(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 6 月 12 日(12.06.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/087672 A1

(51) 国際特許分類:
G11B 5/66 (2006.01) *G11B 5/65* (2006.01)
G11B 5/64 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/007213

(22) 国際出願日: 2013 年 12 月 6 日(06.12.2013)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2012-267588 2012 年 12 月 6 日(06.12.2012) JP

(71) 出願人: 富士電機株式会社(FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 内田　真治(UCHIDA, Shinji); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 片岡　弘康(KATAOKA, Hiroyasu); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 菊池　洋人(KIKUCHI, Hiroto); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 古田　旭(FURUTA, Akira); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 島津　武仁(SHIMATSU, Takehito); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号東北大学内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人　谷・阿部特許事務所(TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤坂２丁目６－２０ Tokyo (JP).

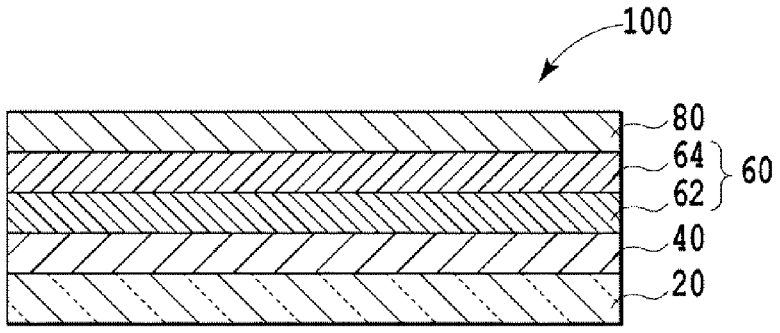
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) **Title**: PERPENDICULAR MAGNETIC RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称 : 垂直磁気記録媒体



(57) **Abstract**: The present invention provides a perpendicular magnetic recording medium that includes at least a non-magnetic substrate and a magnetic recording layer, wherein the magnetic recording layer includes a plurality of layers including at least a first magnetic recording layer and second magnetic recording layer; the first magnetic recording layer has a granular structure that includes first magnetic crystal grains and a first non-magnetic crystal grain field that encloses the first magnetic crystal grains; the first magnetic crystal grain contains an ordered alloy; the first non-magnetic crystal grain field is made of carbon; the second magnetic recording layer has a granular structure that includes second magnetic crystal grains and a second non-magnetic crystal grain field that encloses the second magnetic crystal grains; the second magnetic crystal grains contain an ordered alloy; and the second non-magnetic crystal grain field is made of a carbon-containing non-magnetic material.

(57) 要約:　本発明は、非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む垂直磁気記録媒体であり、前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は、炭素含有非磁性材料からなるものである。

WO 2014/087672 A1

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

— 補正された請求の範囲（条約第 19 条(1)）

明　細　書

発明の名称 ： 垂直磁気記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、垂直磁気記録媒体に関する。特に、本発明は、グラニュラー磁性層を含む垂直磁気記録媒体において、高い磁気異方性を維持しながら該磁性層を厚膜化したものに関する。

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、グラニュラー磁性材料が用いられる。このグラニュラー磁性材料は、磁性材料と非磁性材料から構成され、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ラー構造をもたらす。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、グラニュラー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、グラニュラー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（Ｋｕ）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、$L1_0$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ラー磁性材料を第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的に成長した規則合金の結晶粒を実現している。

[0007] また、グラニュラー磁性材料を含む複数の磁性層からなり、これらの磁性層において非磁性材料の濃度が異なっている磁気記録媒体も知られている。

[0008] 例えば、特許文献４は、基板上に基板温度制御層を形成する工程と、基板温度制御層上に下地層を形成する工程と、下地層上に磁気記録層を形成する工程とを有し、磁気記録層を形成する工程では、基板を加熱チャンバで加熱する第１工程と、Ｃ、Ｓｉ酸化物からなる群から選ばれた少なくとも一種の非磁性材料を添加したＦｅＰｔを主とする合金からなる磁気記録層を製膜チャンバで製膜する第２工程とからなる磁性層積層工程をＮ回（$N \geqq 2$）繰り返して垂直磁気記録媒体を製造する方法を開示している。この製造方法によ

り、磁気記録層を製膜する間の基板温度の変化を小さくし、結晶粒径を小さくしている。また、特許文献４では、磁気記録層に添加する非磁性材料の含有量について、基板側の添加量を多くしている。

[0009] また、特許文献５は、Ｆｅ及びＰｔを主原料とする磁性合金と、カーボン、酸化物、窒化物から選ばれる少なくとも一種の非磁性材料を含有する複数の磁性層により構成された磁気記録層を有する磁気記録媒体を開示している。特許文献５の磁気記録層では、第一の磁性層よりも表面側に位置する第二の磁性層が、第一の磁性層（ＦｅＰｔ合金と前記非磁性材料とで構成されている）のＦｅＰｔ磁性合金粒子の直径よりも微細な状態で混ざり合った均質な構造を有する。また、特許文献５では、第一の磁性層は、第二の磁性層と比較して、非磁性材料であるカーボンの含有量が多く、それ以外の酸化物及び窒化物の含有量が少ないことを特徴としている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 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２０１２－０４８７８４号公報

特許文献5：特開２０１２－１８１９０２号公報

非特許文献

[0011] 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，２５７～２６０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

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 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、グラニュラー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。

[0013] 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。また、複数層のグラニュラー磁性材料で構成される磁気記録層を含む磁気記録媒体においても、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。

[0014] 従って、本発明は、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む垂直磁気記録媒体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

[0015] 本発明の磁気記録媒体は、非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む。該垂直磁気記録媒体において、前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は、炭素、ホウ素又はケイ素から選択される１つ以上の材料からなる。

[0016] 本発明の垂直磁気記録媒体は、非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含

む。該垂直磁気記録媒体において、前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は炭化物である。

[0017] 本発明において、炭化物は、ホウ素（Ｂ）炭化物又はケイ素（Ｓｉ）炭化物であることが好ましく、特に、炭化ホウ素（B_4C）又は炭化ケイ素（ＳｉＣ）であることが好ましい。また、本発明において、第２非磁性結晶粒界は、炭素、ホウ素又はケイ素から選択される１つ以上の材料であることが好ましい。本発明において、前記炭化物、又は、炭素、ホウ素又はケイ素から選択される１つ以上の材料の含有量は、２０ｖｏｌ％から５０ｖｏｌ％であることが好ましい。

[0018] また、本発明において、前記第１磁性結晶粒及び前記第２磁性結晶粒は$L1_0$型の規則合金を含むことが好ましく、$L1_0$型の規則合金は、ＦｅおよびＰｔを含むことが特に好ましい。また、第１の磁気記録層の膜厚は４ｎｍ以下であることが好ましい。

[0019] 更に、本発明の磁気記録媒体では、前記第１磁気記録層又は第２磁気記録層を複数層有し、且つ、前記第１磁気記録層と第２磁気記録層が交互に積層されていてもよい。

発明の効果

[0020] 高い磁気異方性を維持しながら所定の膜厚を有する磁気記録層を含む垂直磁気記録媒体を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の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]本発明で使用しうる$L1_0$型の規則合金の結晶構造を表す概略図である

。

[図3]（ａ）～（ｃ）は、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4]（ａ）～（ｂ）は、磁気記録層のグラニュラー磁性材料（ＦｅＰｔ－B_4C）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１～３及び実施例１１並びに比較例１～５の磁気記録媒体の磁気異方性定数（Ｋｕ）の測定結果を示す図である。

[図6]実施例４～６及び比較例１～４及び６の磁気記録媒体の磁気異方性定数（Ｋｕ）の測定結果を示す図である。

[図7]実施例７～１０及び比較例７結果と、実施例１１～１２及び比較例８の結果を比較した図である。

[図8]図７の結果に、さらに実施例１３～１７の結果を加えて、比較した図である。

[図9]実施例１３～１７の第２磁気記録層（２層目）のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の全量に対するＭｒ／Ｍｓの値をプロットした図である。

[図10A]実施例１０の磁気記録媒体の平面ＴＥＭ像を示す図である。

[図10B]比較例９の磁気記録媒体の平面ＴＥＭ像を示す図である。

[図11]実施例１～３及び実施例１８～２０の磁気記録媒体について、磁気記録層の総膜厚に対して、Ｋｕの値をプロットした図である。

[図12A]実施例２０磁気記録媒体の垂直ＴＥＭ像を示す図である。

[図12B]実施例３の磁気記録媒体の垂直ＴＥＭを示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 本発明の磁気記録媒体は非磁性基体及び磁気記録層を少なくとも含む。図１に、本発明の磁気記録媒体のより具体的な構成例を示した。図１に示されるように、本発明の磁気記録媒体１００は、非磁性基体２０、任意選択的なシード層４０、磁気記録層６０、および任意選択的な保護層８０を有する。本発明では、磁気記録層６０は、少なくとも第１磁気記録層６２と第２磁気記録層６４を含む複数層で構成される。図１には、第１磁気記録層６２及び

第２磁気記録層６４の二層構造を示した。さらに、第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒、及びこの第１磁性結晶粒を取り囲む第１非磁性結晶粒界から構成され、第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒、及びこの第２磁性結晶粒を取り囲む第２非磁性結晶粒界から構成される。図１に示した本発明の磁気記録媒体の構成例において、上述の通り、シード層４０および保護層８０は任意選択的な層であるが、本発明ではこれらの層を設けることが好ましい。さらに、本発明の磁気記録媒体は、非磁性基体１０と磁気記録層４０との間に、密着層、軟磁性裏打ち層、非磁性下地層などをさらに含んでもよい。さらに、保護層８０の上層に潤滑層を設けてもよい。

[0023] 本発明の磁気記録媒体は、例えば熱アシスト式、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、種々の垂直磁気記録媒体に適用可能である。従って、本発明の磁気記録媒体は、上述した各層に加え、種々の垂直磁気記録媒体に必要な層を適宜含むことができる。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に更に含むことができる。

[0024] 本発明では、上述した通り、磁気記録層６０は少なくとも第１磁気記録層６２と第２磁気記録層６４を含む複数層で構成される。以下に本発明でこのような磁気記録層の構成を取ることについて説明する。

[0025] 近年の垂直磁気記録媒体では、規則合金磁性結晶粒と、これを取り囲む非磁性結晶粒界とからなるグラニュラー構造をもたらす磁性結晶粒－非磁性材料で磁気記録層を構成することが一般に行われており、このような磁性結晶粒－非磁性材料の研究が盛んに行われている。例えば、規則合金の例として、$L1_0$型の規則合金があり、例えば鉄白金（ＦｅＰｔ）系、コバルト白金（ＣｏＰｔ）系などの合金が知られている。これらの規則合金を含む$L1_0$型の規則合金－非磁性材料には、例えば、ＦｅＰｔ－炭素（Ｃ）［以下、ＦｅＰｔ－Ｃ］、$FePt-SiO_2$等が知られている。これらの材料は、高い磁気異方性を実現できる材料として期待されるが、これらの材料には、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

上でグラニュラー構造を形成できないというような問題などがあることが、本発明者らの研究により明らかになってきた。

[0026] 本発明は、このような問題を解決し、高い磁気異方性を維持しながら所定の膜厚を実現し、エネルギーアシスト式を含めた各種方式にも十分適用可能な垂直磁気記録媒体を提供することを目的とする。

[0027] 以下では、$L1_0$型の規則合金－非磁性材料として、ＦｅＰｔ－Ｃ及びＦｅＰｔ－B_4Cを例にとり、上記問題点と、本願発明の概要について、図面を参照しながら説明する。

[0028] 図２は、$L1_0$型のＦｅＰｔ合金の結晶格子図である。図２に示されるように、$L1_0$型のＦｅＰｔ合金は、（００１）配向を有し、Ｆｅ原子及びＰｔ原子が交互に積層した構造を有する。

[0029] 図３は、$L1_0$型のＦｅＰｔ－Ｃ材料をスパッタリング法によりシード層２１０上に堆積させた際の成長過程を示す図である。この例では、シード層は、（００１）配向を有する$L1_0$型のＦｅＰｔ磁性結晶粒を形成できるＭｇＯ層とする。図３（ａ）に示すように、ＦｅＰｔ－Ｃ材料をスパッタリング法で堆積させると、シード層２１０上で磁性結晶粒２００とその周りを取り囲む非磁性結晶粒界２７０が成長する。磁性結晶粒２００は、図２に示したように、Ｆｅ原子の層２３０とＰｔ原子の層２５０が交互に積層した構造を取り、シード層２１０に対して垂直な方向に結晶が成長していく。これにより、シード層２１０に対して垂直な磁化容易軸２９０を持ちうる磁気異方性を持った磁気記録層を得ることができる。なお、図３にはシード層２１０の上にＦｅ原子の層２３０が積層され、その上にＰｔ原子の層２５０が積層されている例が記載されている。しかし、シード層２１０の上にＰｔ原子の層２５０が積層され、その上にＦｅ原子の層２３０であってもかまわない。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３（ｂ）のｄ）、磁性結晶粒２００の成長を妨げる（図３（ｂ））。更にＦｅＰｔ－Ｃの堆積を進めると、磁性結晶粒の表面上に回り込んだ炭素上に磁性結晶粒２０

０’、２００”が成長する、所謂、磁性結晶粒の二次成長が起こる。これらの二次成長した磁性結晶粒２００’、２００”は、シード層２１０に対して垂直な方向に成長した磁性結晶粒２００とは異なる方向に成長し、磁性結晶粒２００とは異なる磁化容易軸（２９２、２９４）を有するものとなる（図３（ｃ））。このような異なる方向へ向いて結晶が成長すると、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。ＦｅＰｔ－Ｃでは、上述した、炭素の磁性結晶粒の表面上への回り込みは、例えば７５ｖｏｌ％ＦｅＰｔ－２５ｖｏｌ％Ｃの材料を用いた場合、シード層からの磁性結晶粒の高さが３ｎｍを越えると起こることが本発明者らにより見出された。また、炭素の回り込みが生じる膜厚は磁性結晶粒の径により変動し、径が小さくなるほど薄い膜厚で炭素の回り込みが生じることが判明した。即ち、記録密度を向上させるために炭素の添加量を増大して磁性結晶粒を小さくしようとすれば、良好な磁性結晶粒を形成できる膜厚は減少することになる。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。

