3.330
3	4	No	0.076	4546	1921	8.2	3.488
4	2	No	0.089	3990	1471	6.4	3.583
Comp. 1	8	Yes	0.061	4994	2317	10.0	3.251
Comp. 2	6	Yes	0.065	4857	2192	8.8	3.281
Comp. 3	4	Yes	0.072	4677	2021	8.6	3.167
Comp. 4	2	Yes	0.080	4165	1575	6.8	3.193

Table 1

From the results, it can be seen that applying a negative bias voltage to the substrate 109 during formation of the underlayer 110 resulted in higher coercivity H_c , nucleation field H_n .

The switching field distribution (dH_c/H_c) and Co c-axis orientation were also improved with application of the negative bias voltage, as shown by the lowering of the dH_c/H_c and $\Delta\theta_{50}$ values. In general, application of negative bias voltage or the bias process results in relatively smaller grains with better switching field distribution (dH_c/H_c) and $\Delta\theta_{50}$ values. Normally, smaller grain media have poor switching field distribution (dH_c/H_c) and higher $\Delta\theta_{50}$. However, applying the bias process can result in better switching and Co c-axis orientation while retaining the overall smaller grains, although there is slight increase in grain size.

The foregoing describes preferred embodiments, which, as will be understood by those skilled in the art, may be subject to variations or modifications in design, construction or operation without departing from the scope of the claims.

1. A method of forming a perpendicular magnetic recording medium, the perpendicular magnetic recording medium comprising a substrate, an underlayer on the substrate, an intermediate layer on the underlayer and a recording layer on the intermediate layer, the underlayer comprising a first soft underlayer, an antiferromagnetically coupled Ru layer on the first soft underlayer, a second soft underlayer on the antiferromagnetically coupled Ru layer, and an orientation control layer on the second soft underlayer, the method comprising applying a negative bias voltage to the substrate during formation of the underlayer.
2. The method of claim 1, wherein the negative bias voltage is applied to the substrate during formation of at least one of: the first soft underlayer, the second soft underlayer and the orientation control layer.
3. The method of claim 1 or claim 2, wherein the negative bias voltage is applied to the substrate during formation of the first soft underlayer, and further comprising removing the negative bias voltage during formation of a portion of the first soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer.
4. The method of claim 3, wherein the portion of the first soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer has a thickness of up to 10% of the thickness of the first soft underlayer.
5. The method of any one of the preceding claims, wherein the negative bias voltage is applied to the substrate during formation of the second soft underlayer, and further comprising removing the negative bias voltage during formation of a portion of the second soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer.
6. The method of claim 5, wherein the portion of the second soft underlayer adjacent the antiferromagnetically coupled Ru layer has a thickness of up to 10% of the thickness of the second soft underlayer.
7. The method of any one of the preceding claims, wherein the orientation control layer comprises a first sub-layer and a second sub-layer, and the negative bias voltage is applied to the substrate during formation of at least one of the first sub-layer and the second sub-layer.

