

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。より詳細には、本発明は、エネルギーアシスト磁気記録方式で使用される垂直磁気記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 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。垂直磁気記録媒体は、非磁性基板と、硬質磁性材料から形成される磁気記録層を少なくとも含む。垂直磁気記録媒体は、任意選択的に、軟磁性材料から形成されて、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さらに含んでもよい。

[0003] 特開2001-291230号公報、特開平08-083418号公報および国際公開第2002/039433号パンフレットは、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を記載している（特許文献1～3などを参照）。グラニューラ磁性材料は、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体を含む。グラニューラ磁性材料中の個々の磁性結晶粒は、非磁性体によって磁氣的に分離されている。

[0004] 近年、垂直磁気記録媒体の記録密度のさらなる向上を目的として、グラニューラ磁性材料中の磁性結晶粒の粒径を縮小させる必要に迫られている。一方で、磁性結晶粒の粒径の縮小は、記録された磁化（信号）の熱安定性を低下させる。そのため、磁性結晶粒の粒径の縮小による熱安定性の低下を補償するために、グラニューラ磁性材料中の磁性結晶粒を、より高い結晶磁気異方性を有する材料を用いて形成することが求められている。

[0005] 求められる高い結晶磁気異方性を有する材料として、L1₀系規則合金が提

案されている。特許第3318204号公報、特許第3010156号公報、特開2001-101645号公報、特開2004-178753号公報、および特表2010-503139号公報は、L₁系規則合金として、FePt、CoPt、FePd、CoPdなどの、Fe、CoおよびNiからなる群から選択される少なくとも一種の元素と、Pt、Pd、AuおよびIrからなる群から選択される少なくとも一種の元素とを含む合金を記載している（特許文献4～8参照）。さらに、上記文献は、L₁系規則合金薄膜の種々の製造方法を記載している（特許文献4～8参照）。

[0006] 一方、基本的に磁気記録層の膜厚は媒体面内方向に一様であるため、磁性結晶粒を小さくしていくことは、一定の高さを有する磁性結晶粒の断面積を小さくすることを意味する。その結果、磁性結晶粒自身に作用する反磁界が小さくなり、磁性結晶粒の磁化を反転させるために必要な磁界（反転磁界）は大きくなる。このように、磁性結晶粒の形状で考えた場合、記録密度の向上は、信号の記録の際により大きな磁界が必要となることを意味する。

[0007] 記録のために必要な磁界強度の増加の課題に対して、熱アシスト記録方式、マイクロ波アシスト記録方式などのエネルギーアシスト磁気記録方式が提案されている（非特許文献1参照）。熱アシスト記録方式は、磁性材料における磁気異方性定数（ K_u ）の温度依存性、すなわち高温ほど K_u が小さいという特性を利用したものである。この方式では、磁気記録層の加熱機能を有するヘッドを用いる。すなわち、磁気記録層を昇温させて一時的に K_u を低下させることにより反転磁界を低減させ、その間に書き込みを行う。降温後は K_u が元の高い値に戻るため、安定して記録信号（磁化）を保持できる。熱アシスト記録方式を適用する場合には、従来の設計指針に加え、温度特性を考慮して磁気記録層を設計する必要がある。

[0008] 五十嵐他、「シュミレーションによる熱アシスト記録の検討ー記録方式の検討ー」、信学技報、社団法人 電子情報通信学会、2004年、MR2004-39は、熱アシスト記録方式における記録ビット間の遷移幅は、ヘッド磁界勾配および温度勾配により決定されるとの検討を記載している（非特

許文献 2 参照)。

[0009] また、特開 2012-48784 号公報は、 L_{10} 系規則合金の磁性結晶粒および非磁性体を有するグラニューラ磁性材料からなる磁気記録層を、基板加熱／堆積のサイクルの反復によって形成する方法を記載している（特許文献 9 参照）。上記の加熱／堆積サイクルの反復は、グラニューラ磁性材料の堆積中に基板温度が低下することを抑制して、磁性結晶粒の平均粒径を減少させ、かつ垂直配向性を向上させると説明されている。さらに、特開 2012-48784 号公報は、異なる非磁性体を有する 2 種の層（FePtAg-C 層および FePtAg-SiO₂ 層）が積層された磁気記録層を記載している（特許文献 9 参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献 1：特開 2001-291230 号公報
特許文献 2：特開平 08-083418 号公報
特許文献 3：国際公開第 2002/039433 号パンフレット
特許文献 4：特許第 3318204 号公報
特許文献 5：特許第 3010156 号公報
特許文献 6：特開 2001-101645 号公報
特許文献 7：特開 2004-178753 号公報
特許文献 8：特表 2010-503139 号公報
特許文献 9：特開 2012-48784 号公報