[0030] このように、ＦｅＰｔ－Ｃのような規則合金を用いた材料では、単層で磁気記録層を厚膜化することは困難である。従来用いられているＣｏＣｒ系合金等の非規則合金を用いた磁気記録層とは異なる挙動が規則合金を用いた磁気記録層において発現している。

[0031] 一方、非磁性材料としてB_4Cを含む磁性材料で、グラニュラー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。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４（ａ））、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４（ｂ））、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。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。このように、ＦｅＰｔ－B_4C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。

[0032] また、非磁性の粒界偏析材料として、ＳｉＣ等も知られているが、規則合金－ＳｉＣも上記ＦｅＰｔ－B_4Cと同様に、単層では十分なグラニュラー構造を形成することができないことが、本発明者らの研究により分かってきた。

[0033] このように、規則合金－非磁性材料で構成される材料のうち炭化物系の非磁性材料を添加したものは、これまで、垂直磁気記録媒体の磁気記録層の磁性材料としての用途が限られていた。特に、このような材料を、厚膜化を実現するための規則合金－非磁性材料として垂直磁気記録媒体に利用するという着想はなかった。また、炭素を非磁性材料として添加した規則合金－炭素で構成される材料は、これまで、十分な膜厚の垂直磁気記録媒体の磁気記録層を実現できていなかった。

[0034] 本発明者らは、本発明において、シード層上にあらかじめテンプレート層として$L1_0$型規則合金－炭素（Ｃ）（ＦｅＰｔ－Ｃ）を形成すれば、この$L1_0$型規則合金－炭素（Ｃ）上に$L1_0$型の規則金属－炭化物又は規則金属－［炭素と、ホウ素及び／又はケイ素から選択される１つ以上の材料］（本明細書において、炭化物、ホウ素（Ｂ）炭化物又はケイ素（Ｓｉ）炭化物、炭化ホウ素（B_4C）又は炭化ケイ素（ＳｉＣ）、及び、炭素と、ホウ素及び／又はケイ素から選択される１つ以上の材料を単に炭素含有非磁性材料とも称する）がグラニュ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新たに見出した。また、このような磁気記録層を含む垂直磁気記録媒体は高い磁気異方性を有することも明らかとなった。

[0035] 本発明は、上記の知見に基づいてなされたものであり、グラニュラー構造を有する磁気記録層で、高い磁気異方性を維持しながら磁気記録層の厚膜化を実現できるものである。

[0036] 以下に本発明の磁気記録媒体の各構成要素について説明する。

[0037] 非磁性基体２０は、表面が平滑である様々な基体であってもよい。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、非磁性基体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。ガラス基板等を非磁性基板として用いる場合、当該基板上に、密着性に優れた合金材料、例えば、Ｃｒ、ＣｒＴｉ、Ｔａを密着層として形成してもよい。

[0038] 任意選択的な軟磁性裏打ち層は、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。

[0039] 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。

[0040] 任意選択的に設けてもよい非磁性下地層は、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。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。後述するシード層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、５ｎｍ以上３０ｎ

ｍ以下の膜厚を有することが望ましい。

[0041] 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。

[0042] 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$L1_0$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。

[0043] 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。本発明では、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、１ｎｍ～６０ｎｍ、好ましくは１～２０ｎｍの膜厚を有することが望ましい。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。本発明では、シード層４０は、ＭｇＯを用いて形成することが特に好ましい。

[0044] 磁気記録層６０は、少なくとも第１磁気記録層６２と第２磁気記録層６４の２層を含む。第１磁気記録層６２は、第１磁性結晶粒とこの第１磁性結晶粒を取り囲む第１非磁性結晶粒界を含むグラニュラー構造を有し、第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒とこの第２磁性結晶粒を取り囲む第２非磁性結晶粒界を含むグラニュラー構造を有する。本発明では、第２磁気記録層は、その非磁性結晶粒界が第１磁気記録層の第１非磁性結晶粒界と異なる材料からなるグラニュラー構造を有することを特徴とする。

[0045] 本発明では、第１磁気記録層６２は、規則合金を含む第１磁性結晶粒、及び炭素からなる第１非磁性結晶粒界から構成されるグラニュラー構造を有する。第２磁気記録層６４は、規則合金を含む第２磁性結晶粒、及び炭化物、又は、炭素と、ホウ素及びケイ素から選択される１以上の材料からなる第２非磁性結晶粒界から構成されるグラニュラー構造を有する。本発明において、第１非磁性結晶粒界は、炭素（Ｃ）から構成される。また、第２非磁性結晶粒界は炭化物、又は、炭素と、ホウ素及び／又はケイ素から選択される１つ以上の材料であることが好ましく、より好ましくは、B_4C、ＳｉＣ、ＴｉＣ、ＺｒＣ、ホウ素－炭素（Ｂ－Ｃ）等であり、最も好ましくはB_4C、ＳｉＣ又はＢ－Ｃである。なお、本明細書において、「ホウ素－炭素」又は「Ｂ－Ｃ」とは、第２磁気記録層の非磁性材料が、ホウ素及び炭素からなることを意味するが、炭化ホウ素のような明確なホウ素（Ｂ）と炭素（Ｃ）の結合を有する形態だけではなく、ホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の混合物のような形態を含むことを意味する。このような複数の形態を含むＢ－Ｃ非磁性材料を、本明細書では単に「ホウ素－炭素」又は「Ｂ－Ｃ」のように表記する。

[0046] 本発明では、磁性結晶粒－非磁性材料中の非磁性材料の割合は、磁性結晶粒－炭素中の炭素で２０ｖｏｌ％から５０ｖｏｌ％であることが好ましく、２０ｖｏｌ％から４０ｖｏｌ％であることがより好ましい。また、規則金属－炭素含有非磁性材料中の炭素含有非磁性材料の量は、２０ｖｏｌ％から５０ｖｏｌ％であることが好ましく、２０ｖｏｌ％から４０ｖｏｌ％であることがより好ましく、２０ｖｏｌ％から３０ｖｏｌ％であることが更に好ましい。磁気記録層の総膜厚を高めるためには、上記の範囲であることが好ましい。

[0047] 本発明では、第２非磁性結晶粒界の非磁性材料がホウ素及び炭素からなる材料である場合、第２磁気記録層のホウ素（Ｂ）と炭素（Ｃ）のａｔ％に基づく割合［Ｂ（ａｔ％）／Ｃ（ａｔ％）比］は０．３以上であることが好ましく、０．４以上であることがより好ましい。

[0048] 次に、第１及び第２磁気記録層の第１磁性結晶粒及び第２磁性結晶粒は、

規則合金、好ましくは、$L1_0$規則合金を含むものである。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$L1_0$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$L1_0$型合金であり、最も好ましくは、$L1_0$型のＦｅＰｔ合金である。

[0049] また、磁性結晶粒の特性変調を目的として、第１及び第２磁性結晶粒に対してＮｉ、Ｍｎ、Ｃｒ，Ｃｕ、Ａｇ、Ａｕなどの金属を添加してもよい。Ｎｉ、Ｍｎ、Ｃｒを添加することにより、磁気的相互作用が低減して磁気異方性やキュリー温度などの磁気特性を変化させることができるため、所望の磁気特性に調整することができる。また、Ｃｕ、Ａｇ、Ａｕを添加することにより、規則化温度を低減し、磁気異方性を向上させる効果を得ることができる。

[0050] 例えば、第２磁気記録層にＭｎを添加すると、キュリー温度の低下により反転磁界（Ｈｓｗ）を低下させることができ、熱アシスト記録が容易となる。すなわち、磁性結晶粒にＭｎを添加して前記炭素含有非磁性材料と組み合わせると、反転磁界の温度依存性がキュリー温度付近で大きく変化し、反転磁界が、磁気ヘッドが発生する記録磁界以下となる。これにより、従来よりも大幅に低い温度で熱アシスト記録が可能となる。また、この温度領域で反転磁界の温度勾配が大きくなり、熱アシスト記録時の記録の分解能を向上することが可能となる。

[0051] 磁性結晶粒は必ずしもすべての原子が規則構造を有していなくてもよい。規則構造の程度を表わす規則度Ｓが所定の値以上であればよい。規則度Ｓは、磁気記録媒体をＸ線回折（ＸＲＤ）により測定し、測定値と完全に規則化した際の理論値との比により算出される。例えば、$L1_0$型規則合金の場合は、まず、規則合金由来の（００１）及び（００２）ピークの積分強度を算出する。次に、測定された（００１）ピークの積分強度に対する（００２）ピークの積分強度の比の値（ＩＮ１）と、完全に規則化した際に理論的に算出

される（００１）ピークの積分強度に対する（００２）ピークの積分強度の比の値（ＩＮ２）を算出する。上記測定により得られた値（ＩＮ１）を理論的に算出した値（ＩＮ２）で割ることで規則度Ｓを得ることができる。このようにして得られた規則度Ｓが０．５以上であれば、磁気記録媒体として実用的な磁気異方性定数Ｋｕを有する。

[0052] 本発明では、磁気記録層６０は更に多くの磁気記録層が積層された構造を有していてもよい。例えば、磁気記録層６０は、上記の第１磁気記録層及び第２磁気記録層を１組として、これらが複数積層された構造を有してもよく、上記の第１磁気記録層及び第２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磁気記録層、第２磁気記録層、第１磁気記録層の順に積層された構造のように、異なる規則金属－炭素含有非磁性材料を交互に積層した構造を有していてもよい。更に、本発明では、磁気記録層６０にＣＡＰ層のような追加の層を設けてもよい。第１磁性結晶粒と第２磁性結晶粒は異なる材料とすることができる。

[0053] 磁気記録層６０は、上述した構成を有する第１磁気記録層６２及び第２磁気記録層６４を少なくとも有する。本発明における第１磁気記録層６２では、第１非磁性結晶粒を取り囲む第１非磁性材料は炭素（Ｃ）である。本発明では、この第１非磁性材料上に、第２非磁性材料である炭素含有非磁性材料を含むグラニュラー磁性材料を用いて第２磁気記録層６４を形成することで、第１磁気記録層のグラニュラー構造にならったグラニュラー構造の第２磁気記録層６４を効率よく形成できる。

[0054] 上述した通り、ＭｇＯをシード層４０の材料として用いた場合、磁気記録層としてＬ１$_0$型のＦｅＰｔ－Ｃ、ＦｅＰｔ－B_4C、ＦｅＰｔ－ＳｉＣ等では、シード層上に所望の膜厚で高い磁気異方性を持った磁気記録層を形成することができない。

[0055] これに対し、本発明は、あらかじめ、第１磁気記録層を、ＦｅＰｔ－Ｃを材料とした磁気記録層として形成し、この第１磁気記録層６２上にＦｅＰｔ

－B_4C、ＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃ、ＦｅＰｔ－ＳｉＣ等の炭素含有非磁性材料を添加した規則合金を含む第２磁気記録層６４を形成すること、並びに、これらの磁気記録層を更に交互に複数層形成することで、高い磁気異方性を維持しながら、磁気記録層６０全体の厚膜化を実現した。

[0056] 本発明では、第１磁気記録層の膜厚は、４ｎｍ以下、好ましくは２～４ｎｍである。４ｎｍを越えると、規則合金の成長阻害及び二次成長が起こる。高い磁気異方性を維持する観点から、第２磁気記録層の膜厚は３～７ｎｍであることが好ましい。

[0057] 磁気記録層６０の膜厚は、特に限定されるものではない。しかしながら、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５ｎｍ以上、好ましくは８ｎｍ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、６～１６ｎｍ、より好ましくは、８～１１ｎｍである。更に、本発明の磁気記録媒体は、磁気異方性定数（Ｋｕ）の値として少なくとも６．５Ｅ+０６ｅｒｇ／ｃｍ^{3}以上が好ましく、１．０Ｅ+０７ｅｒｇ／ｃｍ^{3}以上を有することがより好ましく、１．２Ｅ+０７ｅｒｇ／ｃｍ^{3}以上を有することが更により好ましい。

[0058] 更に、磁気記録層６０は、残留磁化（Ｍｒ）を飽和磁化（Ｍｓ）で割ったもの（Ｍｒ／Ｍｓ）の値が０．７０を越えることが好ましく、０．７５以上であることがより好ましい。なお、ＦｅＰｔ－非磁性材料の磁性材料では、上述したように、炭素含有量が多いと、規則合金の成長阻害及び二次成長が起きるが、この二次成長状態が起こると、Ｍｒ／Ｍｓが低くなる傾向がある。

[0059] また、磁気記録層とは異なるキュリー温度Ｔｃを有するＴｃ制御磁性層をさらに配置することができる。Ｔｃ制御磁性層を配置し、両者のＴｃに合わせた記録温度を設定することで、記録時に必要とされる磁気記録媒体全体としての反転磁界を低減することができる。例えば、Ｔｃ制御磁性層のキュリー温度を磁気記録層のキュリー温度より低く設定する。記録温度を両者のキュリー温度の中間に設定すれば、記録時にＴｃ制御磁性層の磁化は消失して

記録を反転するために必要な磁界は低減する。このようにして磁気記録ヘッドに要請される記録時の発生磁界が低減され、良好な磁気記録性能が実現できる。

[0060] Ｔｃ制御磁性層の配置は、磁気記録層の上下いずれとしてもよい。Ｔｃ制御磁性層はグラニュラー構造とすることが好ましい。磁気記録層とＴｃ制御磁性層の磁性結晶粒を概ね同じ位置に配置することが特に好ましい。概ね同じ位置とすることで信号対雑音比（ＳＮＲ）等の性能を向上することができる。

[0061] Ｔｃ制御磁性層を構成する磁性結晶粒はＣｏ又はＦｅの少なくとも一つを含む材料とすることが好ましいく、さらにＰｔ、Ｐｄ、Ｎｉ、Ｍｎ、Ｃｒ、Ｃｕ、Ａｇ、又はＡｕから選択される元素の少なくとも一つを含むことがより好ましい。例えば、ＣｏＣｒ系合金、ＣｏＣｒＰｔ系合金、ＦｅＰｔ系合金、ＦｅＰｄ系合金等を用いることができる。磁性結晶粒の結晶構造は、Ｌ1_0型、Ｌ1_1型、Ｌ1_2型等の規則構造、ｈｃｐ構造（六方最密充填構造）、ｆｃｃ構造（面心立方構造）等とすることができる。

