

明 細 書

発明の名称：垂直磁気記録媒体の製造方法

技術分野

[0001] 本明細書に構成例のいくつかが開示される発明は、垂直磁気記録媒体の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、磁気記録の高密度化の要請が著しい。磁気記録の高密度化を実現する技術として、垂直磁気記録方式が採用されている。この方式に基づいた垂直磁気記録媒体は、非磁性基板と、硬質磁性材料を含む磁気記録層を少なくとも含む。垂直磁気記録媒体は、前記要素に加え、軟磁性材料から形成され、磁気ヘッドが発生する磁束を磁気記録層に集中させる役割を担う軟磁性裏打ち層、磁気記録層の硬質磁性材料を目的の方向に配向させるための下地層、磁気記録層の表面を保護する保護膜などを、任意選択的に、更に含んでいてもよい。

[0003] 垂直磁気記録媒体の磁気記録層を形成するための材料として、グラニューラ磁性材料が用いられる。このグラニューラ磁性材料は、磁性材料と非磁性材料とから構成され、磁性結晶粒と、磁性結晶粒の周囲を取り囲むように偏析した非磁性材料から構成されるグラニューラ構造をもたらす。磁性材料は、近年では例えば規則合金が注目されており、非磁性材料には、炭素系、酸化物系、窒化物系等が知られている（例えば、特許文献1等を参照）。

[0004] 垂直磁気記録媒体では、グラニューラ磁性材料として各種材料が提案されているが、磁性結晶粒としての規則合金と、非磁性材料との組み合わせによっては、磁気記録層の膜厚が大きくなると、非磁性材料が磁性結晶粒の粒界のみならず磁性結晶粒の表面にも析出し、磁性結晶粒の成長を妨げるという現象が起こることがある（非特許文献1参照）。このような表面への析出が起こった後に、更に磁気記録層の膜厚を厚くしていくと、磁性結晶粒の表面に析出した非磁性材料上に磁性結晶粒子が成長する、所謂二次成長が起こる

。このような二次成長は、結果的に、垂直磁気記録媒体の磁気異方性を低下させることになっていた。

[0005] このため、グラニューラ磁性材料に含まれる非磁性材料についても種々の材料が検討されている。例えば、特許文献2は、 B_4C を非磁性材料として用いた磁気記録層を含む垂直磁気記録媒体を開示している。特許文献2は、高い熱安定性、高い磁気異方性定数 (K_u) 等を実現できること、及びDCスパッタリング法により成膜が行えることを報告している。しかし、特許文献2は、規則合金と組み合わせて B_4C を用いることの言及はない。

[0006] 特許文献3は、 L_{10} 型の結晶構造を有する規則合金に SiO_2 等の酸化物を非磁性材料として添加したグラニューラ磁性材料を第1の磁性層に用い、このような酸化物を含まない連続層 (CAP層) としての第2の磁性層を用いた二層構造の磁性層を有する熱アシスト磁気記録媒体を開示している。特許文献3の発明では、第1の磁性層中の非磁性材料の含有率が、前記基板側から前記第2の磁性層側に向かって減少していることを特徴としており、このような構成にすることによって、過剰な非磁性材料が規則合金の結晶粒の上部に析出し、結晶粒の成長が垂直方向に分断されることを防いでいる。また、これによって、粒径が微細で、且つ、基板面に対して垂直な方向に連続成長した規則合金の結晶粒を実現している。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平08-083418号公報

特許文献2：特開2008-097824号公報

特許文献3：特開2011-154746号公報

特許文献4：特開2004-311607号公報

特許文献5：特開2003-6830号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Appl. Phys. Express, 101301, 2008

非特許文献2：富士時報 vol. 83, No. 4 2010年, 257~2

60頁

非特許文献3: R. F. Penoyer, Rev. Sci. Instr. 30(1959) p711

非特許文献4: 強磁性体の物理 (下) 近角聰信 裳華房 10~21頁

非特許文献5: T. Shimatsu, H. Uwazumi, H. Muraoka, Y. Nakamura, J. Magn Magn. Mater. 235 (2001) 273-280

非特許文献6: M. P. Sharrock, J. Appl. Phys., 76, 6413 (1994)

非特許文献7: O. Kitakami and Y. Shimada, Jpn. J. Appl. Phys., 40, 4019 (2001)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 垂直磁気記録媒体においては、高い磁気異方性を維持する必要がある。また、垂直磁気記録媒体では、グラニューラ構造中の規則合金の粒径を微細化することが望まれる（特許文献3参照）。更に、近年、熱アシスト式、マイクロ波アシスト式等のエネルギーアシスト式の磁気記録媒体が、上記の高密度化した磁気記録媒体として注目を集めている（非特許文献2参照）。これらのエネルギーアシスト式の磁気記録媒体では、磁気記録層がある程度の膜厚を有することが有利であることが、本発明者らの研究で分かってきた。このように、垂直磁気記録媒体の磁気記録層には、高い磁気異方性を維持しながら微細な規則合金で所定の膜厚を持たせるという要請が存在する。

[0010] しかし、従来から用いられている規則合金-非磁性材料の組み合わせでは、単層として十分な膜厚を実現することはできなかった。

[0011] また、近年の垂直磁気記録媒体では、規則合金からなる磁性結晶粒と、これを取り囲む非磁性結晶粒界とからなるグラニューラ構造をもたらす規則合金-非磁性材料で磁気記録層を構成する研究が盛んに行われているが、これまで十分に高い磁気異方性を維持しながら、所定の膜厚を実現した磁気記録媒体は得られていなかった。例えば、FePt-C、FePt-SiO₂等のL₁₀型の規則合金-非磁性材料には、磁気記録層の膜厚の増加に伴う、所謂磁性結晶粒の二次成長の問題、特定のシード層上でグラニューラ構造を形成

できない等の問題があることが、本発明者らの研究により明らかになってきた。

[0012] たとえば、 $L1_0$ 型のFePt-C材料をスパッタリング法によりMgO等を材料としたシード層210上に垂直な方向に堆積させると（図3A、図3B）、図2の $L1_0$ 型のFePt合金の結晶格子図に示したような、Fe原子の層とPt原子の層が交互に積層した構造（230、250）を形成する〔磁化容易軸290、図3A〕。

[0013] しかし、更に膜厚を厚くするために、FePt-Cの堆積を進めると、磁性結晶粒の表面上に炭素が回り込み、磁性結晶粒の表面上で炭素が堆積し（図3Bのd）、磁性結晶粒200の成長を妨げる（図3B）。更にFePt-Cの堆積を進めると、磁性結晶粒の二次成長が起こり〔図3C）、磁性結晶粒200'、200''〕、磁気記録層全体としての磁気異方性が低下することになる。