非特許文献

- [0011] 非特許文献 1：稲葉他、「新しい高密度記録技術－エネルギーアシスト磁気記録媒体－」、富士時報、富士電機ホールディングス株式会社 技術開発本部、2010 年 7 月 10 日、第 83 巻第 4 号、257-260
非特許文献 2：五十嵐他、「シュミレーションによる熱アシスト記録の検討－記録方式の検討－」、信学技報、社団法人 電子情報通信学会、2004 年、MR2004-39

非特許文献3：R. F. Penoyer、「Automatic Torque Balance for Magnetic Anisotropy Measurements」、The Review of Scientific Instruments、1959年8月、第30巻第8号、711－714

非特許文献4：近角聰信、強磁性体の物理（下） 裳華房、10－21

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 本発明者は、エネルギーアシスト磁気記録方式の採用にあたって、磁気記録層の膜厚を増大させる必要性があることを見いだした。しかしながら、規則合金からなる磁性結晶粒と非磁性体とを有する規則合金グラニューラー磁性材料を用いて磁気記録層を形成する際に、単純に磁気記録層の膜厚を増大すると、磁気異方性定数（ K_u ）、角形比などの磁気記録層の磁気特性が低下することが分かってきた。たとえば、非磁性体としてカーボン（C）を用いる規則合金グラニューラー磁性材料の場合、本来は磁性結晶粒の粒界部に存在すべきカーボンが磁性結晶粒の上表面を覆って磁性結晶粒の柱状成長を阻害し、当該上表面のカーボンの上で磁性結晶粒が二次成長して、磁気特性を低下させることが分かった。また、非磁性体として酸化物材料を用いた場合にも、磁気記録層の膜厚の増大に伴って磁気特性の低下が観察された。

[0013] 本発明は上述の問題に鑑みなされたものであって、その目的とは、優れた磁気特性を有すると同時に、大きな膜厚を有するグラニューラー構造の磁気記録層を有する磁気記録媒体を提供することである。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明の磁気記録媒体は、非磁性基板および磁気記録層を含み、磁気記録層は、非磁性基板側から奇数番目に位置する複数の第1磁気記録層と、非磁性基板側から偶数番目に位置する1つまたは複数の第2磁気記録層を含み、第1磁気記録層は、規則合金を有する第1磁性結晶粒と、第1磁性結晶粒を取り囲み、カーボンを主成分とする材料からなる第1非磁性部とを有するグラニューラー構造を有し、第2磁気記録層は、規則合金を有する第2磁性結晶粒と、第2磁性結晶粒を取り囲み、第1非磁性部とは異なる材料からなる第

2 非磁性部とを有するグラニューラー構造を有することを特徴とする。ここで、複数の第 1 磁気記録層のそれぞれは 1 ～ 4 nm の膜厚を有し、1 つまたは複数の第 2 磁気記録層のそれぞれは 1 ～ 3 nm の膜厚を有することが好ましい。また、第 2 非磁性部は、シリコン酸化物、およびシリコン窒化物からなる群から選択される材料で構成されていてもよい。さらに、第 1 磁性結晶粒および第 2 磁性結晶粒は、同じ構成元素からなることが好ましい。この規則合金は、Fe、Co および Ni からなる群から選択される少なくとも一種の元素と、Pt、Pd、Au および Ir からなる群から選択される少なくとも一種の元素とを含む合金であってもよい。特に好ましくは、規則合金は、FePt、CoPt、FePd、および CoPd からなる群から選択される。さらに、本発明の磁気記録媒体は、非磁性基体と磁気記録層との間に、ヒートシンク層、密着層、軟磁性裏打ち層、下地層およびシード層からなる群から選択される 1 つまたは複数の層をさらに含んでもよい。

発明の効果

[0015] 上記の構成を採用することによって、磁気記録層の膜厚を増大しても、磁性結晶粒が良好に分離されたグラニューラー構造、および大きな磁気異方性定数 K_u を有する磁気記録層を有する磁気記録媒体の提供が可能となる。上記の特徴によって、本発明の磁気記録媒体は、熱アシスト磁気記録方式およびマイクロ波アシスト磁気記録方式などのエネルギーアシスト磁気記録方式における使用に好適である。

図面の簡単な説明

[0016] [図1] 本発明の磁気記録媒体の 1 つの構成例を示す断面図である。

[図2] 本発明の磁気記録媒体の別の構成例を示す断面図である。

[図3] 実施例および比較例で得られた磁気記録媒体における、磁気記録層の膜厚と磁気異方性定数との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明の磁気記録媒体は、非磁性基板および磁気記録層を含み、磁気記録層は、前記非磁性基板側から奇数番目に位置する複数の第 1 磁気記録層と、