[0062] Ｔｃ制御磁性層を構成する非磁性結晶粒界の材料には、前述した炭素含有非磁性材料、あるいはSiO_2、TiO_2等の酸化物、ＳｉＮ、ＴｉＮ等の窒化物、Ｃ、Ｂ等を用いることができる。

[0063] 磁気記録層とＴｃ制御磁性層の間の磁気的な交換結合を調整するために、磁気記録層とＴｃ制御磁性層の間に交換結合制御層を配置することが好ましい。記録温度における磁気的な交換結合を調整することにより、反転磁界を調整することができる。交換結合制御層は、所望する交換結合に応じて磁性を有する層、又は非磁性層を選択することができる。記録温度における反転磁界の低減効果を高めるためには非磁性層を用いることが好ましい。

[0064] 磁気記録層とは異なる一軸結晶磁気異方性定数Ｋｕを有するＫｕ制御磁性層を配置することができる。Ｋｕ制御磁性層を配置し、磁気記録層との間に適切な磁気的な交換結合を設定することで、記録を保存する時に必要とされる磁気記録媒体全体としての熱的な安定性を向上することができる。

[0065] Ｋｕ制御磁性層の配置は、磁気記録層の上下いずれとしてもよい。Ｋｕ制御磁性層はグラニュラー構造とすることが好ましい。磁気記録層とＫｕ制御磁性層の磁性結晶粒を概ね同じ位置に配置することが特に好ましい。概ね同じ位置とすることで信号対雑音比（ＳＮＲ）等の性能を向上することができる。

[0066] Ｋｕ制御磁性層を構成する磁性結晶粒はＣｏ又はＦｅの少なくとも一つを含む材料とすることが好ましく、さらにＰｔ、Ｐｄ、Ｎｉ、Ｍｎ、Ｃｒ、Ｃｕ、Ａｇ、又はＡｕから選択される元素の少なくとも一つを含むことがより好ましい。例えば、ＣｏＣｒ系合金、ＣｏＣｒＰｔ系合金、ＦｅＰｔ系合金、ＦｅＰｄ系合金等を用いることができる。磁性結晶粒の結晶構造は、$L1_0$型、$L1_1$型、$L1_2$型等の規則構造、ｈｃｐ構造（六方最密充填構造）、ｆｃｃ構造（面心立方構造）等とすることができる。

[0067] Ｋｕ制御磁性層を構成する非磁性結晶粒界の材料には、前述した炭素含有非磁性材料、あるいはSiO_2、TiO_2等の酸化物、ＳｉＮ、ＴｉＮ等の窒化物、Ｃ、Ｂ等を用いることができる。

[0068] 磁気記録層とＫｕ制御磁性層の間の磁気的な交換結合を調整するために、磁気記録層とＫｕ制御磁性層の間に交換結合制御層を配置することが好ましい。記録保存時における磁気的な交換結合を調整することにより、熱安定性を調整することができる。交換結合制御層は、所望する交換結合に応じて磁性を有する層、又は非磁性層を選択することができる。記録保存温度における熱安定性の向上効果を高めるためには非磁性層を用いることが好ましい。

[0069] 任意選択的な保護層８０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。本発明における保護層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、保護層の厚さは典型的には１０ｎｍ以下であることが好ましい。

[0070] 任意選択的な潤滑層は、ＰＦＰＥ（パーフルオロポリエーテル）などの液体潤滑剤を用いて形成することができる。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。

[0071] 次に、本発明の垂直磁気記録媒体の製造方法を説明する。最初に、必要に応じて、非磁性基板２０の上に非磁性下地層を形成する。次いでシード層４０を形成する。これらの各層は、スパッタ法（ＤＣマグネトロンスパッタ法、ＲＦマグネトロンスパッタ法などを含む）、真空蒸着法などを用いて形成することができる。なお、ガラス基板などに代表されるように、必要に応じて、非磁性基板上にＴａ、Ｃｒなどの金属、又は、これらの金属系合金などの材料からなる密着層を形成することができる。

[0072] 続いて、磁気記録層６０を形成する。まず、規則合金を構成する金属及び炭素を含む合金ターゲットを用いるスパッタ法、真空蒸着法などによって、第１磁気記録層６２を形成する。

[0073] 次に、第２磁気記録層６４を第１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含有非磁性材料を含む合金ターゲットを用いるスパッタ法、真空蒸着法によって、第２磁気記録層６４を形成することができる。

[0074] 本発明では、上記の第１及び第２磁気記録層の成膜工程において、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望ましい。

[0075] 本発明において、第１磁気記録層６２及び第２磁気記録層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）を含む材料及びＣ、或いはこれらの合金などを個別にスパッタリングするコスパッタ法を採用することもできる。

[0076] 次に、磁気記録層６０上に保護層８０を形成する。保護層８０は、上述の材料を用いて、形成することができ、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。

[0077] また、任意選択的な液体潤滑剤層は、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）を用いて形成することができる。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。

実施例

[0078] 以下に、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

[0079] （ｌ） 実施例１～１７及び比較例１～９

（ｉ） （実施例１～３）

非磁性基体と、その上に順次設けられるＴａ密着層、Ｃｒ下地層、ＭｇＯシード層、規則合金（ＦｅＰｔ系）磁気記録層、及びカーボン（Ｃ）保護層を有する垂直磁気記録媒体を作製した。実施例１～３では、第１磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｃを用い、第２磁気記録層に$FePt-B_4C$を用いた例を示す。

[0080] 非磁性基体として、化学強化ガラス基体（ＨＯＹＡ社製Ｎ－１０ガラス基体）を準備した。非磁性基体を、スパッタ装置内に導入した。Ｔａ密着層から、Ｃ保護層までの成膜は、大気解放することなく、インライン式の成膜装置で成膜した。Ｔａ密着層は、純Ｔａターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚５ｎｍで成膜した。次に、Ｃｒ下地層は、純Ｃｒターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚２０ｎｍで成膜した。

[0081] 次に、基体を３００℃に加熱し、ＭｇＯターゲットを用いて、ＲＦスパッタリング法で、膜厚５ｎｍのシード層を成膜した。シード層であるＭｇＯ層は、真空度０．１PaのＡｒガス雰囲気中で、ＲＦパワー２００Wで成膜した。

[0082] 次に、第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層である。まず、上記の各層を成膜した基体を４００℃に加熱し、成膜時の組成が表１に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製さ

れたＦｅＰｔ及びＣを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表１に示した膜厚の第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層（ＦｅＰ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0083] 次に、第２磁気記録層を成膜した。本実施例の第２磁気記録層はＦｅＰｔ－B_4C層である。成膜は以下の通りに行った。上記のように第１磁気記録層を成膜した基体を４００℃に加熱した状態で、表１に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－B_4C（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及び炭化ホウ素を含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表１に示した膜厚の第２磁気記録層を成膜した。第２磁気記録層（ＦｅＰ－B_4C層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0084] 次に、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、膜厚３ｎｍのカーボン保護層を形成し、磁気記録媒体を得た。

[0085]

[表1]

表 1

実施例	磁気記録層[3] (第２層／第１層)	下地層	成膜条件			膜　組　成[1),3)]			
			圧力 (Pa)	Power[2] (W)	温度 (℃)	C 含量 (vol%)	B_4C 含量 (vol%)	膜厚(nm) 第１層	膜厚(nm) 第２層	膜厚(nm) 全体
1	FePt-B_4C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	3	5.2
2	FePt-B_4C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	5	7.2
3	FePt-B_4C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	7	9.2

1）第１及び第２磁気記録層の規則合金（ＦｅＰｔ）の含有量は、それぞれ、炭素（Ｃ）及び炭化物の添加物の量を１００ｖｏｌ％から差し引いた残量である。

2）Power の欄の数値は、第２磁気記録層／第１磁気記録層の成膜に対する値である。

3）「第１層」及び「第２層」は、それぞれ、第１磁気記録層及び第２磁気記録層を表す。

[0086] （ｉｉ） （実施例４～６）

非磁性基体と、その上に順次設けられるＴａ密着層、Ｃｒ下地層、ＭｇＯシード層、規則合金（ＦｅＰｔ系）磁気記録層、及びカーボン（Ｃ）保護層を有する垂直磁気記録媒体を作製した。実施例４～６では、第１磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｃを用い、第２磁気記録層にＦｅＰｔ－ＳｉＣを用いた例を示す。

[0087] 非磁性基体として、化学強化ガラス基体（ＨＯＹＡ社製Ｎ－１０ガラス基体）を準備した。非磁性基体を、スパッタ装置内に導入した。Ｔａ密着層から、Ｃ保護層までの成膜は、大気解放することなく、インライン式の成膜装置で成膜した。Ｔａ密着層は、純Ｔａターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚５ｎｍで成膜した。次に、Ｃｒ下地層は、純Ｃｒターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚２０ｎｍで成膜した。

[0088] 次に、基体を３００℃に加熱し、ＭｇＯターゲットを用いて、ＲＦスパッタリング法で、膜厚５ｎｍのシード層を成膜した。シード層であるＭｇＯ層は、真空度０．１ＰａのＡｒガス雰囲気中で、ＲＦパワー２００Ｗで成膜した。

[0089] 次に、第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層である。まず、上記の各層を成膜した基体を４００℃に加熱し、成膜時の組成が表２に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びＣを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表２に示した膜厚の第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層（ＦｅＰ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0090] 次に、第２磁気記録層を成膜した。本実施例の第２磁気記録層はＦｅＰｔ－ＳｉＣ層である。成膜は以下の通りに行った。上記のように第１磁気記録層を成膜した基体を４００℃に加熱した状態で、表２に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－ＳｉＣ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びＳｉ

Ｃを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表２に示した膜厚の第２磁気記録層を成膜した。第２磁気記録層（ＦｅＰ－ＳｉＣ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0091] 次に、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、膜厚３ｎｍのカーボン保護層を形成し、磁気記録媒体を得た。

[0092]

[表2]

表２

実施例	磁気記録層[3)]（第２層／第１層）	下地層	成膜条件			膜　組　成[1) 3)]				
			圧力 (Pa)	Power[2)] (W)	温度 (℃)	C 含量 (vol%)	SiC 含量 (vol%)	膜厚(nm) 第１	第２	全体
4	FePt-SiC/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	3	5.2
5	FePt-SiC/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	5	7.2
6	FePt-SiC/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	2.2	7	9.2

１）第１及び第２磁気記録層の規則合金（ＦｅＰｔ）の含有量は、それぞれ、炭素（Ｃ）及び炭化物の添加物の量を１００ｖｏｌ％から差し引いた残量である。

２）Power の欄の数値は、第２磁気記録層／第１磁気記録層の成膜に対する値である。

３）「第１層」及び「第２層」は、それぞれ、第１磁気記録層及び第２磁気記録層を表す。

[0093] （ｉｉｉ）（実施例７～１７）

非磁性基体と、その上に順次設けられるＴａ密着層、Ｃｒ下地層、ＭｇＯシード層、規則合金（ＦｅＰｔ系）磁気記録層、及びカーボン（Ｃ）保護層を有する垂直磁気記録媒体を作製した。実施例７～１７では、第１磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｃを用い、第２磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃを用いた例を示す。実施例７～１７は、第１磁気記録層の炭素（Ｃ）の含有量を４０ｖｏｌ％又は２５ｖｏｌ％に固定し、第２磁気記録層のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の含有割合を変化させて磁気特性を評価した例である。ここで、実施例７～１０は、第１磁気記録層の炭素（Ｃ）含有量を４０ｖｏｌ％、第２磁気記録層のＢ－Ｃ全量を２５ｖｏｌ％にそれぞれ固定し、第２磁気記録層のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の含有割合を変化させた例である。また、実施例１１～１２は、第１磁気記録層の炭素（Ｃ）含有量を２５ｖｏｌ％、第２磁気記録層のＢ－Ｃ全量を２５ｖｏｌ％にそれぞれ固定し、第２磁気記録層のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の含有割合を変化させた例である。さらに、実施例１３～１７は、第１磁気記録層のＣ含有量を４０ｖｏｌ％に固定し、第２磁気記録層のＢ－Ｃ全量を変化させた例である。

[0094] 非磁性基体として、化学強化ガラス基体（ＨＯＹＡ社製Ｎ－１０ガラス基体）を準備した。非磁性基体を、スパッタ装置内に導入した。Ｔａ密着層から、Ｃ保護層までの成膜は、大気解放することなく、インライン式の成膜装置で成膜した。Ｔａ密着層は、純Ｔａターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚５ｎｍで成膜した。次に、Ｃｒ下地層は、純Ｃｒターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚２０ｎｍで成膜した。

[0095] 次に、基体を３００℃に加熱し、ＭｇＯターゲットを用いて、ＲＦスパッタリング法で、膜厚５ｎｍのシード層を成膜した。シード層であるＭｇＯ層は、真空度０．１ＰａのＡｒガス雰囲気中で、ＲＦパワー２００Ｗで成膜した。

[0096] 次に、第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層であ

る。まず、上記の各層を成膜した基体を４００℃に加熱し、成膜時の組成が表３に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びＣを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表３に示した膜厚の第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層（ＦｅＰ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0097] 次に、第２磁気記録層を成膜した。本実施例の第２磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃ層である。成膜は以下の通りに行った。上記のように第１磁気記録層を成膜した基体を４００℃に加熱した状態で、表３に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｂ－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ、ホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）を含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表３に示した膜厚の第２磁気記録層を成膜した。第２磁気記録層（ＦｅＰ－Ｂ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0098]

[表3]