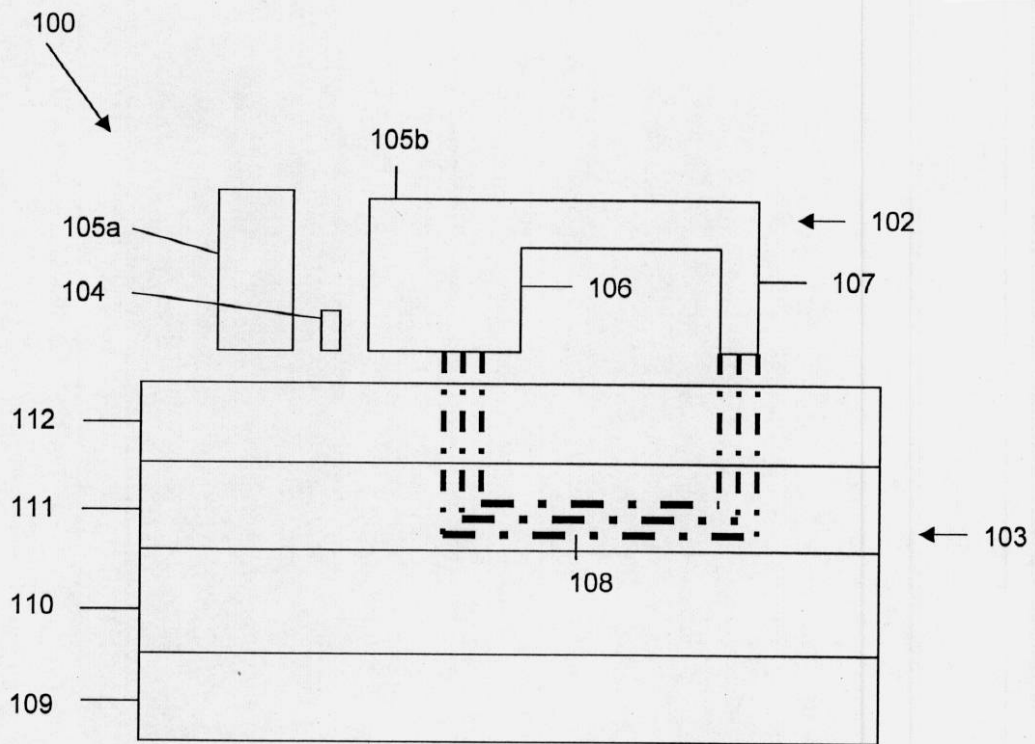
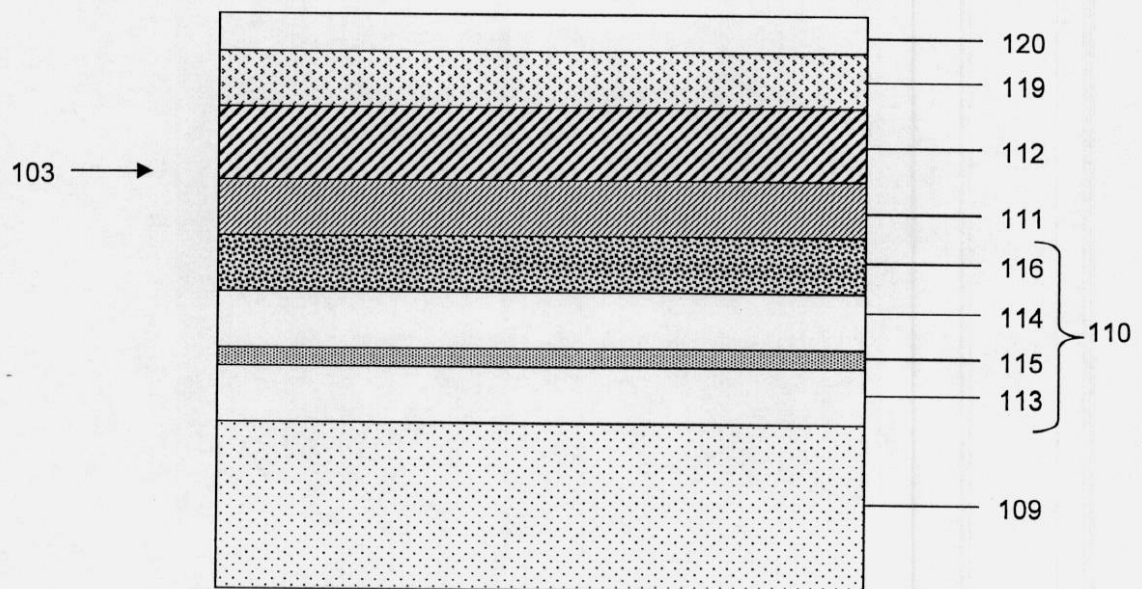
8. The method of any one of the preceding claims, wherein the negative bias voltage applied is up to 500V.
9. A perpendicular magnetic recording medium fabricated by the method of any one of the preceding claims.
10. The perpendicular magnetic recording medium of claim 9, wherein the orientation control layer has a face-centred cubic structure.
11. The perpendicular magnetic recording medium of claim 9 or claim 10, wherein the orientation control layer comprises a first sub-layer and a second sub-layer.
12. The perpendicular magnetic recording medium of claim 11, wherein the first sub-layer has an amorphous structure and the second sub-layer has a face-centred cubic structure.