非磁性基板側から偶数番目に位置する１つまたは複数の第２磁気記録層を含み、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み、カーボンを主成分とする材料からなる第１非磁性部とを有するグラニューラ構造を有し、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み、前記第１非磁性部とは異なる材料からなる第２非磁性部とを有するグラニューラ構造を有することを特徴とする。

[0018] 図１に、２つの第１磁気記録層５１（ａ，ｂ）および１つの第２磁気記録層５２からなる磁気記録層５０を含む本発明の磁気記録媒体の構成例を示した。この構成例において、本発明の磁気記録媒体は、非磁性基体１０と、非磁性基体１０、密着層２０、下地層３０、シード層４０、磁気記録層５０、および保護層６０を有する。図１の構成例に示した密着層２０、下地層３０、シード層４０、および保護層６０は、任意選択的に設けてもよい層である。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５０との間に、ヒートシンク層、軟磁性裏打ち層、中間層などをさらに含んでもよい。また、図２に示すように、本発明の磁気記録媒体は、２つの第１磁気記録層５１（ａ，ｂ）および２つの第２磁気記録層５２（ａ，ｂ）からなる磁気記録層５０を含んでもよい。

[0019] 非磁性基体１０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（ＮｉＰメッキを施したＡｌ合金、強化ガラス、結晶化ガラス等）を用いて、非磁性基体１０を形成することができる。

[0020] 任意選択的に設けてもよい密着層２０は、その上に形成される層とその下に形成される層（非磁性基体１０を含む）との密着性を高めるために用いられる。密着層２０を非磁性基体１０の上面に設ける場合、密着層２０は、前述の非磁性基板１０の材料との密着性が良好な材料を用いて形成することができる。そのような材料は、Ｔａ、ＣｒＴｉ合金などを含む。あるいはまた、非磁性基体１０以外の２つの構成層の間に密着層２０を形成する場合、密着層２０を形成するための材料はＮｉ、Ｗ、Ｔａ、Ｃｒ、Ｒｕなどの金属、

前述の金属を含む合金を含む。密着層20は、単一の層であってもよいし、複数の層の積層構造を有してもよい。

[0021] 任意選択的に設けてもよい軟磁性裏打ち層（不図示）は、磁気ヘッドからの磁束を制御して、磁気記録媒体の記録・再生特性を向上させる。軟磁性裏打ち層を形成するための材料は、NiFe合金、センダスト（FeSiAl）合金、CoFe合金などの結晶質材料、FeTaC、CoFeNi、CoNiPなどの微結晶質材料、CoZrNb、CoTaZrなどのCo合金を含む非晶質材料を含む。軟磁性裏打ち層の膜厚の最適値は、磁気記録に用いる磁気ヘッドの構造および特性に依存する。他の層と連続成膜で軟磁性裏打ち層を形成する場合、生産性との兼ね合いから、軟磁性裏打ち層が10nm～500nmの範囲内（両端を含む）の膜厚を有することが好ましい。

[0022] 本発明の磁気記録媒体を熱アシスト磁気記録方式において使用する場合、ヒートシンク層（不図示）を設けてもよい。ヒートシンク層は、熱アシスト磁気記録時に発生する磁気記録層50の余分な熱を効果的に吸収するための層である。ヒートシンク層は、熱伝導率および比熱容量が高い材料を用いて形成することができる。そのような材料は、Cu単体、Ag単体、Au単体、またはそれらを主体とする合金材料を含む。ここで、「主体とする」とは、当該材料の含有量が50wt%以上であることを示す。また、強度などの観点から、Al-Si合金、Cu-B合金などを用いて、ヒートシンク層を形成することができる。さらに、センダスト（FeSiAl）合金、軟磁性のCoFe合金などを用いてヒートシンク層を形成し、ヒートシンク層に軟磁性裏打ち層の機能（ヘッドの発生する垂直方向磁界を磁気記録層50に集中させる機能）を付与することもできる。ヒートシンク層の膜厚の最適値は、熱アシスト磁気記録時の熱量および熱分布、ならびに磁気記録媒体の層構成および各構成層の厚さによって変化する。他の構成層との連続成膜で形成する場合などは、生産性との兼ね合いから、ヒートシンク層の膜厚は10nm以上100nm以下であることが好ましい。ヒートシンク層は、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。通常の場合、ヒートシンク層は、スパッタ法を用いて形成される。ヒートシンク層は、磁気記録媒体に求められる特性を考慮して、非磁性基体 10 と密着層 20 との間、密着層 20 と下地層 30 との間などに設けることができる。

[0023] 下地層 30 は、その下に形成される層の結晶構造が、磁気記録層 50 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、下地層 30 は非磁性であることが要求される。下地層 30 を形成するための材料は、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。下地層 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。