[0014] 従って、高い磁気異方性を維持しながら膜厚を厚くすることは、FePt-C単層では難しいことが分かった。

[0015] 一方、非磁性材料として B_4C を含む磁性材料で、グラニューラ構造を形成した磁気記録媒体が知られている（特許文献2）。しかし、この文献で実際に作製された磁気記録媒体は、規則合金を用いたものではない。

[0016] 例えば、FePt- B_4C では、MgO等を材料としたシード層210を用いると、図4に示したように、FePt磁性結晶粒200の形成は行われるが（図4A）、この磁性結晶粒を取り囲む非磁性結晶粒界320が形成されないか、形成されたとしてもわずかであり（図4B）、磁性結晶粒を互いに分離するには至らず、混合状態（400）となることが、本発明者らの研究で分かった。

[0017] 理論に拘束されるものではないが、これは、非磁性材料である B_4C が、FePt磁性結晶粒から排出されにくく、FePt磁性結晶粒が成長しても、結晶内に留まることによると考えられる。このように、非磁性材料が磁性結晶粒内に残留すると、FePt- B_4C の堆積に伴い、磁性結晶粒内で B_4C も

成長し、次第に磁性結晶粒を破壊することに繋がる。このような破壊は、磁気異方性を低下させることになる。

[0018] このように、FePt-B₄C材料も、単層では厚膜化を行うことができない場合があることが、本発明者らの研究により分かってきた。

[0019] かかる状況下で、本発明者らは、シード層上にあらかじめテンプレート層としてグラニューラー構造を有する規則合金-炭素（たとえばFePt-C）層を形成すれば、この規則合金-炭素上に規則合金-炭化物（たとえばFePt-B₄C）層がグラニューラー構造を形成して成長でき、所望の膜厚で磁気記録層を形成できることを見出した。

[0020] もっとも、磁気記録層成膜時に加熱温度を上げてても、磁気特性の均質化の改善がみられなかったことから、このようにして得られた所望の膜厚の磁気記録層中に含まれる磁性粒子毎の磁気異方性定数（K_u）のばらつきをより小さくして、磁気特性をより均質化することがさらに望まれた。

[0021] 従って、本明細書に構成例のいくつかが開示される発明は、高い磁気異方性を維持しながら、所望の膜厚を有する磁気記録層を含み、かつ磁性粒子毎の磁気異方性定数（K_u）のばらつきを小さくして、磁気特性をより均質化した、垂直磁気記録媒体の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0022] 本発明の一つの構成例の垂直磁気記録媒体の製造方法は、

（A）非磁性基板を準備する工程と、

（B）前記非磁性基板上に、少なくとも第1及び第2の磁気記録層を含む磁気記録層を積層する工程と、

（C）前記磁気記録層を積層された非磁性基板を、400℃～600℃の温度に加熱する工程と、

を含む垂直磁気記録媒体の製造方法であって、

前記工程（B）が少なくとも、前記第1の磁気記録層を形成する工程と、該第1の磁気記録層上に前記第2の磁気記録層を積層する工程とを含み、

前記第1の磁気記録層が、第1の磁性結晶粒と、前記第1の磁性結晶粒を

取り囲む第1の非磁性結晶粒界とを含むグラニュラー構造を有し、前記第1の磁性結晶粒が規則合金で構成され、前記第1の非磁性結晶粒界が炭素で構成され、

前記第2の磁気記録層が、第2の磁性結晶粒と、前記第2の磁性結晶粒を取り囲む第2の非磁性結晶粒界とを含むグラニュラー構造を有し、前記第2の磁性結晶粒が規則合金で構成され、前記第2の非磁性結晶粒界がホウ素及び炭素で構成される非磁性材料で構成される。

[0023] 上記の製造方法においては、あらかじめ規則合金－炭素（例えば、FePt－C）のグラニュラー構造を有する第1の磁気記録層を形成することで、該第1の磁気記録層がテンプレート層として働く。そして、このテンプレート層上に、第2の磁気記録層として規則合金－ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料のグラニュラー構造が形成・成長でき、所望の膜厚で磁気記録層を形成でき、高い磁気異方性を得ることができる。

[0024] さらに、上記の製造方法においては、上記磁気記録層を形成後、所定の温度に加熱する工程（C）を含むことにより、前記磁気記録層中の磁性粒子毎の磁気異方性定数（Ku）のばらつきを小さくして、磁気特性をより均質化することができる。

発明の効果

[0025] 上記の製造方法によれば、高い磁気異方性を維持しながら該磁性層を厚膜化でき、かつ磁性粒子毎の磁気異方性定数（Ku）のばらつきを小さくして、磁気特性をより均質化した、垂直磁気記録媒体を製造することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本発明の一つの構成例の製造方法により製造することのできる垂直磁気記録媒体の一実施形態を示す概略断面図である。

[図2]本発明の一つの構成例で使用するL1₀型の規則合金の結晶構造を表す概略図である。

[図3A]磁気記録層のグラニュラー磁性材料（FePt－C）の成長の過程の問題点を説明するための概略図である。

[図3B]磁気記録層のグラニューラー磁性材料 ($\text{FePt}-\text{C}$) の成長の過程の問題点を説明するための概略図である。

[図3C]磁気記録層のグラニューラー磁性材料 ($\text{FePt}-\text{C}$) の成長の過程の問題点を説明するための概略図である。

[図4A]磁気記録層のグラニューラー磁性材料 ($\text{FePt}-\text{B}_4\text{C}$) の成長の過程を説明するための概略図である。

[図4B]磁気記録層のグラニューラー磁性材料 ($\text{FePt}-\text{B}_4\text{C}$) の成長の過程を説明するための概略図である。

[図5]実施例1、実施例2、比較例1及び比較例2の製造プロセスにより作製された層構成Aの磁気記録媒体それぞれの磁気ヒステリシス曲線〔縦軸：磁化 M (emu/cm^3)、横軸：外部磁場 H (Oe)〕である。

[図6A]比較例3の製造プロセスにより作製された層構成Bの磁気記録媒体の平面TEM観察写真である。なお、図中の $\langle D \rangle$ 及び σ は平面TEM観察像を粒径解析して得られた平均粒径と標準偏差をそれぞれ示す。

[図6B]実施例4の製造プロセスにより作製された層構成Bの磁気記録媒体の平面TEM観察写真である。なお、図中の $\langle D \rangle$ 及び σ は平面TEM観察像を粒径解析して得られた平均粒径と標準偏差をそれぞれ示す。