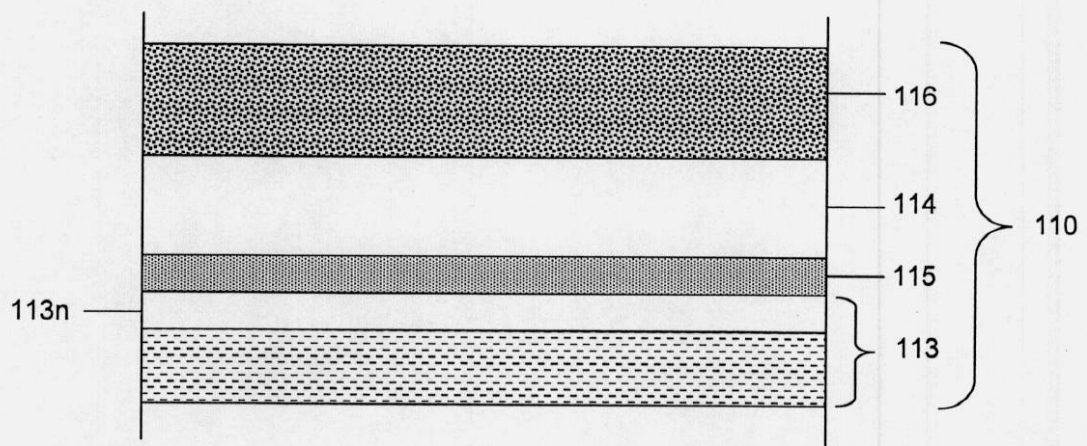
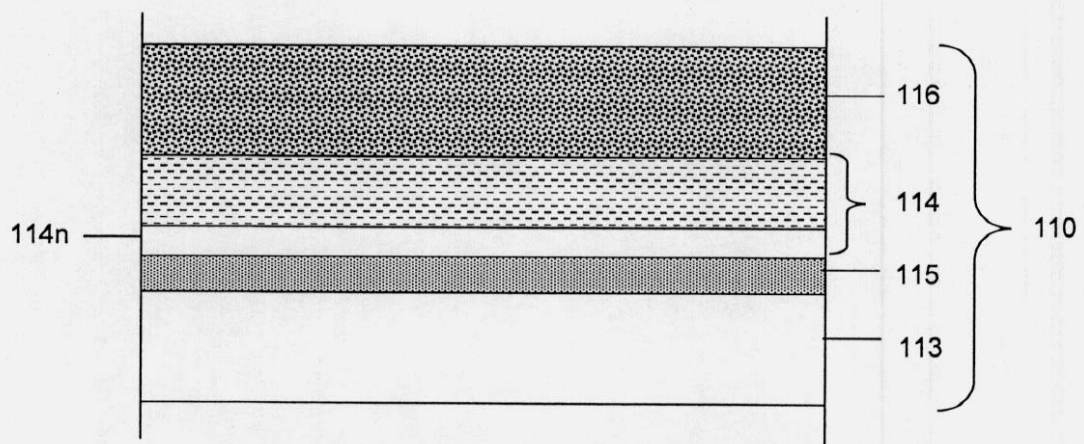
1 Abstract