[0024] シード層 40 の機能は、磁気記録層 50 と下地層 30 などのその下にある層の間の密着性を確保すること、上層である磁気記録層 50 の第 1 磁性結晶粒および第 2 磁性結晶粒の粒径および結晶配向を制御することである。シード層 40 は非磁性であることが好ましい。加えて、本発明の磁気記録媒体を熱アシスト磁気記録方式において使用する場合には、シード層 40 が熱的なバリアとして磁気記録層 50 の温度上昇および温度分布を制御することが好ましい。磁気記録層 50 の温度上昇および温度分布を制御するために、シード層 40 は、熱アシスト記録時の磁気記録層 40 の加熱の際に磁気記録層 50 の温度を速やかに上昇させる機能と、磁気記録層 50 の面内方向の伝熱が起こる前に、深さ方向の伝熱によって磁気記録層 50 の熱を下地層 30 などの下層に導く機能とを両立することが好ましい。

[0025] 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 50 の材料に合わせて適宜選択される。より具体的には、シード層 40 の材料は、磁気記録層の磁性結晶粒の材料に合わせて選択される。たとえば、磁気記録層 50 の磁性結晶粒が L₁ 型規則合金で形成される場合、NaCl 型の化合物を用いてシード層 40 を形成することが好ましい。特に好ましくは、Mg

O、SrTiO₃などの酸化物、あるいはTiNなどの窒化物を用いてシード層40を形成する。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50の磁性結晶粒の結晶性の向上、および生産性の向上の観点から、シード層40は、1nm～60nm、好ましくは1nm～20nmの膜厚を有することが好ましい。シード層40は、スパッタ法（RFマグネトロンスパッタ法、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。

[0026] 保護層60は、磁気記録媒体の分野で慣用的に使用されている材料を用いて形成することができる。具体的には、ダイヤモンドライクカーボンなどのカーボン系材料、あるいは窒化シリコンなどのシリコン系材料を用いて、保護層60を形成することができる。また、保護層60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60は、たとえば、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60は、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。

[0027] また、任意選択的に、本発明の磁気記録媒体は、保護層60の上に設けられる液体潤滑剤層（不図示）をさらに含んでもよい。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、スピコート法などの塗布法を用いて形成することができる。

[0028] 磁気記録層50は、複数の第1磁気記録層51と1つまたは複数の第2磁気記録層とが交互に積層された構造を有する。最小限の層で構成される磁気記録層50は、図1に示すように、2つの第1磁気記録層51（a、b）と、その間に位置する第2磁気記録層52とを有する。磁気記録層50を構成

する第1磁気記録層51および第2磁気記録層52の数は、所望される磁気記録層50の膜厚によって決定することができる。より大きな膜厚を有する磁気記録層50が所望される場合、図2に示すように、2つの第1磁気記録層51(a, b)と、2つの第2磁気記録層52(a, b)とを交互に積層して磁気記録層50を構成してもよい。第1磁気記録層51と第2磁気記録層52とを交互に積層することを条件として、5層以上の構成層からなる磁気記録層50を形成することも可能である。磁気記録層50の構成層の数は、奇数であってもよく、偶数であってもよい。

[0029] 第1磁気記録層51は、磁気記録層50中の、非磁性基板側から数えて奇数番目の構成層である。第1磁気記録層51は、第1磁性結晶粒と、第1磁性結晶粒を取り囲む第1非磁性部とを有するグラニューラー構造を有する。第1磁性結晶粒は、規則合金を用いて構成される。規則合金が少量の結晶欠陥を有する場合、あるいは少量の不純物を有する場合であっても、第1磁性結晶粒が規則合金としての特性を発揮する限りにおいて使用することができる。好ましくは、第1磁性結晶粒は、L₁₀系規則合金を用いて形成される。用いることができるL₁₀系規則合金は、FePt、CoPt、FePd、CoPdなどの、Fe、CoおよびNiからなる群から選択される少なくとも一種の元素と、Pt、Pd、AuおよびIrからなる群から選択される少なくとも一種の元素とを含む合金である。規則合金の規則化に必要な温度の低減、保磁力の温度勾配の増大、マイクロ波に対する強磁性共鳴周波数の調整などを目的として、L₁₀系規則合金に対してAg、Cu、Mnなどの他の金属を添加してもよい。

[0030] 第1非磁性部は、カーボンを主成分とする材料からなる。好ましくは、第1非磁性部はカーボンで形成される。以下、わかり易さのために第1非磁性部をカーボンで構成する場合を例にとって説明する。しかしながら、カーボンを主体とする材料においても以下と同様の議論が可能である。第1磁気記録層におけるカーボンの体積比率は、複数の第1磁気記録層のそれぞれを通して同一としてもよく、あるいは異なってもよい。磁気記録層50の膜