[図7A]比較例3の製造プロセスにより作製された層構成Bの磁気記録媒体の磁気ヒステリシス曲線〔縦軸：磁化 M (emu/cm^3)、横軸：外部磁場 H (Oe)〕である。

[図7B]実施例4の製造プロセスにより作製された層構成Bの磁気記録媒体の磁気ヒステリシス曲線〔縦軸：磁化 M (emu/cm^3)、横軸：外部磁場 H (Oe)〕である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、図1に記載される符号を用いて本発明の一つの構成例の製造方法につき説明する。

[0028] 〔工程(A)について〕

非磁性基板を準備する工程である。

[0029] 非磁性基板 20 は、表面が平滑である様々な基板であってもよい。たとえば、磁気記録媒体に一般的に用いられる材料を用いて、非磁性基板 20 を形成することができる。例えば、NiP メッキを施した Al 合金、強化ガラス、結晶化ガラス等の材料を非磁性基板として用いることができる。

[0030] [工程 (B) について]

非磁性基板上に、少なくとも第 1 及び第 2 の磁気記録層を含む磁気記録層を積層する工程である。

[0031] (磁気記録層 60 について)

磁気記録層 60 は、少なくとも第 1 の磁気記録層 62 と第 2 の磁気記録層 64 の 2 層を含む。そして、前記第 2 の磁気記録層は前記第 1 の磁気記録層上に積層される。

[0032] 第 1 の磁気記録層 62 は、規則合金で構成される第 1 の磁性結晶粒と、この第 1 の磁性結晶粒を取り囲む、炭素で構成される第 1 の非磁性結晶粒界とを含むグラニューラー構造を有し、

第 2 の磁気記録層は、規則合金で構成される第 2 の磁性結晶粒と、この第 2 の磁性結晶粒を取り囲む、ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料で構成される第 2 の非磁性結晶粒界とを含むグラニューラー構造を有する。

[0033] 第 1 及び第 2 の磁気記録層中の第 1 の磁性結晶粒及び第 2 の磁性結晶粒を構成する規則合金は、互いに同種でも異種でもよいが、好ましくは、L₁₀型規則合金である。特に、Fe、Co、Ni 等から選択される少なくとも一種の元素と、Pt、Pd、Au、Cu、Ir 等から選択される少なくとも一種の元素とを含む L₁₀型規則合金が好ましい。より好ましくは、規則合金は FePt、CoPt、FePd、および CoPd からなる群から選択される材料で構成される L₁₀型規則合金であり、最も好ましくは、L₁₀型の FePt 規則合金である。

[0034] 前記ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料としては、種々のホウ素と炭素の 2 成分系材料を例示することができ、より具体的には BC₂~B₆C 等の種々のホウ素炭化物を含むことができる。

- [0035] 前記第1の磁気記録層中の炭素含量は、磁気特性と粒径の観点から、20～50体積%が好ましく、20～40体積%がより好ましい。
- [0036] 前記第2の磁気記録層中のホウ素及び炭素で構成される非磁性材料の含量は、磁気特性と粒径の観点から、20～50体積%が好ましく、20～30体積%であることがより好ましい。
- [0037] また、第2の非磁性結晶粒界を構成するホウ素及び炭素で構成される非磁性材料中のホウ素と炭素の原子%に基づく割合 $[B(\text{原子}\%) / C(\text{原子}\%)]$ は、磁気特性の観点から、0.3以上であることが好ましく、0.4以上であることがさらに好ましく、10以下であることが好ましく、5以下であることがさらに好ましい。
- [0038] 磁気記録層60は、更に多くの磁気記録層を積層して得られた構造を有していてもよい。例えば、磁気記録層60は、前記の第1の磁気記録層及び第2の磁気記録層を1組として、これらが複数組、積層して得られた構造を有してもよく、前記の第1の磁気記録層及び第2の磁気記録層上に、これらの磁気記録層とは組成又は構成元素の異なる材料からなる磁気記録層を更に積層した構造を有していてもよい。また、磁気記録層60は、第1の磁気記録層、第2の磁気記録層、第1の磁気記録層の順に積層された構造を有してもよい。
- [0039] (磁気記録層60の成膜について)
- 第1の磁気記録層は、規則合金を構成する金属及び炭素を混合した合金ターゲット等を用いるスパッタ法、真空蒸着法などによって、非磁性基板20上に、好ましくは後記するシード層40上に第1の磁気記録層62を形成する。
- [0040] 次に第2の磁気記録層64を第1の磁気記録層62上に形成する。規則合金を構成する金属及び所望の炭素とホウ素を混合した合金ターゲット等を用いるスパッタ法、真空蒸着法によって、第2の磁気記録層64を形成することができる。
- [0041] 本発明の一つの構成例の製造方法では、磁気記録層を成膜する時に、被成

膜基板である非磁性基板 20 または適切な構成層が形成された非磁性基板 20 を 300～500℃の温度に加熱することが、規則合金、好ましくは L1₀ 型規則合金の規則化を促進する観点で望ましい。

[0042] 本発明の一つの構成例の製造方法において、第 1 の磁気記録層 62 及び第 2 の磁気記録層 64 を形成する方法として、上記のような合金ターゲットを用いたスパッタリング法以外にも、規則合金（例えば、Fe、Pt）及び C、或いはこれらの合金を個別にスパッタリングする共スパッタ法を採用することもできる。

[0043] 本発明の一つの構成例の製造方法では、炭素で構成される第 1 の非磁性材料を含むグラニューラ構造を有する第 1 の磁気記録層 62 上に、ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料で構成される第 2 の非磁性材料を含むグラニューラ磁性材料を用いて、第 2 の磁気記録層 64 を形成する。これにより、第 1 の磁気記録層のグラニューラ構造になったグラニューラ構造の第 2 の磁気記録層 64 を効率よく形成でき、高い磁気異方性の維持及び磁気記録層 60 全体の厚膜化を実現できる。

[0044] 第 1 の磁気記録層の膜厚は、規則合金の成長阻害及び二次成長を抑制する観点から、好ましくは 4 nm 以下、より好ましくは 2～4 nm である。また、高い磁気異方性を維持する観点から、第 2 の磁気記録層の膜厚は 3～7 nm であることが好ましい。