表３

実施例	磁気記録層[3)]（第２層／第１層）	下地層	成膜条件			膜　組　成[1) 3)]							
			圧力 (Pa)	Power[2)] (W)	温度 (℃)	第１層 C 含量 (vol%)	第２層 B-C 含量組成				膜厚(nm)		
							B-C 全量 (vol%)	B 含量 (at%)	C 含量 (at%)	B/C 比	第１層	第２層	全体
7	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	25	60	40	1.5	2.2	5	7.2
8	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	25	55.6	44.4	1.3	2.2	5	7.2
9	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	25	76.9	23.1	3.3	2.2	5	7.2
10	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	25	80	20	4.0	2.2	5	7.2
11	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	28.6	71.4	0.4	2.2	5	7.2
12	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	25	83.3	16.7	5.0	2.2	5	7.2
13	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	13.7	67	33	2.0	2.2	5	7.2
14	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	33.4	23.7	76.3	0.3	2.2	5	7.2
15	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	20.6	78.3	21.7	3.6	2.2	5	7.2
16	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	28.9	51.9	48.1	1.1	2.2	5	7.2
17	FePt-B-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	28.9	68.5	31.5	2.2	2.2	5	7.2

１）第１及び第２磁気記録層の規則合金（ＦｅＰｔ）の含有量は、それぞれ、炭素（Ｃ）及びホウ素（Ｂ）の合計量を１００ｖｏｌ％から差し引いた残量である。

２）Power の欄の数値は、第２磁気記録層／第１磁気記録層の成膜に対する値である。

３）「第１層」及び「第２層」は、それぞれ、第１磁気記録層及び第２磁気記録層を表す。

[0099] （ｉｖ） （比較例１～６）

比較例として、単層の磁気記録層を有する磁気記録媒体を作製した。磁気記録層は表４に示す組成の規則合金－非磁性材料であった。表４に示す磁気記録層を有する磁気記録媒体は、上記実施例１～６と同様に成膜した。但し、各比較例における磁気記録層は単層であるので、それぞれの比較例の各磁気記録層は、「ＦｅＰｔ－Ｃ層」については、実施例１～６の第１磁気記録層の成膜条件により成膜し、「ＦｅＰｔ－B_4Ｃ層」については、実施例１～３の第２磁気記録層の成膜条件により成膜し、「ＦｅＰｔ－ＳｉＣ層」については、実施例４～６の第２磁気記録層の成膜条件により成膜した。

[0100]

[表4]

表４

比較例	磁気記録層	下地層	成膜条件			膜　組　成[1]			膜厚(nm)[3]
			圧力(Pa)	Power(W)	温度(℃)	C含量(vol%)	B_4C含量(vol%)	SiC含量(vol%)	
1	FePt-C	MgO	1	100	400	25	—	—	2.2
2	FePt-C	MgO	1	100	400	25	—	—	4.5
3	FePt-C	MgO	1	100	400	25	—	—	7.8
4	FePt-C	MgO	1	100	400	25	—	—	10.0
5	FePt-B_4C	MgO	1	100	400	—	25	—	4
6	FePt-SiC	MgO	1	100	400	—	—	25	4

1）第１及び第２磁気記録層の規則合金（ＦｅＰｔ）の含有量は、それぞれ、炭素（Ｃ）及び炭化物の添加物の量を１００ｖｏｌ％から差し引いた残量である。

[0101] （ｖ） （比較例７～８）

別の比較例として、２層の磁気記録層を有する磁気記録媒体を作製した。

[0102] 非磁性基体と、その上に順次設けられるＴａ密着層、Ｃｒ下地層、ＭｇＯシード層、規則合金（ＦｅＰｔ系）磁気記録層、及びカーボン（Ｃ）保護層を有する垂直磁気記録媒体を作製した。比較例７及び８は、第１及び第２磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｃを用いた例である。

[0103] 非磁性基体として、化学強化ガラス基体（ＨＯＹＡ社製Ｎ－１０ガラス基体）を準備した。非磁性基体を、スパッタ装置内に導入した。Ｔａ密着層から、Ｃ保護層までの成膜は、大気解放することなく、インライン式の成膜装置で成膜した。Ｔａ密着層は、純Ｔａターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚５ｎｍで成膜した。次に、Ｃｒ下地層は、純Ｃｒターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚２０ｎｍで成膜した。

[0104] 次に、基体を３００℃に加熱し、ＭｇＯターゲットを用いて、ＲＦスパッタリング法で、膜厚５ｎｍのシード層を成膜した。シード層であるＭｇＯ層は、真空度０．１ＰａのＡｒガス雰囲気中で、ＲＦパワー２００Ｗで成膜した。

[0105] 次に、第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層である。まず、上記の各層を成膜した基体を４００℃に加熱し、成膜時の組成が表５に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びＣを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表５に示した膜厚の第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層（ＦｅＰ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0106] 次に、第２磁気記録層を成膜した。本比較例の第２磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層である。成膜は以下の通りに行った。上記のように第１磁気記録層を成膜した基体を４００℃に加熱した状態で、表５に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔと、炭素若を含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表５に示した膜

厚の第２磁気記録層を成膜した。第２磁気記録層（ＦｅＰｔ－Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0107]

[表5]

表５

比較例	磁気記録層[3)]（第２層／第１層）	下地層	成膜条件			膜　組　成[1) 3)]					
			圧力 (Pa)	Power[2)] (W)	温度 (℃)	第１層のＣ含量 (vol%)	第２層のＢ又はＣ含量		膜厚(nm)		
							Ｂ含量 (vol%)	Ｃ含量 (vol%)	第１層	第２層	全体
7	FePt-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	40	－	25	2	5	7
8	FePt-C/FePt-C	MgO	1	100/100	400	25	－	25	2	5	7

１）第１及び第２磁気記録層の規則合金（ＦｅＰｔ）の含有量は、それぞれ、炭素（Ｃ）及びホウ素（Ｂ）の添加物の量を１００ｖｏｌ％から差し引いた残量である。

２）Power の欄の数値は、第２磁気記録層／第１磁気記録層の成膜に対する値である。

３）「第１層」及び「第２層」は、それぞれ、第１磁気記録層及び第２磁気記録層を表す。

[0108] （ｖｉ）比較例９

本比較例は、２層の磁気記録媒体において、第２磁気記録層をＦｅＰｔ－SiO_2とした例である。本比較例の成膜条件は、第２磁気記録層の成膜において、ＦｅＰｔ（７５ｖｏｌ％）－SiO_2（２５ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びSiO_2を含むターゲットを用い、第１磁気記録層及び第２磁気記録層の膜厚をそれぞれ３ｎｍ（総膜厚６ｎｍ）とした以外、上記比較例７～８と同様である。本比較例で得られた磁気記録媒体は１．８０Ｅ＋０７ｅｒｇ／ｃｍ^{3}のＫｕと、０．９５のＭｒ／Ｍｓ値を有していた。

[0109] （ｖｉｉ）（実施例１～１７及び比較例１～８の評価）

（Ａ）実施例１～６及び比較例１～６の結果

磁気記録媒体の評価は、磁気異方性定数（Ｋｕ）を評価することにより行った。具体的には、ＰＰＭＳ装置（Ｐｈｙｓｉｃａｌ Ｐｒｏｐｅｒｔｙ Ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔ Ｓｙｓｔｅｍ）（Ｑｕａｎｔｕｍ Ｄｅｓｉｇｎ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（Ｍｓ）を求め、非特許文献３及び４に基づいてＫｕ値を算出した。

[0110] 上記磁気異方性定数に加え、保磁力（Ｈｃ）及びＭ－Ｈヒステリシスループのα値（保磁力近傍での磁化曲線の傾き）を求めた。なお、Ｍ－Ｈヒステリシスループのα値は、理想的なグラニュラー媒体の場合、α＝１になることが知られている。

[0111] 具体的な測定方法は、ＰＰＭＳ装置を用いＭ－Ｈヒステリシスループを評価し、ＶＳＭを用いて得た飽和磁化（Ｍｓ）から、保磁力（Ｈｃ）付近の傾き（ｄＭ／ｄＨ）からαを求めた。なお、αは０．６以上、２．５以下を良好な範囲とした。

[0112] 結果を表６にまとめた。

[0113]

[表6]

表６

	磁気記録層の構成[1)]	膜厚[2)] (nm)	Ku (erg/cm^3) (10^{-1} J/m^3)	Hc (kOe) ([ ]:($x10^6$A/m))	ヒステリシスループのα値
実施例１	FePt-B_4C/FePt-C	5.2	1.60E+07	16.5 [1.31]	0.8
実施例２	FePt-B_4C/FePt-C	7.2	1.00E+07	11.2 [0.89]	1.2
実施例３	FePt-B_4C/FePt-C	9.2	1.20E+07	13.1 [1.04]	1.1
実施例４	FePt-SiC/FePt-C	5.2	1.60E+07	17.0 [1.35]	2.3
実施例５	FePt-SiC/FePt-C	7.2	1.10E+07	8.6 [0.68]	1.8
実施例６	FePt-SiC/FePt-C	9.2	1.00E+07	7.6 [0.61]	2.4
比較例１	FePt-C	2.2	1.55E+07	9.2 [0.73]	0.4
比較例２	FePt-C	4.5	9.87E+06	9.3 [0.74]	0.4
比較例３	FePt-C	7.8	6.35E+06	9.3 [0.74]	0.4
比較例４	FePt-C	10.0	2.68E+06	10.6 [0.84]	未測定
比較例５	FePt-B_4C	4	5.11E+06	1.2 [0.095]	7.4
比較例６	FePt-SiC	4	4.34E+06	0.1 [0.01]	3.3

１）実施例１～６の構成は、第２磁気記録層／第１磁気記録層である。

２）実施例１～６の膜厚は全膜厚である。

[0114] また、Ｋｕの値を図５及び図６にまとめた。図５は、実施例１～３と比較

例１～５の結果を比較したものであり、図６は、実施例４～６と比較例１～４及び６の結果を比較したものである。なお、図５には、参考として、後述する実施例１１の結果を「Ｂ－Ｃ／Ｃ」（黒丸）として併記した。

[0115] （Ａ－１）ＦｅＰｔ－$Ｂ_4$Ｃ／ＦｅＰｔ－Ｃ（第２磁気記録層／第１磁気記録層）を含む磁気記録媒体の結果

Ｋｕの値から、ＦｅＰｔ－Ｃ単層の磁気記録媒体は、膜厚の増加と共に、Ｋｕが大きく低下し、磁気異方性が膜厚の増加と共に低下することが分かる。また、ＦｅＰｔ－$Ｂ_4$Ｃ単層の磁気記録媒体は、膜厚が４ｎｍでもＫｕが小さく、磁気異方性が低いことが分かる。一方、本発明の磁気記録媒体であるＦｅＰｔ－Ｃ上に、ＦｅＰｔ－$Ｂ_4$Ｃを積層して磁気記録媒体としたものでは、膜厚を増加させても、Ｋｕ値の大幅な低下を防ぐことができた。また、保磁力（Ｈｃ）及びヒステリシスループのα値についても比較例に比べ、良好な結果となった。

[0116] （Ａ－２）ＦｅＰｔ－ＳｉＣ／ＦｅＰｔ－Ｃ（第２磁気記録層／第１磁気記録層）を含む磁気記録媒体の結果

Ｋｕの値から、ＦｅＰｔ－Ｃ単層の磁気記録媒体は、膜厚の増加と共に、Ｋｕが大きく低下し、磁気異方性が膜厚の増加と共に低下することが分かる。また、ＦｅＰｔ－ＳｉＣ単層の磁気記録媒体は、膜厚が４ｎｍでもＫｕが小さく、磁気異方性が低いことが分かる。一方、本発明の磁気記録媒体であるＦｅＰｔ－Ｃ上に、ＦｅＰｔ－ＳｉＣを積層して磁気記録媒体としたものでは、ＦｅＰｔ－Ｃ単層の磁気記録層を含む磁気記録媒体と比べて、厚膜を厚くしても、全体的にＫｕ値を大きくすることができた。また、保磁力（Ｈｃ）及びヒステリシスループのα値についても比較例に比べ、良好な結果となった。

[0117] 更に、上記実験結果から、規則合金－非磁性材料中の非磁性材料の特性は以下のように考えられる。

[0118] ａ）炭素（Ｃ）はＦｅＰｔ結晶中での拡散が速く、ＦｅＰｔ結晶粒内からの排出性が良い。しかしながら、膜厚の厚さ４ｎｍで、既にＦｅＰｔ結晶粒

（柱状成長）の上表面にも拡散し、ＦｅＰｔ結晶の二次成長を引き起こす。

[0119] ｂ）B_4Cは、最も拡散が遅く、ＦｅＰｔ結晶粒内に残りやすいが、ＦｅＰｔ結晶粒（柱状成長）の上表面への拡散はない。そのため、大きなＫｕはとれないが、厚膜化してもＫｕの低下はない。B_4Cは、ＭｇＯシード層上ではグラニュラー構造をとることが比較的難しい。

[0120] ｃ）ＳｉＣは、炭素（Ｃ）とB_4Cの中間的な特性であると考えられ、非磁性結晶粒界部分への排出は磁気記録層の成長と共にある程度進むと考えられる。しかし、例えば、上記実施例では、ＦｅＰｔ－Ｃ磁気記録層の膜厚が２ｎｍで、ＦｅＰｔ－ＳｉＣ磁気記録層の膜厚が３ｎｍまでは、ＦｅＰｔ－Ｃ単層の磁気記録層を含む磁気記録媒体ほどＦｅＰｔ結晶粒の柱状成長表面への、ＳｉＣの拡散が少なく、磁気記録層の膜厚の増加に伴うＦｅＰｔ結晶粒の二次成長を比較的抑えることができる。この結果、上記膜厚までは単層で非常に高いＫｕを得ることができる。しかしながら、ＦｅＰｔ－ＳｉＣ層の膜厚が厚くなるに伴い、ＦｅＰｔ結晶粒の柱状成長表面上にもＳｉＣが拡散するようになり、二次成長を引き起こす可能性を有する。