厚が増大するにつれて、カーボンは第1非磁性部だけでなく第1磁性結晶粒の上表面にも堆積しやすくなり、前記した二次成長を誘発しやすくなる。第1磁性結晶粒の上表面へのカーボンの堆積を抑制するためには、過剰なカーボンを抑制することが好ましい。従って、上層の第1磁気記録層はカーボンの体積比率を減少させることが好ましい。より具体的には、2番目の第1磁気記録層51bのカーボン体積比率は、最初の第1磁気記録層51aのカーボン体積比率よりも小さくすることが好ましい。第1磁気記録層をさらに積層する場合も同様であり、3番目の第1磁気記録層のカーボン体積比率は、1番目の第1磁気記録層51aのカーボン体積比率よりも小さくすることが好ましい。

[0031] シード層40直上の第1磁気記録層51aの第1非磁性部の体積比率が磁性結晶粒の粒径を決める。磁性結晶粒の粒径は5～12nmとすることが好ましい。このため、最初の第1磁気記録層51a中の第1非磁性部は、最初の第1磁気記録層51a全体を基準として20～50体積%であることが好ましい。2番目以降の第1磁気記録層51b等の第1非磁性部の体積比率は、10～50体積%であることが好ましい。上記したように最初の第1磁気記録層51aより体積比率を減少させることが好ましいが、場合によっては同一としてもよいためである。

[0032] 第1磁気記録層51の膜厚は、第1非磁性部の比率に応じて設定される。一般的には、第1磁気記録層51は、1～4nmの範囲内の膜厚を有することが好ましい。この範囲内の膜厚を有することによって、第1磁性結晶粒と第1非磁性部との良好な分離を促進し、同時に第1磁性結晶粒の二次成長を防止することができる。ここで、第1磁性結晶粒と第1非磁性部との良好な分離によって、ヒステリシスループの α を好適な値とし1近傍の値にして、角形比を維持することができる。「ヒステリシスループの α 」は、保磁力付近($H=H_c$)における磁化曲線の傾き(dM/dH)を意味する。グラニューラ構造中の磁性結晶粒が磁氣的に良好に分離されていない場合、 α 値が増大する。一方、たとえば二次成長による結晶粒が存在する場合のような、

磁性結晶粒の磁気特性のバラツキが大きい場合、 α 値が減少する。 α 値は、1 近傍の値を有することが好ましい。また、「角形比」は、飽和磁化 (M_s) に対する残留磁化 (M_r) の比 (M_r/M_s) を意味する。角形比は、1 近傍の値を有することが好ましい。さらに、「第 1 磁性結晶粒の二次成長」とは、シード層表面から成長した第 1 磁性結晶粒の上表面が第 1 非磁性部を構成する材料で被覆され、その上にランダムな配向を有する磁性結晶粒が成長する現象を意味する。第 1 磁性結晶粒の二次成長が発生した場合、磁性結晶粒の配向の乱れによって層全体としての磁気異方性が低下するという望ましくない現象をもたらす。

[0033] 第 2 磁気記録層 5 2 は、磁気記録層 5 0 中の、非磁性基板側から数えて偶数番目の構成層である。第 2 磁気記録層 5 2 は、第 2 磁性結晶粒と、第 2 磁性結晶粒を取り囲む第 2 非磁性部とを有するグラニューラー構造を有する。第 2 磁性結晶粒は、第 1 磁性結晶粒と同様に、規則合金を用いて構成される。規則合金が少量の結晶欠陥を有する場合、あるいは少量の不純物を有する場合であっても、第 2 磁性結晶粒が規則合金としての特性を発揮する限りにおいて使用することができる。好ましくは、第 2 磁性結晶粒は、L 1₀系規則合金を用いて形成される。一方、第 2 非磁性部は、第 1 非磁性部とは異なる材料から形成される。第 2 非磁性部を形成する材料は、シリコン酸化物 (SiO_x)、およびシリコン窒化物 (SiN_x) からなる群から選択される。これらの材料は小さい熱伝導性を有し、熱アシスト記録を行う際に好ましくない面内方向の伝熱を抑制する点でも有効である。また、本発明者は、これらの材料が、第 1 非磁性部を形成するカーボン系材料よりも磁性結晶粒の上表面に回り込みにくいことを見いだした。特にシリコン酸化物は、カーボン系材料の上表面への拡散を防ぐ効果も併せ持っている。第 2 磁気記録層 5 2 中の第 2 非磁性部は、第 2 磁気記録層 5 2 全体を基準として 25 ~ 50 体積%であることが好ましい。