[0045] 高い生産性および高い記録密度を両立させる観点から、磁気記録層 60 は、少なくとも 5 nm 以上、好ましくは 8 nm 以上の膜厚を有することが望ましい。磁気記録層 60 としての好ましい膜厚は、6～16 nm、より好ましくは、8～11 nm である。更に、本発明の一つの構成例の磁気記録媒体は、磁気異方性定数（Ku）の値として少なくとも $1.0 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 以上が好ましく、より好ましくは $1.2 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 以上を有する。

[0046] 〔工程（C）について〕

第 1 及び第 2 の磁気記録層を含む磁気記録層を形成された非磁性基板を、400℃～600℃の温度に加熱する工程である。前記工程（B）の磁気記

録層成膜時の加熱処理と区別するために、後加熱処理と呼ぶ場合もある。

[0047] 本工程により、磁気記録層中の磁性粒子毎の磁気異方性定数 (K_u) のばらつきを小さくして、磁気特性をより均質化することができる。

[0048] 本工程により、前記磁気記録層、特に第2の磁気記録層中のホウ素及び炭素で構成される非磁性材料の非磁性粒界中へ移動がより完全に行われて、磁気記録層中の規則合金の規則度がさらに向上すると共に、磁気特性の均質性も改善するものと考えられる。

[0049] 本工程は少なくとも前記工程 (B) の磁気記録層60形成後に行われる。

[0050] 真空中に減圧可能な熱処理炉を用いて本工程を行うことができ、好ましくは真空度が、磁性層の酸化による特性劣化を防ぐ点で 10^{-4} Pa 以下であることが好ましい。

[0051] このような磁気特性の均質化は、縦軸を磁化 M (emu/cm^3)、横軸を外部磁場 H (Oe) として得られた磁気記録媒体の磁気ヒステリシス曲線の α 値により見積もることができる。ここで、 α 値は保磁力 H_c 近傍での磁気ヒステリシス曲線の傾きであり、 $\alpha = 4\pi (dM/dH)_{H=H_c}$ である。磁気特性の均質化の観点から α 値は0.8以上であることが好ましく、1.0以上であることがより好ましく、粒子の孤立性の観点から α 値は2.0以下であることが好ましく、1.4以下であることがより好ましい。

[0052] なお、理想的なグラニューラ媒体の場合、 α 値は1になることが知られている。

[0053] すなわち、非特許文献7によれば、垂直磁化膜において、膜面垂直方向の反磁界係数を N_{film} 、グラニューラ構造の場合の粒子1個に対応する微小な反転領域内の膜面垂直方向の反磁界係数を N_B とした時、この膜の垂直方向に磁界を印加したときの磁気ヒステリシス曲線は、 $1/(N_{\text{film}} - N_B)$ で傾く。したがって、上記の α 値は $4\pi/(N_{\text{film}} - N_B)$ となる。

[0054] ここで、前記 N_{film} はおよそ 4π である。

[0055] そして、前記 N_B は微小な反転領域と膜厚 (δ) の関係で決まり、グラニューラ構造では粒径に相当する微小な反転領域の直径を D とした時、 δ/D が

大きいほど N_B は0に近づく。

[0056] したがって、グラニュー粒子が完全に孤立していて、粒径に比べて膜厚が大きい場合、 α 値は1に近づく。

[0057] また、粒子が完全に孤立していない場合は、 δ/D が小さくなるため N_B が大きい値となり、 α 値も大きい値をとる。

[0058] このように、膜全体で磁気特性が均一な状態を仮定した場合、 α 値が1以上となり、孤立粒子で δ/D が小さければ、 α 値は1に近づく。そして、 α 値が1より小さくなる場合は、膜内で磁気特性が不均一な状態の時と考えることができる。

[0059] また、上記工程（B）の磁気記録層の成膜工程においても、望ましくは加熱処理が含まれているが、該成膜工程における加熱処理では、磁気粒子が肥大化する傾向があるため、磁気粒子微細化の観点からみると不利であり、磁気記録層の成膜工程における温度を上げて、 α 値は改善しない。本工程のような磁気記録層成膜後の加熱処理であれば、所定の温度範囲にある限りは、成膜した磁気記録層中の磁性粒子を肥大化させることなく、 α 値を改善することができる。

[0060] 本工程における基板の加熱温度は、400～600℃であるが、磁気特性の均質化の観点から、400℃以上であり、加熱による粒子の肥大化防止の観点から600℃以下である。

[0061] また、本工程の加熱処理時間については、磁気特性の均質化の観点から10秒以上、より好ましくは1000秒以上、量産性の観点から2時間以下が好ましく、1000秒以下がより好ましい。

[0062] なお、特許文献4には、めっき液からCoPtまたはFePt合金磁性体にCu、Ni、Bの少なくとも1つ以上の元素が1原子%～40原子%で含まれる磁性体を析出させ、これを500℃以下のアニール処理によりL1₀規則合金化させる技術が開示されている（たとえば特許文献4の請求項8）。しかし、実際に調製されているのは、効果的にBを添加するためにNiとの共析を利用したNi及びBの添加したFe₂₈Ni₂₂Pt₄₅B₅であり（特許文献

4の段落0055-0056等)、ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料で構成されるものではないし、本願発明のように、規則合金-炭素である第1の磁気記録層をテンプレート層として働かせ、このテンプレート層上に、第2の磁気記録層として規則合金-ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料のグラニューラー構造を形成・成長させたものでもない。

[0063] また、特許文献5には、 $F_{1-x}M_x$ の組成からなるCuAu型規則構造を有し、かつ $F_{1-x}M_x$ 中のB存在率が0.01~0.30である強磁性体を非磁性マトリックス中に含む磁気記録層を形成後、200~600℃で熱処理を行うことが開示されている(特許文献5の請求項10及び16等)。 $F_{1-x}M_x$ として、特許文献5の実施例では、Bチップを配置したFe-50原子%Ptのターゲットを用いたスパッタリングにより得られた、B存在率が0~0.35のFePt合金膜が作製され、その後、 1×10^{-6} Torr以下の真空中、350℃で0.5時間加熱している(特許文献5の段落0032)。しかし、本願発明のように、規則合金-炭素である第1の磁気記録層をテンプレート層として働かせ、このテンプレート層上に、第2の磁気記録層として規則合金-ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料のグラニューラー構造を形成・成長させたものではないし、前記B存在率が0~0.35のFePt合金膜にホウ素及び炭素で構成される非磁性材料が含まれるのかどうか、仮に含まれるとしてもC含量がどの程度あるのかにつき、何ら開示していない。

[0064] また、上記特許文献4及び5いずれについても、得られる磁気記録媒体の α 値を改善して、磁気特性をより均質化する点につき、少なくとも明示の記載はない。