[0121] （Ｂ）実施例７～１７及び比較例７～８の結果

これらの実施例では、磁気異方性定数（Ｋｕ）と、残留磁化（Ｍｒ）を飽和磁化（Ｍｓ）で割ったもの（Ｍｒ／Ｍｓ）を評価した。Ｍｒは、ＶＳＭにより測定することができる。ＦｅＰｔ－非磁性材料の磁性材料では、上述したように、炭素含有量が多いと、規則合金の成長阻害及び二次成長が起きるが、この二次成長状態では、Ｍｒ／Ｍｓが低くなる傾向がある。このため、本実施例での評価項目とした。また、Ｍｒ／Ｍｓが低いと、磁気記録の際に印加された磁界がなくなったとき、磁化の向きを磁化された方向に保てない粒子が存在することを意味し、磁気記録ではそのような粒子は再生信号におけるノイズ源となり、好ましくない。本発明では、Ｍｒ／Ｍｓの値は０．７０を越える値が好適である。

[0122] 実施例７～１７及び比較例７～８における磁気記録媒体の磁気異方性定数（Ｋｕ）と、Ｍｒ／Ｍｓの結果を表７に示した。

[0123] [表7]

表７

	磁気記録層の構成[1)]（第２層／第１層）	膜厚[2)]（nm）	第２層[1)]のB/C比	Ku (erg/cm^3) (10^{-1} J/m^3)	Mr/Ms
実施例７	FePt-B-C/FePt-C	7.2	1.5	1.28E+07	0.86
実施例８	FePt-B-C/FePt-C	7.2	1.3	1.32E+07	0.91
実施例９	FePt-B-C/FePt-C	7.2	3.3	1.30E+07	0.92
実施例10	FePt-B-C/FePt-C	7.2	4.0	1.29E+07	0.92
実施例11	FePt-B-C/FePt-C	7.2	0.4	1.50E+07	0.94
実施例12	FePt-B-C/FePt-C	7.2	5.0	1.49E+07	0.96
実施例13	FePt-B-C/FePt-C	7.2	2.0	1.97E+07	0.87
実施例14	FePt-B-C/FePt-C	7.2	0.3	6.67E+06	0.74
実施例15	FePt-B-C/FePt-C	7.2	3.6	1.37E+07	0.92
実施例16	FePt-B-C/FePt-C	7.2	1.1	9.51E+06	0.75
実施例17	FePt-B-C/FePt-C	7.2	2.2	9.85E+06	0.80
比較例７	FePt-C/FePt-C	7	0	4.63E+06	0.49
比較例８	FePt-C/FePt-C	7	0	6.35E+06	0.70

１）第１層及び第２層は、それぞれ第１磁気記録層及び第２磁気記録層である。

２）膜厚は全膜厚である。

[0124] また、Ｍｒ／Ｍｓの値を図７～８にまとめた。図７は、実施例７～１０及び比較例７の結果と、実施例１１～１２及び比較例８の結果を比較したものであり、図８は、図７の結果に、さらに実施例１３～１７の結果を加えて、比較したものである。

[0125] 図９は、実施例１３～１７の第２磁気記録層（２層目）のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の全量に対するＭｒ／Ｍｓの値をプロットしたものである。

[0126] （Ｂ－１）ＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃ／ＦｅＰｔ－Ｃ（第２磁気記録層／第１磁気記録層）を含む磁気記録媒体の結果

実施例７～１２と比較例７及び８を比較すると、比較例では規則金属－非磁性材料中の非磁性材料が炭素（Ｃ）のみであるため、二次成長が起こり、これによって、Ｋｕ及びＭｒ／Ｍｓの値が実施例７～１２に比べて低下している。

[0127] 上記実施例７～１２の結果から、第２磁気記録層のホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の割合（Ｂ／Ｃ比）は０．３以上が好ましく、０．４以上がより好ま

しいことがわかる（図７）。さらに、実施例１３～１７（これらは実施例７～１２よりも広い範囲にわたって第２磁気記録層のＢ－Ｃ含有量を検討したものである）の結果からも、Ｂ／Ｃ比は０．３以上が好ましく、０．４以上がより好ましいことがわかる（図８）。

[0128] また、図９の結果から、ＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃにおけるホウ素（Ｂ）及び炭素（Ｃ）の総量が多くなるにつれて、Ｍｒ／Ｍｓの値も低下する傾向があることがわかる。また、実施例７～１７の結果からも、規則金属－非磁性材料中の非磁性材料の含有量は、２０ｖｏｌ％から４０ｖｏｌ％が好ましく、２０ｖｏｌ％から３０ｖｏｌ％がより好ましいことがわかる。

[0129] 図５において実施例１～６と併せて実施例１１の結果を示したように、ＦｅＰｔ－Ｂ－Ｃを用いた場合においても、実施例１～６と同様の優れた磁気特性を実現できた。

[0130] （Ｃ）実施例１０及び比較例９の結果

本発明の磁気記録媒体と従来の磁気記録媒体を比較するため、透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）により、実施例１０と比較例９の磁気記録媒体の平面ＴＥＭを測定した。結果を図１０Ａ及び図１０Ｂに示した。本発明の実施例１０（図１０Ａ）では、膜厚が７．２ｎｍと比較的厚いにもかかわらず、一定で均一な粒形成が得られていることがわかる。一方、比較例９（図１０Ｂ）のようにＦｅＰｒ－SiO_2を第２磁気記録層として形成した場合、膜厚が６ｎｍ程度ですでに粒形成は均一なものではなかった。

[0131] （ＩＩ） 実施例１８～２０

（ｉ） （実施例１８～２０）

実施例１８～２０は、磁気記録層を３層以上の複数層とした例である。

[0132] 非磁性基体と、その上に順次設けられるＴａ密着層、Ｃｒ下地層、ＭｇＯシード層、規則合金（ＦｅＰｔ系）磁気記録層、及びカーボン（Ｃ）保護層を有する垂直磁気記録媒体を作製した。実施例１８～２０では、奇数番の磁気記録層にＦｅＰｔ－Ｃを用い、偶数番の磁気記録層にＦｅＰｔ－B_4Cを用いた（詳細な層構成及び各層の膜厚は表８に示した。）。

[0133] 非磁性基体として、化学強化ガラス基体（ＨＯＹＡ社製Ｎ－１０ガラス基体）を準備した。非磁性基体を、スパッタ装置内に導入した。Ｔａ密着層から、Ｃ保護層までの成膜は、大気解放することなく、インライン式の成膜装置で成膜した。Ｔａ密着層は、純Ｔａターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚５ｎｍで成膜した。次に、Ｃｒ下地層は、純Ｃｒターゲットを用いて、Ａｒ雰囲気中でＤＣマグネトロンスパッタ法により、膜厚２０ｎｍで成膜した。

[0134] 次に、基体を３００℃に加熱し、ＭｇＯターゲットを用いて、ＲＦスパッタリング法で、膜厚５ｎｍのシード層を成膜した。シード層であるＭｇＯ層は、真空度０．１ＰａのＡｒガス雰囲気中で、ＲＦパワー２００Ｗで成膜した。

[0135] 次に、第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層はＦｅＰｔ－Ｃ層である。まず、上記の各層を成膜した基体を４００℃に加熱し、成膜時の組成が表１に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及びＣを含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表８に示した膜厚の第１磁気記録層を成膜した。第１磁気記録層（ＦｅＰ－Ｃ層）は、真空度１．０PaのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0136] 次に、第２磁気記録層を成膜した。本実施例の第２磁気記録層はＦｅＰｔ－$Ｂ_4$Ｃ層である。成膜は以下の通りに行った。上記のように第１磁気記録層を成膜した基体を４００℃に加熱した状態で、表８に記載の、ＦｅＰｔ（ｖｏｌ％）－$Ｂ_4$Ｃ（ｖｏｌ％）となるように調製されたＦｅＰｔ及び炭化ホウ素を含むターゲットを用いて、ＤＣマグネトロンスパッタ法により、表１に示した膜厚の第２磁気記録層を成膜した。第２磁気記録層（ＦｅＰ－$Ｂ_4$Ｃ層）は、真空度１．０ＰａのＡｒガス雰囲気中、ＤＣパワー１００Ｗで成膜した。

[0137] 上記第１磁気記録層及び第２磁気記録層の手順を必要な回数繰り返して所望の数の層を有する磁気記録層を形成した。

[0138] 次に、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、膜厚３ｎｍのカーボン保護層を形成し、磁気記録媒体を得た。

[0139] （ｉｉ）（評価）

本実施例における磁気記録媒体の評価は、磁気異方性定数（Ｋｕ）を評価することにより行った。評価方法は実施例１～６と同様である。

[0140] 上記磁気異方性定数に加え、保磁力（Ｈｃ）及びヒステリシスループのα値（保磁力近傍での磁化曲線の傾き）を求めた。評価方法は実施例１～６と同様である。

[0141] 結果を表８に示した。なお、表８には、実施例１～３の結果を参考として併記した。

[0142]

[表8]

表８

実施例	磁気記録層の層構成[1)]	総膜厚	Ku (erg/cm³) (10^{-1} J/m³)	Hc (kOe) ([ ]:(x10^6A/m))	ヒステリシスループのα値
1	FePt-25vol%B_4C (5nm) / FePt-25vol%C (2nm)	5	1.60E+07	16.5 [1.31]	0.8
2	FePt-25vol%B_4C (5nm) / FePt-25vol%C (2nm)	7	1.00E+07	11.2 [0.89]	1.2
3	FePt-25vol%B_4C (7nm) / FePt-25vol%C (2nm)	9	1.20E+07	13.1 [1.04]	1.1
18	FePt-25vol%C (2nm) / FePt-25vol%B_4C (3nm) / FePt-25vol%C (2nm)	7	1.43E+07	15.6 [1.24]	1.1
19	FePt-25vol%B_4C (3nm) / FePt-25vol%C(2nm)/FePt-25vol%B_4C (3nm)/ FePt-25vol%C (2nm)	10	1.41E+07	15.2 [1.20]	0.8
20	FePt-25vol%C (2nm)/FePt-25vol%B_4C (2nm) / FePt-25vol%C (2nm)/ FePt-25vol%B_4C (2nm) / FePt-25vol%C (2nm)	10	1.43E+07	16.0 [1.27]	1.2

１）磁気記録層の層構成において、FePt-25vol%B_4C は、25vol%の B_4C を含む FePt-B_4C 磁性層を表し、FePt-25vol%C は、25vol%の C を含む FePt-C 磁性層を表す。また、括弧内の数字は、各磁性層の膜厚を表す。

２）磁気記録層の層構成は、第Ｎ磁性層／・・・／第１磁性層（但し、Ｎ＝２～５）であり、第１磁性層が基板側に近い層である。

[0143] 上記結果を図１１に示した。図１１は、磁気記録層の総膜厚に対して、Ｋｕの値をプロットしたものである。

[0144] これらの結果から明らかなように、ＦｅＰｔ－Ｃ層とＦｅＰｔ－B_4C層を交互に複数積層することで、Ｋｕ、Ｈｃ及びヒステリシスループのα値を保持したまま、膜厚を更に厚くすることができる。

[0145] 更に、実施例２０の層構造の磁気記録層を有する磁気記録媒体と、実施例３の層構造の磁気記録層を有する磁気記録媒体の垂直ＴＥＭを測定した。結果を図１２Ａ及び図１２Ｂに示す。これらの結果から明らかなように、２層構造の実施例３では、７ｎｍ程度の膜厚で規則合金の成長阻害が起こるが、更に多くの層を有する実施例２０では、１０ｎｍ程度の膜厚までこのようなことは起こらなかった。

[0146] （ＩＩＩ） まとめ

上記実施例及び比較例の実験結果の比較から、本発明の１つの実施形態として、ＦｅＰｔ－Ｃを第１磁気記録層として使用し、これと組合せて、第２磁気記録層として、上記実施例で使用した規則合金を含む磁性結晶粒－炭素含有非磁性材料のグラニュラー構造を有する磁気記録層を設けることで、高い磁気異方性を維持しながら磁気記録層全体の厚膜化を実現することが可能となった。更に、本発明の別の１つの実施形態として、ＦｅＰｔ－Ｃ層と、規則合金を含む磁性結晶粒－炭素含有非磁性材料を交互に複数層設けることにより、高い磁気異方性を維持しながら磁気記録層全体の膜厚の更なる厚膜化を実現できた。

産業上の利用可能性

[0147] 本発明の磁気記録媒体は、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である。

符号の説明

[0148] ２０ 非磁性基体

４０、２１０ シード層

６０　磁気記録層

　６２　第１磁気記録層

　６４　第２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磁性結晶粒

２５０　規則合金の第２磁性結晶粒

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] 非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む垂直磁気記録媒体であって、

前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は、炭素、ホウ素又はケイ素から選択される１つ以上の材料からなるものであることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

[請求項2] 非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む垂直磁気記録媒体であって、

前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は炭化物であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

[請求項3] 前記炭化物は、ホウ素（Ｂ）炭化物又はケイ素（Ｓｉ）炭化物であることを特徴とする請求項２に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項4] 前記炭化物は、炭化ホウ素（B_4C）又は炭化ケイ素（ＳｉＣ）であることを特徴とする請求項２又は３に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項5] 前記第２非磁性結晶粒界の材料の含有量は、２０ｖｏｌ％から５０ｖｏｌ％であることを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項6] 前記第１磁性結晶粒及び前記第２磁性結晶粒は$L1_0$型の規則合金を含むことを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項7] 前記$L1_0$型の規則合金は、Ｆｅ及びＰｔを含むことを特徴とする請求項６に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項8] 前記第１磁気記録層の膜厚は、４ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１～７のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項9] 前記第１磁気記録層又は第２磁気記録層を複数層有し、且つ、前記第１磁気記録層と第２磁気記録層が交互に積層されることを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

補正された請求の範囲
[2014年4月16日(16.04.2014)国際事務局受理]

[請求項1] （補正後）非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む垂直磁気記録媒体であって、

前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は、炭素、ホウ素又はケイ素から選択される２つ以上の材料からなるもの、又はホウ素からなるものであることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

[請求項2] 非磁性基板及び磁気記録層を少なくとも含む垂直磁気記録媒体であって、

前記磁気記録層は、少なくとも第１磁気記録層及び第２磁気記録層を含む複数層からなり、

前記第１磁気記録層は、第１磁性結晶粒と、前記第１磁性結晶粒を取り囲む第１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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第１非磁性結晶粒界は炭素からなり、

前記第２磁気記録層は、第２磁性結晶粒と、前記第２磁性結晶粒を取り囲む第２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磁性結晶粒は規則合金を含み、前記第２非磁性結晶粒界は炭化物であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