[0034] 第 2 磁気記録層 5 2 の膜厚は、第 2 非磁性部の比率に応じて設定される。一般的には、第 2 磁気記録層 5 2 は、1 ~ 3 nm の範囲内の膜厚を有するこ

とが好ましい。この範囲内の膜厚を有することによって、磁気記録層50全体としての角形比および磁気異方性定数 K_u の減少を抑制することが可能となる。この理由は次の通りである。シリコン酸化物およびシリコン窒化物は、第1磁気記録層51上に形成する初期段階においては第2非磁性部への析出が促進される。このため第2磁性結晶粒の L_1 規則化を阻害しにくいため良好な磁気特性を得ることができる。しかしながら第2磁気記録層52の膜厚が3nmより厚くなると、シリコン酸化物およびシリコン窒化物の第2非磁性部への析出が抑制されることとなり、この結果、第2磁性結晶粒の規則化を抑制することになって、磁気特性が悪化する。

[0035] 上記した特性の悪化は次のようにして改善することができる。第2磁気記録層52を3nm以下の膜厚で形成した後に、再び第1磁気記録層51を1～4nmの膜厚で形成する。このようにすることにより、シリコン酸化物およびシリコン窒化物の第2非磁性部への析出の抑制を避けることができる。この結果、第2磁性結晶粒の L_1 規則化を阻害しにくく良好な磁気特性を得ることができる。所望により、第2磁気記録層52、第1磁気記録層51の形成を繰り返すことで磁気記録層50全体としての膜厚を所望の膜厚とすることができる。

[0036] 第1磁性結晶粒および第2磁性結晶粒は、同じ構成元素からなることが好ましい。同じ構成元素とすることで第1磁性結晶粒から第2磁性結晶粒へのエピタキシャル成長が促進され、規則合金の規則度が向上するためである。

[0037] 本発明の磁気記録層50の形成においては、最初に第1磁気記録層51aを形成する。第1磁気記録層51の形成は、好ましくは、基板の加熱を伴うスパッタ法にて実施される。前述のように1～4nmの膜厚を有する第1磁気記録層51の上に、第2磁気記録層52を形成する。第2磁気記録層52の形成は、異なるターゲットを用いることを除いて、好ましくは、第1磁気記録層51aと同様に基板の加熱を伴うスパッタ法にて実施される。ここで、第1磁気記録層51aの第1磁性結晶粒の上に第2磁気記録層52の第2磁性結晶粒が形成される。ここで形成する第2磁気記録層52の膜厚は、前

述のように1～3 nmの範囲内とする。さらに、第2磁気記録層52の上へ、前述と同様に第1磁気記録層51bを形成することによって、本発明の磁気記録層50が得られる。2層目の第1磁気記録層51bの膜厚は、1～4 nmの範囲内、好ましくは1～3 nmの範囲内である。ここで、第2磁気記録層52の第2磁性結晶粒の上に第1磁気記録層51bの第1磁性結晶粒が形成される。

[0038] 所望される場合には、第1磁気記録層51の上への第2磁気記録層52の形成、および第2磁気記録層52の上への第1磁気記録層51の形成を交互に繰り返すことにより、所望の膜厚の磁気記録層50を形成する。

[0039] 以上の構成を採用することによって、第1磁気記録層の磁性結晶粒と第2磁気記録層の磁性結晶粒とは1対1で柱状成長することとなる。言い換えれば、第2磁気記録層の磁性結晶粒は、第1磁気記録層の磁性結晶粒を引き継いで結晶成長し、また、第1磁気記録層の磁性結晶粒は、その下部の第2磁気記録層の磁性結晶粒を引き継いで結晶成長することとなる。このようにして、磁性結晶粒の二次成長を抑制することにより、所望の角形比および磁気異方性定数を有すると同時に、大きな膜厚を有する磁気記録層を有する磁気記録媒体を得ることができる。

実施例

[0040] (実施例1)

平滑な表面を有する化学強化ガラス基体（HOYA社製N-10ガラス基体）を洗浄し、非磁性基体10を準備した。洗浄後の非磁性基体10を、スパッタ装置内に導入した。圧力0.3 PaのArガス中でTaターゲットを用いたDCマグネトロンスパッタ法により、膜厚5 nmのTa密着層20を形成した。

[0041] 次に、圧力0.3 PaのArガス中で純Crターゲットを用いたDCマグネトロンスパッタ法により、膜厚20 nmのCr下地層30を形成した。

[0042] 次に、基板を300℃に加熱し、圧力0.02 PaのArガス中でMgOターゲットを用いたRFスパッタ法により膜厚5 nmのMgOシード層40

を形成した。印加したRF電力は200Wであった。

[0043] 次に、シード層40を形成した積層体を450℃に加熱し、圧力1.0PaのArガス中でFe₅₀Pt₅₀-Cを用いるDCマグネトロンスパッタ法により、膜厚2nmのFePt-C第1磁気記録層51aを形成した。ここで、Fe₅₀Pt₅₀-Cターゲットの組成を、得られる第1磁気記録層51aの組成が60体積%Fe₅₀Pt₅₀-40体積%Cになるように調整した。