[0065] 〔その他任意の工程について〕

本発明の一つの構成例の垂直磁気記録媒体の製造方法においては、上記工程(A)~(C)以外に、以下に列挙するような任意の層を形成するための工程をさらに含んでも良い。

[0066] これら任意の層のうち、シード層、非磁性下地層、第2下地層、密着層などは、磁気記録層の形成工程である工程(B)よりも前に形成され、保護層

や液体潤滑剤層などは、工程（Ｂ）よりも後に形成される。

[0067] 工程（Ｂ）よりも後に形成される層のうち、液体潤滑剤層は工程（Ｃ）の後に形成される。保護層などについては、工程（Ｃ）の前に形成することも、後に形成することもできるが、磁気記録層の拡散を防ぐ観点からは、工程（Ｃ）の後に形成するのが好ましい。

[0068] 軟磁性裏打ち層

軟磁性裏打ち層は、磁気記録層への記録の際に、磁気ヘッドが発生する磁束を磁気記録層に集中させる機能を有する層である。軟磁性裏打ち層は、FeTaC、センダスト（FeSiAl）合金などの結晶性材料、またはCoZrNb、CoTaZr、CoFeZrTaなどのCo合金を含む非晶質材料を用いて、非磁性基板上に形成することができる。この場合、磁性層の形成温度で結晶化による表面粗さの変化が生じないような材料を選択する必要がある。

[0069] 軟磁性裏打ち層の膜厚は、記録に使用する磁気ヘッドの構造および特性によって最適値が変化するが、生産性との兼ね合いから、10nm以上500nm以下程度であることが望ましい。

[0070] 軟磁性裏打ち層は、周知慣用の成膜技術、たとえばスパッタ法により成膜できる。

[0071] シード層

シード層40の機能は、上層である磁気記録層60の磁性結晶粒の結晶配向等を制御することである。また、シード層40は非磁性体であることが望ましい。

[0072] より具体的には、シード層40は、磁気記録層60中の規則合金の結晶（例えばL1₀型のFePt合金等の場合）を例えば（001）に配向させることを目的とする層である。このような配向とすることで、垂直磁気記録が可能になる。

[0073] 上記の機能を達成するために、シード層40の材料は、磁気記録層60の磁性結晶粒の材料に合わせて適宜選択される。例えば、磁気記録層60の磁

性結晶粒が $L1_0$ 型規則合金で形成される場合、立方晶系の材料であることが好ましく、 $SrTiO_3$ 、 MgO 、 TiN 、 CrN 等が特に好ましく、最も好ましくは MgO である。また、上記の酸化物の混合物を用いてシード層40を形成することもできる。また、上記の材料からなる複数の層を積層して、シード層40を形成することもできる。磁気記録層60の磁性結晶粒の結晶性の向上、生産性の向上などの観点から、シード層40は、 $1\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ 、好ましくは $1 \sim 20\text{ nm}$ の膜厚を有することが望ましい。

[0074] 上記のシード層40は、スパッタ法（DCマグネトロンスパッタリング法、RFスパッタリング法を含む）、真空蒸着法などの当該技術において知られている任意の方法を用いて形成することができる。

[0075] 非磁性下地層

非磁性基板20の上に非磁性下地層を形成することができ、次いでシード層40を形成することができる。

[0076] 非磁性下地層は、軟磁性裏打ち層とシード層40との間の密着性を確保すること、およびシード層40が所望の配向を得ることができるようにさせることを目的とする層である。

[0077] 非磁性下地層は、 Cr または Cr を含む合金を用いて形成することができる。また、非磁性下地層を NiW 、 Ta 、 Cr 、あるいは、 Ta および／または Cr を含む合金による複数の層からなる積層構造としてもよい。シード層40および磁気記録層60の結晶性の向上、生産性の向上、および記録時にヘッドが発生させる磁界への最適化を考慮すると、非磁性下地層は、 5 nm 以上 30 nm 以下の膜厚を有することが望ましい。

[0078] 上記の非磁性下地層20は、スパッタ法（DCマグネトロンスパッタリング法、RFスパッタリング法を含む）、真空蒸着法などの当該技術において知られている任意の方法を用いて形成することができる。

[0079] 第2下地層

第2下地層は前記非磁性下地層の下に形成することができる。第2下地層は、その下に形成される層の結晶構造が、磁気記録層60の結晶配向性およ

び磁性結晶粒のサイズなどに及ぼす影響を遮断するために設けられる層である。また、軟磁性裏打ち層を設ける場合、軟磁性裏打ち層に対する磁気的影響を抑制するために、第2下地層は非磁性であることが要求される。第2下地層を形成するための材料は、MgO、SrTiO₃などの酸化物、あるいはTiNなどの窒化物、CrおよびTaなどの金属、NiW合金、およびCrTi、CrZr、CrTa、およびCrWなどのCrをベースとする合金を含む。シード層30は、スパッタ法などの当該技術において知られている任意の方法を用いて形成することができる。

[0080] 密着層

ガラス基板などに代表されるような非磁性基板上に、必要に応じて、Ta、Crなどの金属、又は、これらの金属系合金であるCrTiなどの密着性に優れた材料からなる密着層を形成することができる。

[0081] 保護層

磁気記録層60上に保護層80を形成することができる。保護層は、下にある磁気記録層60以下の各構成層を保護するための層である。

[0082] 前記保護層80は、磁気記録媒体の分野で慣用的に使用されている材料、例えばカーボンを主体とする材料やPt、Taなどの非磁性金属などを用いて形成することができる。また、保護層80は、単層であってもよく、積層構造を有してもよい。積層構造の保護層80は、例えば、特性の異なる2種のカーボン系材料の積層構造、金属とカーボン系材料との積層構造、または金属酸化物膜とカーボン系材料との積層構造であってもよい。保護層の膜厚は、典型的には10nm以下であることが好ましい。

[0083] 保護層80は、上述の材料を用いて、例えばスパッタ法（DCマグネトロンスパッタリング法などを含む）、真空蒸着法などの当該技術において知られている任意の方法を用いて形成することができる。

[0084] 液体潤滑剤層

さらに、任意選択的に、磁気記録媒体の分野で慣用的に使用されている材料（たとえば、パーフルオロポリエーテル系の潤滑剤など）を用いて液体潤滑剤層を形成することができる。