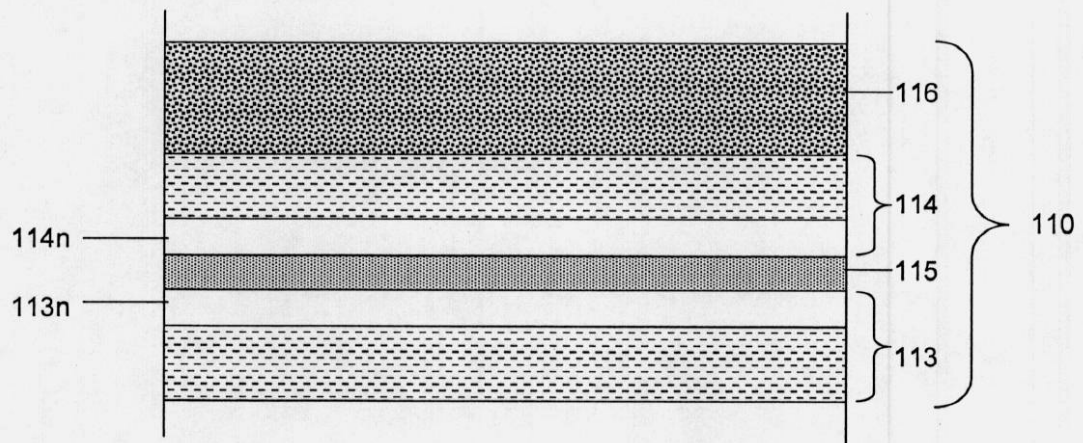
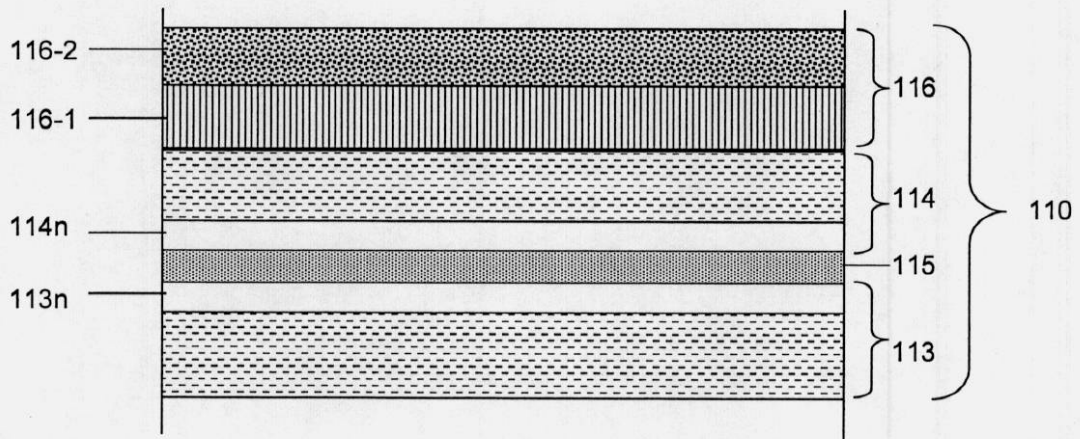
A method of forming a perpendicular magnetic recording medium. The perpendicular magnetic recording medium comprises a substrate, an underlayer on the substrate, an intermediate layer on the underlayer and a recording layer on the intermediate layer. The underlayer comprises a first soft underlayer, an antiferromagnetically coupled Ru layer on the first soft underlayer, a second soft underlayer on the antiferromagnetically coupled Ru layer, and an orientation control layer on the second soft underlayer, the method comprises applying a negative bias voltage to the substrate during formation of the underlayer.

2 Representative Drawing

Fig.7

**FIG. 1****FIG. 2**

**FIG. 3****FIG. 4**

**FIG. 5****FIG. 6**

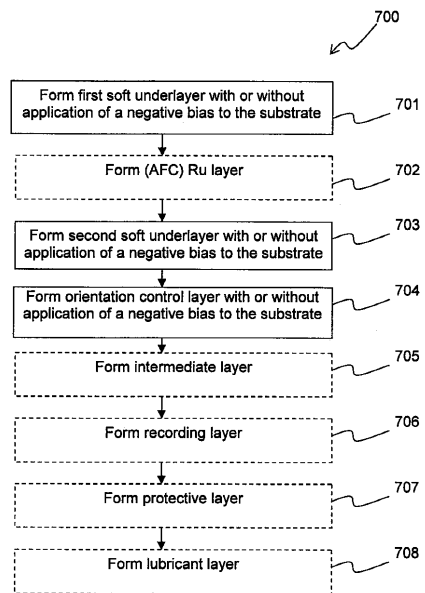


FIG. 7