[0044] 続いて、第1磁気記録層51aを形成した積層体を再び450℃に加熱し、圧力1.0PaのArガス中でFe₅₀Pt₅₀-SiO₂を用いるDCマグネトロンスパッタ法により、膜厚2nmのFePt-SiO₂第2磁気記録層52を形成した。ここで、Fe₅₀Pt₅₀-SiO₂ターゲットの組成を、得られる第2磁気記録層52の組成が75体積%Fe₅₀Pt₅₀-25体積%SiO₂になるように調整した。

[0045] さらに、第2磁気記録層52を形成した積層体を再び450℃に加熱し、圧力1.0PaのArガス中でFe₅₀Pt₅₀-Cを用いるDCマグネトロンスパッタ法により、膜厚2nmのFePt-C第1磁気記録層51bを形成した。ここで、Fe₅₀Pt₅₀-Cターゲットの組成を、得られる第1磁気記録層51bの組成が75体積%Fe₅₀Pt₅₀-25体積%Cになるように調整した。

[0046] 次に、圧力0.3PaのArガス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法により、膜厚2nmのカーボン保護層60を形成して磁気記録媒体を得た。

[0047] (比較例1)

磁気記録層50の第3層となる第1磁気記録層51bの形成を行わなかったこと、および第2磁気記録層52の膜厚を3nmに変更したことを除いて、実施例1と同様の手順により磁気記録媒体を得た。

[0048] (比較例2)

磁気記録層50の第3層となる第1磁気記録層51bの形成を行わなかったこと、および第2磁気記録層52の組成を65体積%Fe₅₀Pt₅₀-35体積%SiO₂に変更したことを除いて、実施例1と同様の手順により磁気記録媒体

を得た。ここで、第2磁気記録層52の膜厚を3 nm、5 nmおよび7 nmに変化させた。

[0049] (比較例3)

磁気記録層50の第2層および第3層となる第2磁気記録層52および第1磁気記録層51bの形成を行わなかったこと、および第1磁気記録層51aの組成を75体積%Fe₅₀Pt₅₀−25体積%Cに変更したことを除いて、実施例1と同様の手順により磁気記録媒体を得た。ここで、第1磁気記録層51aの膜厚を4 nmおよび6 nmに変化させた。

[0050] (評価)

上記の実施例および比較例で得られた磁気記録媒体において、磁気記録層の磁気異方性定数K_u、角形比、 α 値、および保磁力H_cを測定した。磁気異方性定数K_uは、PPMS装置(Quantum Design社製; Physical Property Measurement System)を用いて自発磁化の磁場印可角度依存性を評価し、論文に基づいて算出した(非特許文献3および4参照)。角形比、保磁力H_c、および α 値は、PPMS装置によりM-Hヒステリシスループを測定することにより求めた。結果を第1表に示す。なお、比較例1の第2層の膜厚が4 nmのサンプルの特性値は、シュミレーションにより求められた予測値である。さらに、実施例および比較例で得られた磁気記録媒体の磁気記録層の総膜厚と磁気異方性定数K_uとの関係を図3に示した。

[0051]

[表1]

第1表：磁気記録媒体の構成および評価

		実施例 1	比較例 1			比較例 2			比較例 3	
第1層	材料	60%FePt-40%C	60%FePt-40%C			60%FePt-40%C			75%FePt-25%C	
	膜厚 (nm)	2	2			2			4	6
第2層	材料	75%FePt-25%SiO ₂	75%FePt-25%SiO ₂			65%FePt-35%SiO ₂			—	
	膜厚 (nm)	2	3	4	3	5	7		—	
第3層	材料	75%FePt-25%C	—			—			—	
	膜厚 (nm)	2	—			—			—	
総膜厚 (nm)		6	5	6	5	7	9	4	4	6
磁気異方性定数 K _u (×10 ⁶ J/m ³)		1.73	1.84	1.57	1.54	0.87	0.46	1.55	0.81	
角形比		0.93	0.96	0.85	0.95	0.68	0.55	0.95	0.86	
α		0.85	1.01	0.95	0.81	0.64	0.50	0.93	0.70	
保磁力 (×10 ⁶ A/m)	(kOe)	18.81	19.1	—	19.07	12.04	7.61	17.44	20.22	
		1.50	1.52	—	1.52	0.96	0.61	1.39	1.61	