滑剤層を形成することもできる。液体潤滑剤層は、たとえば、ディップコート法、スピンコート法などの塗布法を用いて形成することができる。

[0085] 液体潤滑層の膜厚は、保護層の膜質等を考慮して液体潤滑層の機能を発揮できる膜厚とすることが好ましい。

[0086] その他

上記の製造方法では、上述した各種の層に加え、さらに種々の垂直磁気記録媒体に必要な層を適宜形成することができる。例えば、熱アシスト式垂直磁気記録媒体では、ヒートシンク層等を磁気記録層の下部または上部に更に形成することができる。また、磁気記録層60の上部にCAP層のような追加の層を積層してもよい。

実施例

[0087] 以下、実施例により、本発明の一つの構成例の製造方法を更に詳細に説明する。

[0088] (実施例1～3、比較例1～2)

実施例1、2、3、比較例1～2については、下記の層構成Aで積層することにより、それぞれの磁気記録媒体を得た。

[0089] 層構成A

MgO基板／

FePt-C(40体積％)(膜厚2nm)／

FePt-B(20体積％)-C(5体積％)(膜厚5nm)

[0090] 層構成Aでは、非磁性基板としてMgO基板(タテホ化学工業株式会社製)を用い、該基板上に直接、第1の磁気記録層(FePt-C層)、次いで第2の磁気記録層(FePt-B-C層)が成膜され、上記層構成Aにおける、各層の成膜は、非磁性基体を、スパッタ装置内に導入し、大気解放することなく、インライン式の成膜装置により、上記層構成Aに示される順番で行った。

[0091] より具体的には、まず、第1の磁気記録層(FePt-C層)については、真空度 1.5 Pa のArガス雰囲気中、それぞれDCパワー 40 W (FePt

t ターゲット) 及び 232W (C ターゲット) で成膜した。すなわち、上記の各層を成膜した基板を 430℃ に加熱し、成膜時の組成が、炭素含量が 40 体積% となるように、FePt ターゲット及び C ターゲットを用いて、DC マグネトロンスパッタ法により、共スパッタリングして、2nm の膜厚の第 1 の磁気記録層を成膜した。

- [0092] 第 1 の磁気記録層を成膜後、第 2 の磁気記録層 (FePt-ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料層) を、真空度 1.5Pa の Ar ガス雰囲気中、DC パワー 40W (FePt ターゲット)、47W (C ターゲット) 及び RF パワー 220W (B ターゲット) で成膜した。すなわち、上記のように第 1 の磁気記録層を成膜した基板を 430℃ に加熱した状態で、ホウ素含量が 20 体積%、炭素含量が 5 体積% となるように、FePt ターゲット、C ターゲット及び B ターゲットを用いて、DC マグネトロンスパッタ (FePt ターゲット及び C ターゲット) 及び RF マグネトロンスパッタ法 (B ターゲット) により、5nm の膜厚の第 2 の磁気記録層を成膜した。

- [0093] (実施例 4、比較例 3)

実施例 4、比較例 3 については下記の層構成 B で積層することにより、それぞれの磁気記録媒体を得た。

- [0094] 層構成 B

ガラス基板／

Ta (膜厚 5nm) ／

MgO (膜厚 5nm) ／

Cr (膜厚 20nm) ／

MgO (膜厚 5nm) ／

FePt-C (40 体積%) (膜厚 2nm) ／

FePt-B (17 体積%) - C (5 体積%) (膜厚 5nm)

- [0095] 層構成 B では、非磁性基板としてガラス基板 [化学強化ガラス基板 (HOYA 社製 N-10 ガラス基板)] を用い、Ta 密着層、MgO 第 2 下地層、Cr 下地層、MgO シード層を順に積層後、第 1 の磁気記録層 (FePt-

C層)及び第2の磁気記録層(F e P t - B - C層)を成膜した。

[0096] 上記層構成Bにおける、各層の成膜は、非磁性基体を、スパッタ装置内に導入し、大気解放することなく、インライン式の成膜装置により、上記層構成Bに示される順番で行った。

[0097] より具体的には、まずT a密着層は、純T aターゲットを用いて、A r雰囲気中でD Cマグネトロンスパッタ法により、膜厚5 n mで成膜した。

[0098] M g O第2下地層については、室温において、M g Oターゲットを用いて、R Fスパッタリング法で、膜厚5 n mのシード層を成膜した。より具体的には、真空度0. 1 P aのA rガス雰囲気中で、R Fパワー2 0 0 Wで成膜した。

[0099] C r下地層は、純C rターゲットを用いて、A r雰囲気中でD Cマグネトロンスパッタ法により、膜厚2 0 n mで成膜した。

[0100] M g Oシード層については、基板を3 0 0 °Cに加熱し、M g Oターゲットを用いて、R Fスパッタリング法で、膜厚5 n mのシード層を成膜した。より具体的には、真空度0. 1 P aのA rガス雰囲気中で、R Fパワー2 0 0 Wで成膜した。

[0101] 第1の磁気記録層(F e P t - C層)については、上記の各層を成膜した基板を4 0 0 °Cに加熱し、成膜時の組成が、炭素含量が4 0 体積%となるように調製されたF e P t 及びCを含むターゲットを用いて、D Cマグネトロンスパッタ法により、2 n mの膜厚の第1の磁気記録層を成膜した。より具体的には、真空度1. 0 P aのA rガス雰囲気中、D Cパワー1 0 0 Wで成膜した。

[0102] 第1の磁気記録層を成膜後、第2の磁気記録層(F e P t - ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料層)を成膜した。すなわち、上記のように第1の磁気記録層を成膜した基板を4 0 0 °Cに加熱した状態で、ホウ素含量が1 7 体積%、炭素含量が5 体積%となるように調製されたF e P t 及びホウ素及び炭素で構成される非磁性材料を含むターゲットを用いて、D Cマグネトロンスパッタ法により、5 n mの膜厚の第2の磁気記録層を成膜した。より具

体的には、真空度 1.0 Pa の Ar ガス雰囲気中、 DC パワー 100 W で成膜した。

[0103] (実施例 1～4 及び比較例 1 の工程 (C) の加熱処理)

実施例 1～4、比較例 1 のいずれについても、下記の表 1 に示す加熱条件で、第 1 及び第 2 の磁気記録層が成膜された非磁性基板を、真空度 $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 以下の真空中で、ULVAC 理工社製のランプ加熱炉 (MILA-3000) を用いて加熱した。昇温は目標温度まで 30 秒で到達させ、降温は自然冷却させることにより行って、実施例 1～4 及び比較例 1 の各磁気記録媒体等を得た。

[0104] これに対して、比較例 2 及び 3 については、磁気記録層成膜後の工程 (C) の加熱処理は行わなかった。

[0105] [表 1]

(表 1)