[請求項3] 前記炭化物は、ホウ素（Ｂ）炭化物又はケイ素（Ｓｉ）炭化物であることを特徴とする請求項２に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項4] 前記炭化物は、炭化ホウ素（B_4C）又は炭化ケイ素（ＳｉＣ）であることを特徴とする請求項２又は３に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項5] 前記第２非磁性結晶粒界の材料の含有量は、２０ｖｏｌ％から５０ｖｏｌ％であることを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

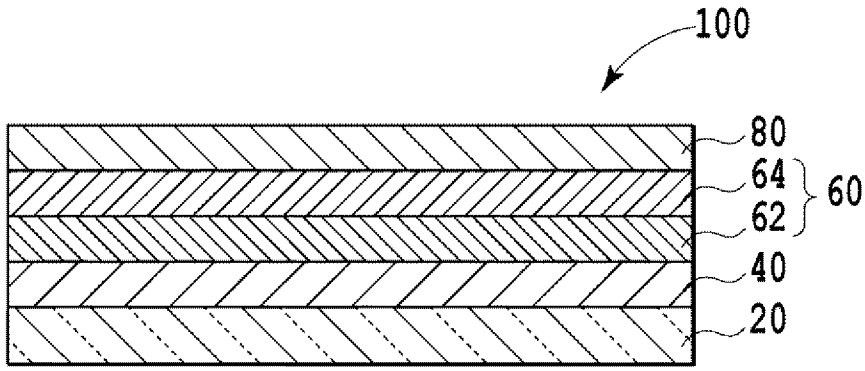
[請求項6] 前記第１磁性結晶粒及び前記第２磁性結晶粒は$L1_0$型の規則合金を含むことを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項7] 前記$L1_0$型の規則合金は、Ｆｅ及びＰｔを含むことを特徴とする請求項６に記載の垂直磁気記録媒体。

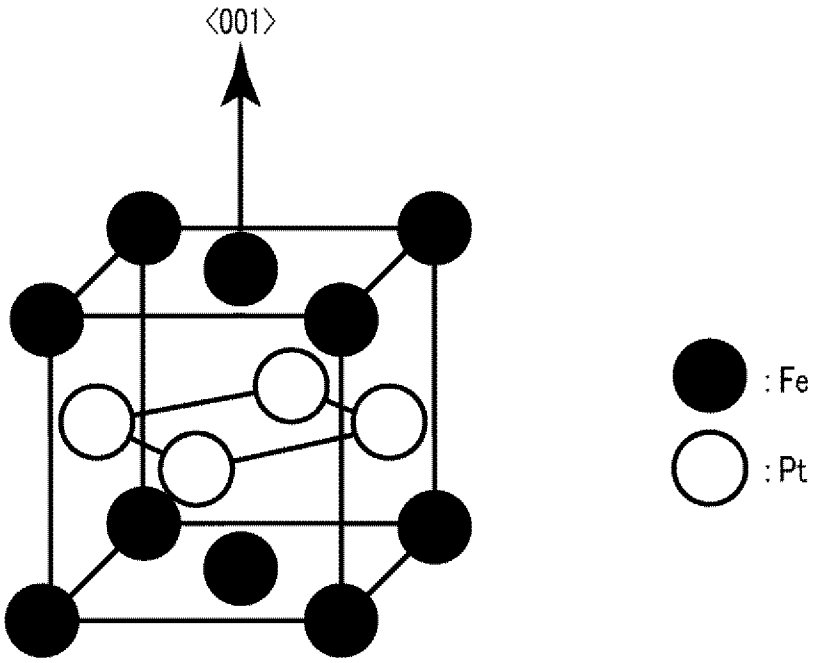
[請求項8] 前記第１磁気記録層の膜厚は、４ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１～７のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

[請求項9] 前記第１磁気記録層又は第２磁気記録層を複数層有し、且つ、前記第１磁気記録層と第２磁気記録層が交互に積層されることを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の垂直磁気記録媒体。

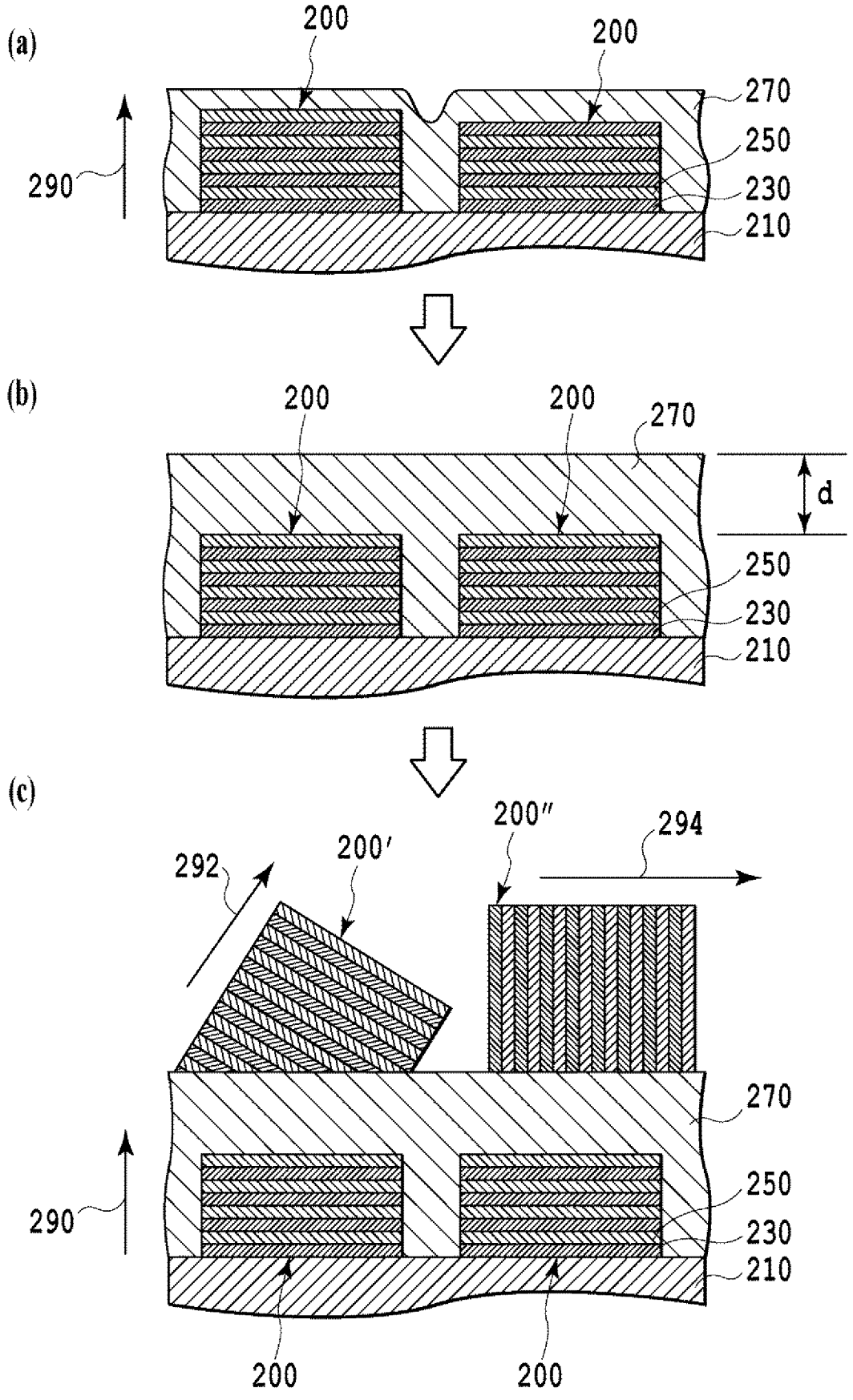
[図1]



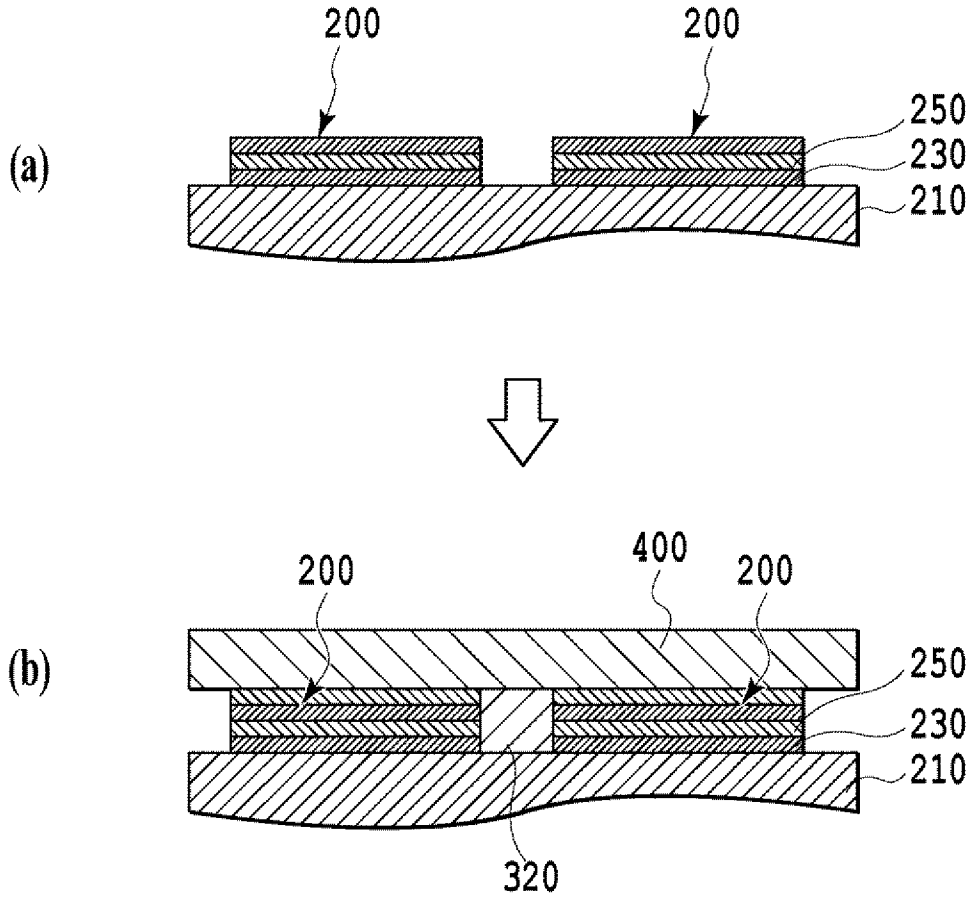
[図2]



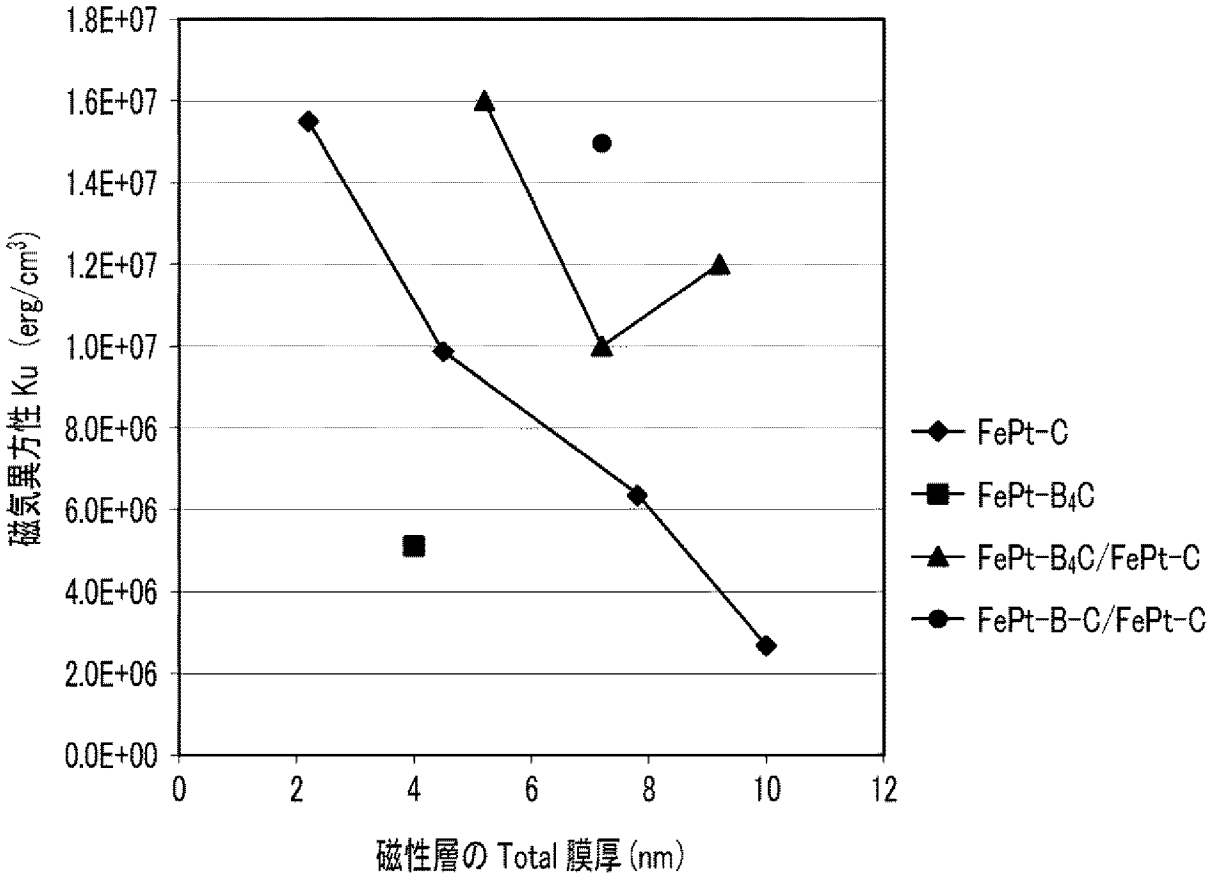
[図3]


(a)
200
200
270
250
230
210
290
(b)
200
200
270
d
250
230
210
(c)
200″
294
292
200′
270
250
230
210
290
200
200