[0052] 比較例3の各サンプルの比較から分かるように、FePt-Cの単一層からなる磁気記録層においては、膜厚の増大に伴って磁気異方性定数K_uおよ

び α 値が急激に低下している。磁気異方性定数 K_u の低下は、膜厚の増大に伴い、FePt磁性結晶粒の上面にカーボン(C)が回り込んで層を形成し、その上でFePtの二次成長が起こったためと考えられる。また、 α 値の低下は、膜厚の増大に伴い、磁性結晶粒間の磁気的分離が不十分となったためと考えられる。

[0053] また、比較例2の各サンプルの比較、および比較例2と比較例3との比較から、FePt-Cの第1層の上にFePt-SiO₂の第2層を有する2層の磁気記録層においては、FePt-Cの単一層の場合に比較して大きな磁気異方性定数 K_u を有する。しかしながら、2層の磁気記録層においても、FePt-SiO₂第2層の膜厚の増大に伴って、磁気異方性が減少してしまう。何らの理論に拘束されることを意図するものではないが、この結果は、膜厚の増大に伴い、FePt磁性結晶粒中に存在するSiO₂の量が増加してしまうためと考えている。また、膜厚の増大に伴い α 値および角形比が減少することから、膜厚の増大が磁性結晶粒間の磁気的分離に悪影響を及ぼしていることが分かる。なお、比較例1および2の比較から、第2層の組成を変更することによって磁気異方性定数 K_u を増大させることは可能であると考えられる。

[0054] 一方、総膜厚6nmの磁気記録層を有する磁気記録媒体の比較において、本発明に係る実施例1の磁気記録媒体は、比較例のいずれよりも大きな磁気異方性定数 K_u を示した。このことから、カーボンからなる第1非磁性部を有する第1磁気記録層と、SiO₂からなる第2非磁性部を有する第2磁気記録層とを交互に積層して3層構造とし、第1および第2磁気記録層のそれぞれの膜厚を所定の値以下とすることによって、各層における膜厚の増大の磁気異方性定数 K_u に対する悪影響を防止することができることが分かる。また、実施例1の磁気記録媒体の α 値および角形比はいずれも1近傍の値を有し、この媒体の磁気記録層において磁性結晶粒間の磁気的分離が良好に達成されていることが分かる。

符号の説明

- [0055]
- 1 0 非磁性基体
 - 2 0 密着層
 - 3 0 下地層
 - 4 0 シード層
 - 5 0 磁気記録層
 - 5 1 a、5 1 b 第 1 磁気記録層
 - 5 2 a、5 2 b 第 2 磁気記録層
 - 6 0 保護層

請求の範囲

- [請求項1] 非磁性基板および磁気記録層を含み、
前記磁気記録層は、前記非磁性基板側から奇数番目に位置する複数の第1磁気記録層と、前記非磁性基板側から偶数番目に位置する1つまたは複数の第2磁気記録層を含み、
前記第1磁気記録層は、規則合金を有する第1磁性結晶粒と、前記第1磁性結晶粒を取り囲み、カーボンを主成分とする材料からなる第1非磁性部とを有するグラニューラ構造を有し、
前記第2磁気記録層は、規則合金を有する第2磁性結晶粒と、前記第2磁性結晶粒を取り囲み、前記第1非磁性部とは異なる材料からなる第2非磁性部とを有するグラニューラ構造を有することを特徴とする垂直磁気記録媒体。
- [請求項2] 前記複数の第1磁気記録層のそれぞれは1～4 nmの膜厚を有し、前記1つまたは複数の第2磁気記録層のそれぞれは1～3 nmの膜厚を有することを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気記録媒体。
- [請求項3] 前記第2非磁性部は、シリコン酸化物およびシリコン窒化物からなる群から選択される材料で構成されることを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気記録媒体。
- [請求項4] 前記第1磁性結晶粒および前記第2磁性結晶粒は、同じ構成元素からなることを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気記録媒体。
- [請求項5] 前記規則合金は、Fe、CoおよびNiからなる群から選択される少なくとも一種の元素と、Pt、Pd、AuおよびIrからなる群から選択される少なくとも一種の元素とを含む合金であることを特徴とする請求項4に記載の垂直磁気記録媒体。
- [請求項6] 前記規則合金は、FePt、CoPt、FePd、およびCoPdからなる群から選択されることを特徴とする請求項5に記載の垂直磁気記録媒体。
- [請求項7] 前記非磁性基体と前記磁気記録層との間に、ヒートシンク層、密着

層、軟磁性裏打ち層、下地層、およびシード層からなる群から選択される１つまたは複数の層をさらに含むことを特徴とする請求項１に記載の垂直磁気記録媒体。