実施例	層構成	加熱温度 (°C)	加熱時間
実施例 1	A	450	1000 秒
実施例 2	A	600	1000 秒
実施例 3	A	500	2 時間
比較例 1	A	750	1000 秒
比較例 2	A	—	—
実施例 4	B	400	2 時間
比較例 3	B	—	—

[0106] (比較例 4、5)

層構成 B の作製方法に準じて、下記層構成 C の磁気記録媒体 (磁気記録層が第 1 の磁気記録層に対応する層のみの単一磁気記録層を有する) である比較例 4 及び比較例 5 (互いに磁気記録層の膜厚が異なる) を作製した。

[0107] もっとも、層構成 C においては、層構成 B にはないカーボン保護膜 (膜厚 3 nm) も形成されている。該カーボン保護膜については、 Ar ガス雰囲気中でカーボンターゲットを用いた DC マグネトロンスパッタリング法により、形成した。

[0108] 層構成 C

ガラス基板／

T a (膜厚 5 n m) /
C r (膜厚 2 0 n m) /
M g O (膜厚 5 n m) /
F e P t - C (2 5 体積%) [膜厚 7 . 8 n m (比較例 4) または 4 .
5 n m (比較例 5)] /
C (膜厚 3 n m)

もっとも、比較例 2、3 と同様、磁気記録層成膜後の工程 (C) の加熱処理を行なわなかった。

[0109] (比較例 6)

層構成 B の作製方法に準じて、下記層構成 D の磁気記録媒体 (磁気記録層が第 2 の磁気記録層に対応する層のみの単一磁気記録層を有する) である比較例 6 を作製した。

[0110] もっとも層構成 D においては、層構成 B にはないカーボン保護膜 (膜厚 3 n m) も形成されている。該カーボン保護膜については、A r ガス雰囲気中でカーボンターゲットを用いた D C マグネトロンスパッタリング法により、形成した。

[0111] 層構成 D

ガラス基板 /
T a (膜厚 5 n m) /
C r (膜厚 2 0 n m) /
M g O (膜厚 5 n m) /
F e P t - B (2 0 体積%) - C (5 体積%) (膜厚 4 n m) /
C (膜厚 3 n m)

[0112] (磁気性能評価)

磁気記録媒体の評価は、磁気異方性定数 (K u) を評価することにより行った。具体的には、PPMS 装置 (P h y s i c a l P r o p e r t y M e a s u r e m e n t S y s t e m) (Q u a n t u m D e s i g n 社製) を用い、自発磁化の磁場印可角度依存性を評価し、試料振動型磁力計

(VSM)を用いて飽和磁化(M_s)を求め、非特許文献3及び4に基づいて K_u 値を算出した。

[0113] 上記磁気異方性定数に加え、保磁力(H_c)、磁気ヒステリシス曲線〔縦軸：磁化 M (emu/cm³)、横軸：外部磁場 H (Oe)〕の α 値(保磁力近傍での磁化曲線の傾き)及び活性化体積 V から算出される磁気粒子の粒径(D_n)を求めた。なお、磁気ヒステリシス曲線の α 値は、理想的なグラニュー媒体の場合、 $\alpha = 1$ になることが知られている。

[0114] 具体的な測定方法は、PPMS装置を用い磁気ヒステリシス曲線を評価し、VSMを用いて得た飽和磁化(M_s)から、保磁力(H_c)付近の傾き(dM/dH)から α を求めた。なお、 α は0.8以上、2.0以下を良好な範囲とした。

[0115] また、磁気粒子の粒径(D_n)は、活性化体積 V_{act} を求め、これを膜厚で割り、磁気粒子が円柱形状であるとした場合の粒径に換算したものである(非特許文献5参照)。また、活性化体積 V_{act} は保磁力の周波数依存性から算出した(非特許文献6参照)。

[0116] 結果を表2にまとめた。

[0117] [表2]

(表2)

	層構成 (磁気記録層の単複 ^{*1})	工程 (C) 加熱温度(°C)	磁気記録層の 膜厚(nm)	保磁力 H_c (kOe)	磁気異方性定数 K_u (10 ⁶ erg/cm ³) (10 ⁵ J/m ³)	α 値	磁気粒子粒径 D_n (nm)
実施例1	A (複)	450	7	14.93	14.3	0.91	6.25
実施例2	A (複)	600	7	14.38	16.5	1.29	6.20
実施例3	A (複)	500	7	—	15.2	0.99	6.1
比較例1	A (複)	750	7	20.59	32.3	3.1	8.17
比較例2	A (複)	— ^{*2}	7	14.95	12.4	0.67	6.35
実施例4	B (複)	400	7	18.5	18.4	1.33	6.62
比較例3	B (複)	— ^{*2}	7	—	15.7	0.79	7.60
比較例4	C (単)	— ^{*2}	7.8	9.3	6.35	0.4	—
比較例5	C (単)	— ^{*2}	4.5	9.3	9.87	0.4	—
比較例6	D (単)	— ^{*2}	4	1.2	5.11	7.4	—

[0118] * 1 : 複 : 第 1 の磁気記録層及び第 2 の磁気記録層を有する。

単 : 単一の磁気記録層を有する。

* 2 : 工程 (C) の加熱工程を含まない。

[0119] 上記表 2 から明らかなように、400～600℃の温度で工程 (C) の加熱処理を行った実施例 1～4 においては、 α 値はすべて 0.8～2.0 の範囲に入る良好な値を示し、磁気特性の均質性が良好であることがわかる。磁気異方性定数の値も $14.3 \sim 18.4 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ の良好な値を示している。

[0120] 特に同じ層構成 A である実施例 2 と比較例 2 を比べた場合、工程 (C) の加熱処理を行わなかった比較例 2 では、 α 値は 0.67 と理想的な値である 1 よりもかなり低く、磁気特性が不均一な状態と考えられるのに対して、特に 600℃で工程 (C) の加熱処理をした実施例 2 では α 値が 1.29 という 1 以上の値となり磁気特性が均一な状態であるとともに、理想的な値である 1 に近い値となっており、成膜した磁気記録層中の磁性粒子が肥大化していないと考えられる。

[0121] 同様に、同じ層構成 B をとる実施例 4 と比較例 3 を比べた場合にも、工程 (C) の加熱処理を行わなかった比較例 3 では、 α 値は 0.79 と理想的な値である 1 よりも低く、磁気特性が不均一な状態と考えられるのに対して、工程 (C) の加熱処理 (400℃) をした実施例 4 では α 値が 1.33 という 1 以上の値となり磁気特性が均一な状態であるとともに、理想的な値である 1 に近い値となっており、成膜した磁気記録層中の磁性粒子が肥大化していないと考えられる。