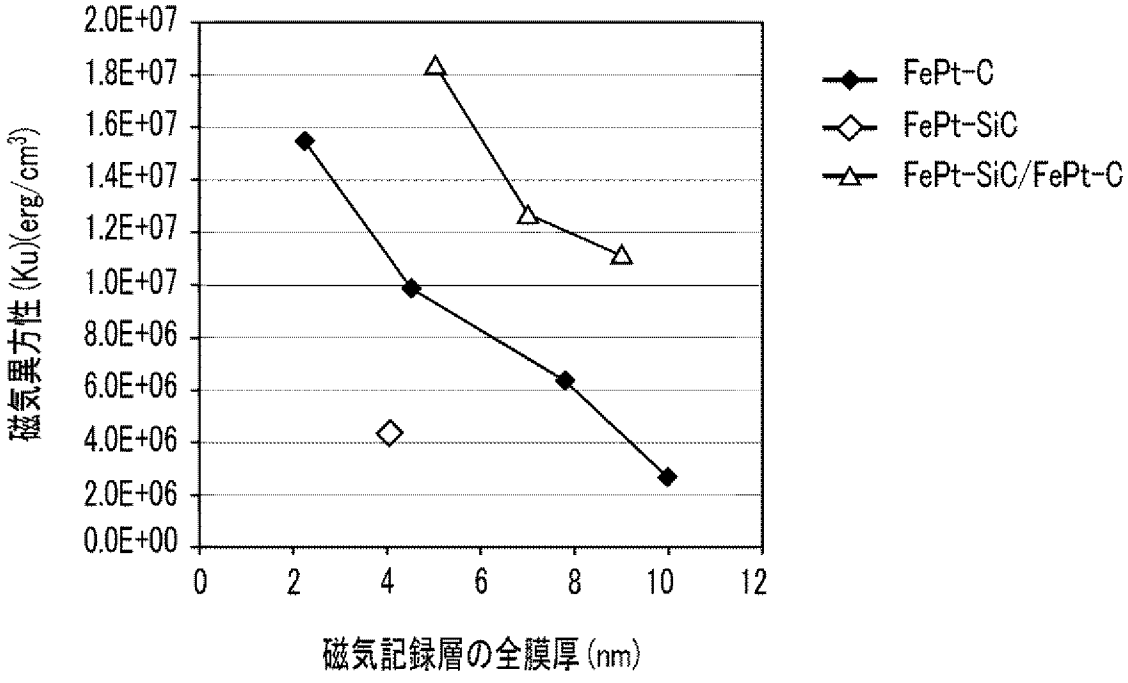
[図4]



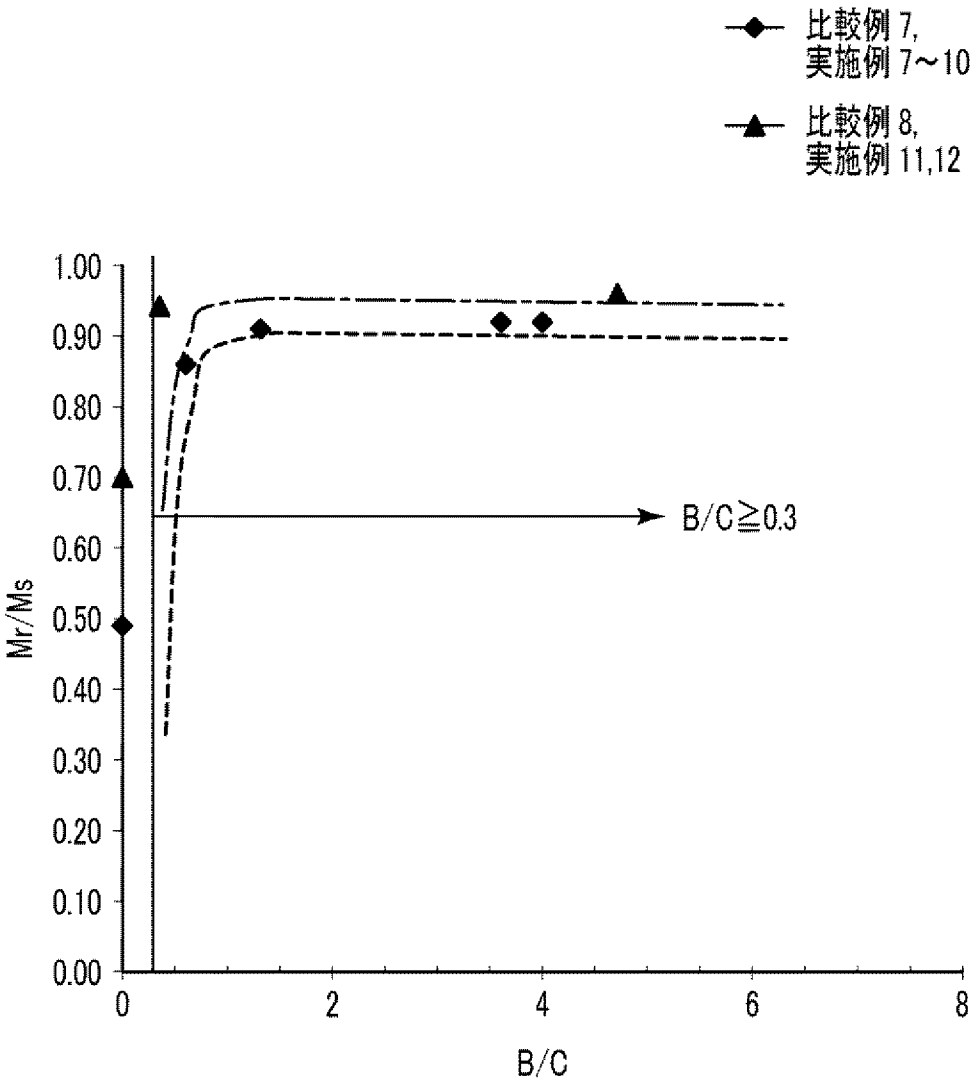
[図5]


1.8E+07
1.6E+07
1.4E+07
1.2E+07
1.0E+07
8.0E+06
6.0E+06
4.0E+06
2.0E+06
0.0E+00
磁気異方性 Ku (erg/cm3)
0
2
4
6
8
10
12
磁性層の Total 膜厚 (nm)
FePt-C
FePt-B4C
FePt-B4C/FePt-C
FePt-B-C/FePt-C

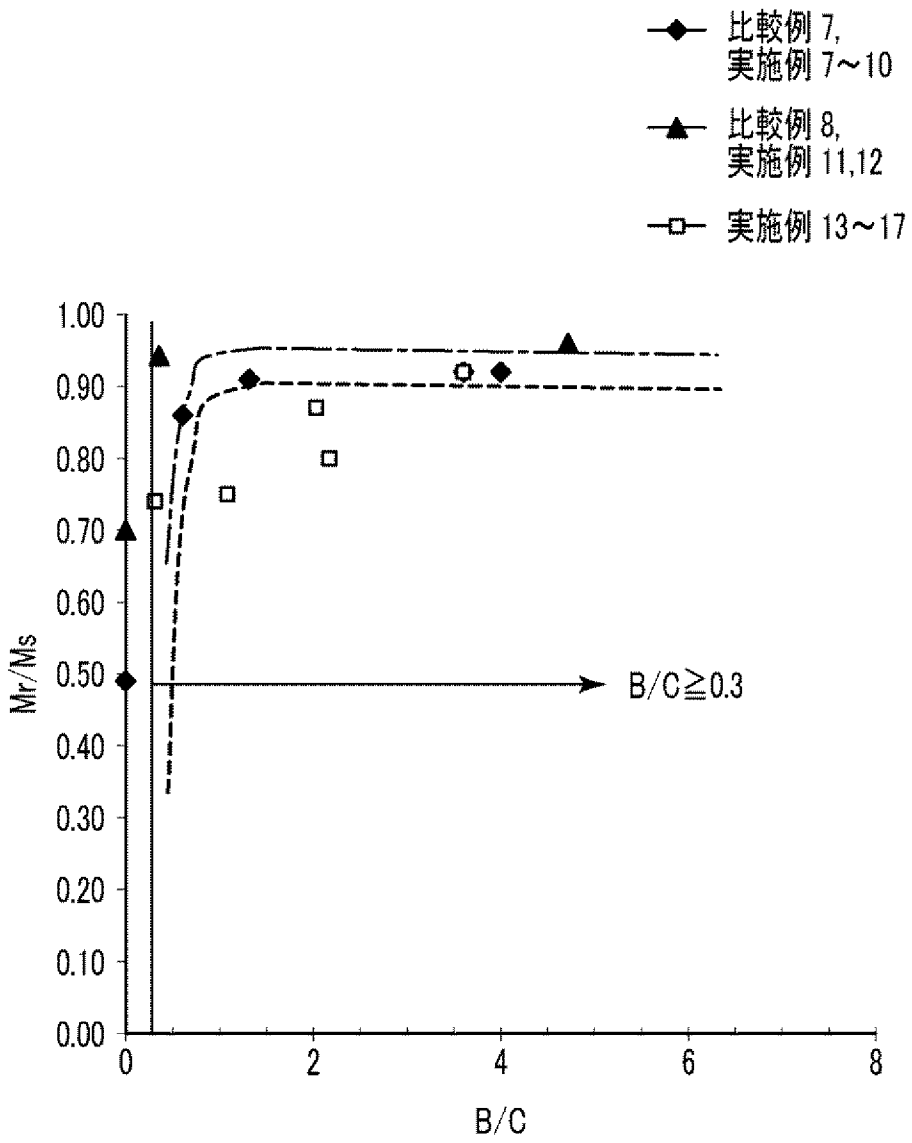
[図6]


2.0E+07
1.8E+07
1.6E+07
1.4E+07
1.2E+07
1.0E+07
8.0E+06
6.0E+06
4.0E+06
2.0E+06
0.0E+00
磁気異方性 (Ku)(erg/cm3)
0
2
4
6
8
10
12
磁気記録層の全膜厚 (nm)
FePt-C
FePt-SiC
FePt-SiC/FePt-C

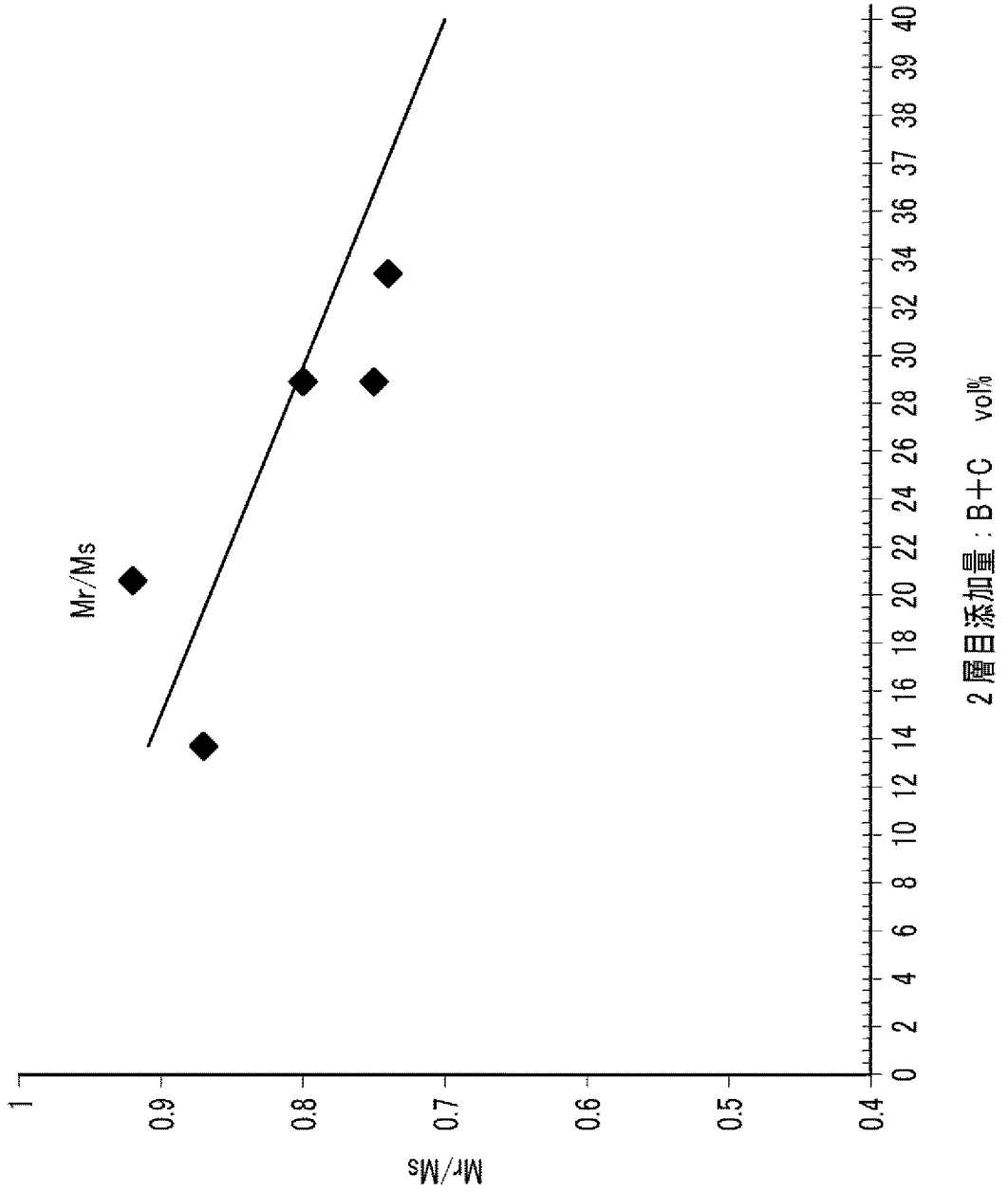
[図7]


比較例 7,
実施例 7～10
比較例 8,
実施例 11,12
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Mr/Ms
B/C≧0.3
0
2
4
6
8
B/C

[図8]

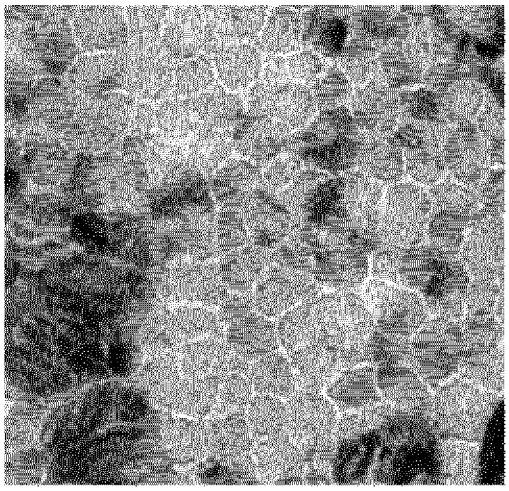

比較例 7,
実施例 7～10
比較例 8,
実施例 11,12
実施例 13～17
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Mr/Ms
B/C≧0.3
0
2
4
6
8
B/C

[図9]


Mr/Ms
Mr/Ms
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 37 38 39 40
2層目添加量：B+C vol%

[図10A]

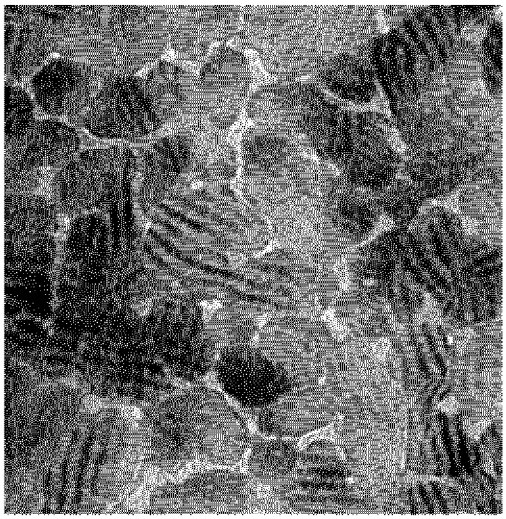
実施例 10 の平面 TEM 像



40nm

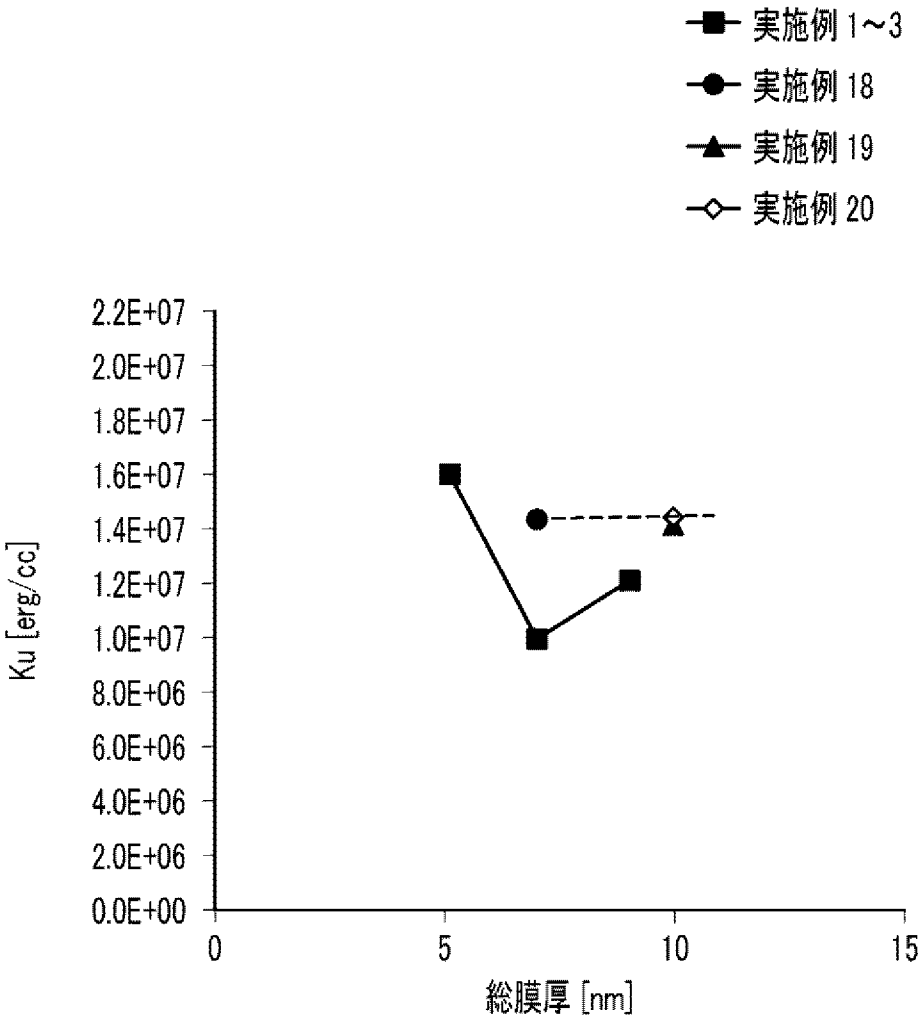
[図10B]

比較例 9 の平面 TEM 像

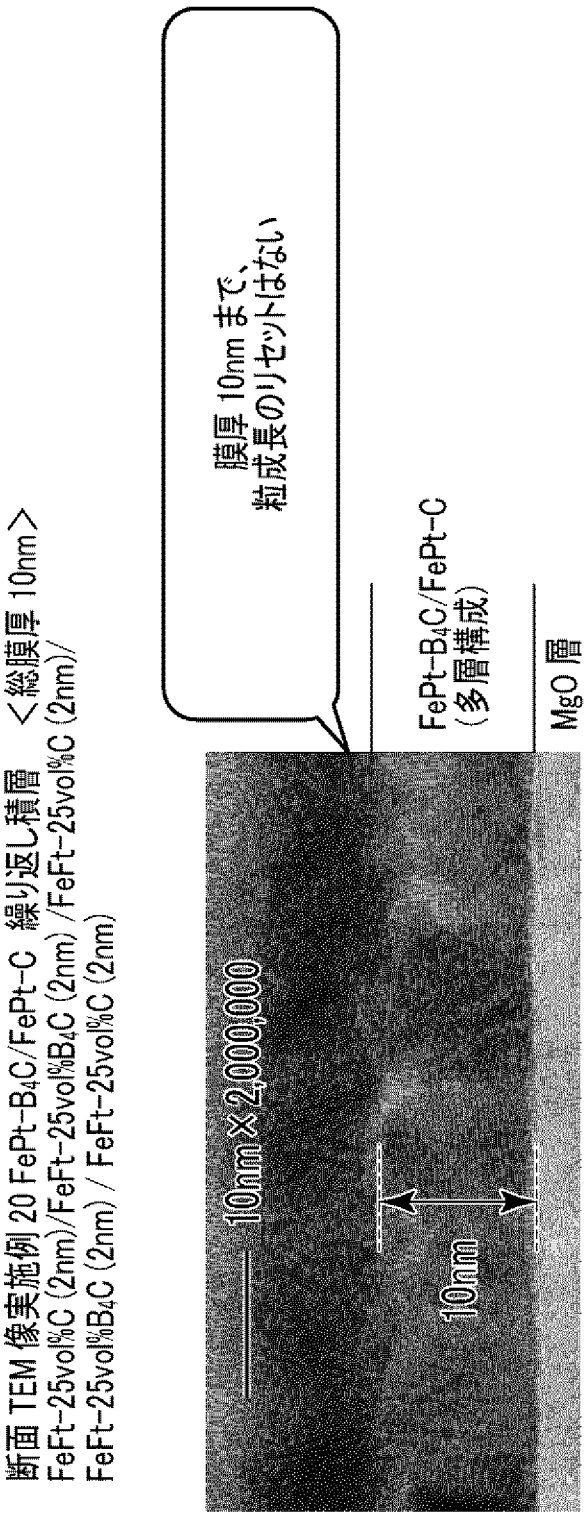


40nm

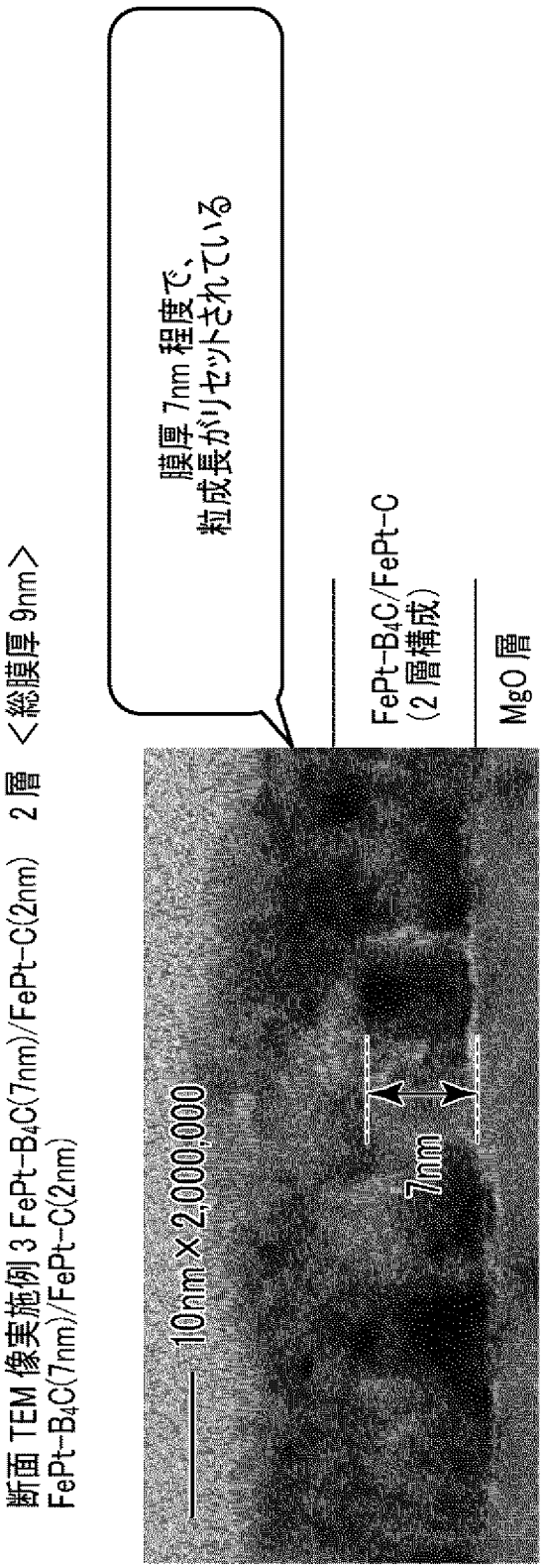
[図11]


実施例 1～3
実施例 18
実施例 19
実施例 20
2.2E+07
2.0E+07
1.8E+07
1.6E+07
1.4E+07
1.2E+07
1.0E+07
8.0E+06
6.0E+06
4.0E+06
2.0E+06
0.0E+00
Ku [erg/cc]
0
5
10
15
総膜厚 [nm]

[図12A]


断面 TEM 像実施例 20 FePt-B4C/FePt-C 繰り返し積層 <総膜厚 10nm>
FeFt-25vol%C (2nm)/FeFt-25vol%B4C (2nm) /FeFt-25vol%C (2nm)/
FeFt-25vol%B4C (2nm) / FeFt-25vol%C (2nm)
膜厚 10nm まで、
粒成長のリセットはない
FePt-B4C/FePt-C
(多層構成)
MgO 層
10nm x 2,000,000
10nm

[図12B]


断面 TEM 像実施例 3 FePt-B4C(7nm)/FePt-C(2nm) 2 層 <総膜厚 9nm>
FePt-B4C(7nm)/FePt-C(2nm)
膜厚 7nm 程度で、
粒成長がリセットされている
FePt-B4C/FePt-C
(2 層構成)
MgO 層
10nm×2,000,000
7nm

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/007213

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G11B5/66(2006.01)i, *G11B5/64*(2006.01)i, *G11B5/65*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G11B5/66, G11B5/64, G11B5/65

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2012-048784 A (Hitachi, Ltd.), 08 March 2012 (08.03.2012), paragraphs [0027], [0043] to [0045] & US 2012/0052330 A1 & CN 102385871 A	1,5-9 2-4
Y	JP 2012-160242 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 23 August 2012 (23.08.2012), paragraph [0023] & US 2012/0196154 A1	2-4
Y	JP 2010-153030 A (Toshiba Corp.), 08 July 2010 (08.07.2010), paragraphs [0033], [0034] (Family: none)	2-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 05 February, 2014 (05.02.14)	Date of mailing of the international search report 18 February, 2014 (18.02.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/007213

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-026558 A (The University of Tokyo), 01 February 2007 (01.02.2007), entire text (Family: none)	1-9
A	JP 2001-351217 A (Fujitsu Ltd.), 21 December 2001 (21.12.2001), entire text (Family: none)	1-9
A	JP 2010-102816 A (Hoya Corp.), 06 May 2010 (06.05.2010), entire text (Family: none)	1-9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／００７２１３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G11B5/66(2006.01)i, G11B5/64(2006.01)i, G11B5/65(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G11B5/66, G11B5/64, G11B5/65

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2012-048784 A (株式会社日立製作所) 2012.03.08 段落【0027】, 【0043】-【0045】 & US 2012/0052330 A1 & CN 102385871 A	1, 5-9 2-4
Y	JP 2012-160242 A (富士電機株式会社) 2012.08.23, 段落【0023】 & US 2012/0196154 A1	2-4
Y	JP 2010-153030 A (株式会社東芝) 2010.07.08, 段落【0033】, 【0034】 (ファミリーなし)	2-4

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０５．０２．２０１４	１８．０２．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｄ　４６９０
原田　貴志
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５５１

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Ａ	JP 2007-026558 A（国立大学法人　東京大学）2007.02.01，全文 （ファミリーなし）	1-9
Ａ	JP 2001-351217 A（富士通株式会社）2001.12.21，全文 （ファミリーなし）	1-9
Ａ	JP 2010-102816 A（ＨＯＹＡ株式会社）2010.05.06，全文 （ファミリーなし）	1-9