[0122] なお、同じ層構成 A である実施例 2 及び比較例 2 共に、第 1 及び第 2 の磁気記録層成膜時には 430℃での工程 (B) の加熱処理を同様に行っており、また、同じ層構成 B である実施例 4 及び比較例 3 でも、第 1 及び第 2 の磁気記録層成膜時には 400℃での工程 (B) の加熱処理を同様に行っていた。このことは、工程 (C) の磁気記録層成膜後の加熱処理ではなく、工程 (B) の磁気記録層成膜時の加熱処理では磁気特性の均質化の改善は期待でき

ないことを示している。

[0123] これに対して、比較例 1 では、磁気異方性定数はかなり高いものの、磁気粒子が肥大化してしまい、 α 値が好ましい範囲よりも大きかった。これは工程 (C) の加熱温度が高すぎたためであると考えられる。

[0124] 比較例 4、5 は、第 1 の磁気記録層に対応する磁気記録層のみを有する磁気記録媒体であり、実施例の層構成と単純な比較はできないものの、 α 値が、好ましい α 値の範囲よりも低かった。また、実施例 1～4 に比べて、磁気異方性定数の点でも劣ると考えられる。

[0125] 比較例 6 は、第 2 の磁気記録層に対応する磁気記録層のみを有する磁気記録媒体であり、実施例の層構成と単純な比較はできないものの、 α 値が、好ましい α 値の範囲よりもずっと大きかった。また、磁気異方性定数も実施例 1～4 に比べて、劣ると考えられる。

[0126] なお、図 5 では、層構成 A を有する実施例 1、2 及び比較例 1、2 の縦軸を磁化 M (emu/cm^3)、横軸を外部磁場 H (Oe) とする磁気ヒステリシス曲線を示す。工程 (C) の加熱処理のない比較例 2、工程 (C) の加熱処理温度が 450°C である実施例 1、工程 (C) の加熱処理温度が 600°C である実施例 2、工程 (C) の加熱処理温度が 750°C である比較例 1 と、温度が上昇するにつれて、保磁力近傍での磁化曲線の傾きである α 値が増加しており、磁気特性の均質化傾向がみられる。もっとも、磁性粒子を肥大化させない範囲で磁気特性の均質化がなされた点で、実施例 2 がもっとも好ましい。

[0127] また、図 6 A、図 6 B 及び図 7 A、図 7 B には層構成 B を有する比較例 3 [図 6 A、図 7 A] 及び実施例 4 [図 6 B、図 7 B] の製造方法で得られた磁気記録媒体の平面 TEM 観察写真及び、縦軸を磁化 M (emu/cm^3)、横軸を外部磁場 H (Oe) とする磁気ヒステリシス曲線を示す。比較例 3 は、実施例 4 において工程 (C) の加熱処理を省略した場合であるが、図 6 A、図 6 B から平均粒径 $\langle D \rangle$ はほぼ同じであり、工程 (C) の加熱処理による粒子の肥大化は生じていないことを示す。また、図 7 A、図 7 B から、工

程（C）の加熱処理により、保磁力近傍での磁化曲線の傾きである α 値が0.79から1.33に増加しており、磁気特性の均質化が生じたことを示す。

産業上の利用可能性

[0128] 本発明の一つの構成例の製造方法の磁気記録媒体の製造方法は、熱アシスト式、マイクロ波アシスト式等のエネルギーアシスト式の磁気記録媒体を含めた、垂直磁気記録媒体を含む磁気記録装置に利用可能な磁気記録媒体を提供しうる。

符号の説明

- [0129] 20 非磁性基板
40、210 シード層
60 磁気記録層
62 第1の磁気記録層
64 第2の磁気記録層
80 保護層
100 磁気記録媒体
200 磁性結晶粒
230 規則合金の第1成分
250 規則合金の第2成分
270 非磁性結晶粒界
290、292、294 磁化容易軸
320 規則合金の添加材料（非磁性材料）の析出部分
400 磁性結晶粒（200）と非磁性材料（320）の混合領域

請求の範囲

[請求項1]

(A) 非磁性基板を準備する工程と、
(B) 前記非磁性基板上に、少なくとも第1及び第2の磁気記録層を含む磁気記録層を積層する工程と、
(C) 前記磁気記録層を積層された非磁性基板を、400℃～600℃の温度に加熱する工程と、
を含む垂直磁気記録媒体の製造方法であって、
前記工程(B)が少なくとも、前記第1の磁気記録層を形成する工程と、該第1の磁気記録層上に前記第2の磁気記録層を形成する工程とを含み、
前記第1の磁気記録層が、第1の磁性結晶粒と、前記第1の磁性結晶粒を取り囲む第1の非磁性結晶粒界と、を含むグラニューラ構造を有し、前記第1の磁性結晶粒が規則合金で構成され、前記第1の非磁性結晶粒界が炭素で構成され、
前記第2の磁気記録層が、第2の磁性結晶粒と、前記第2の結晶粒を取り囲む第2の非磁性結晶粒界と、を含むグラニューラ構造を有し、前記第2の磁性結晶粒が規則合金で構成され、前記第2の非磁性結晶粒界がホウ素及び炭素で構成される非磁性材料で構成される、垂直磁気記録媒体の製造方法。

[請求項2]

前記工程(C)の加熱時間が、10秒～2時間である、請求項1に記載の垂直磁気記録媒体の製造方法。

[請求項3]

前記ホウ素及び炭素で構成される非磁性材料中のホウ素と炭素の原子%に基づく割合 $[B(\text{原子}\%) / C(\text{原子}\%)]$ が0.3～1.0である、請求項1に記載の垂直磁気記録媒体の製造方法。

[請求項4]

前記第1及び第2の磁性結晶粒に含まれる規則合金が、互いに同種のまたは異種のL1₀型規則合金である、請求項1に記載の垂直磁気記録媒体の製造方法。

[請求項5]

前記L1₀型規則合金がFe及びPtを含む、請求項4に記載の垂

直磁気記録媒体の製造方法。

- [請求項6] 前記工程（A）の非磁性基板がシード層を備え、前記工程（B）が該シード層上に前記第1の磁気記録層を形成する工程を含む、請求項1に記載の垂直磁気記録媒体の製造方法。
- [請求項7] 製造される前記垂直記録媒体の磁気ヒステリシス曲線〔縦軸：磁化（ emu/cm^3 ）、横軸：外部磁場（ Oe ）〕の α 値が $0.8 \sim 2.0$ である、請求項1に記載の垂直磁気記録媒体の製造方法。