

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:
Shunji TAKENOIRI et al.

Serial No.: New Application

Filed: July 1, 2005

Title: PERPENDICULAR MAGNETIC
RECORDING MEDIUM

Group Art Unit:

Examiner:

Attorney Docket No.: FUJI:349

Certificate of Mailing

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on:

DATE: 07/01/05

BY: MARC A. ROSSI

MARC A. ROSSI

COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. BOX 1450
ALEXANDRIA, VA 22313-1450

CLAIM FOR PRIORITY

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following country is hereby requested for the above-identified application and the priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

JAPAN 2004 - 197775 July 5, 2004;

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application is filed herewith. It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. 119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

ROSSI, KIMMS & McDOWELL LLP

MARC A. ROSSI

MARC A. ROSSI
REG. NO. 31,923

P.O. Box 826
ASHBURN, VA 20146-0826
703-726-6020 (PHONE)
703-726-6024 (FAX)

07/01/05
DATE

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2004年 7月 5日

出 願 番 号
Application Number: 特願2004-197775

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2004-197775

出 願 人
Applicant(s): 富士電機デバイステクノロジー株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2005年 5月12日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋

出証番号 出証特2005-3033432

【書類名】 特許願
【整理番号】 04P00954
【提出日】 平成16年 7月 5日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G11B 5/66
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横須賀市長坂二丁目 2 番 1 号 富士電機アドバンステクノロ
 ジー株式会社内
 【氏名】 竹野入 俊司
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都品川区大崎一丁目 1 1 番 2 号 富士電機デバイステクノロ
 ジー株式会社内
 【氏名】 酒井 泰志
【特許出願人】
 【識別番号】 000005234
 【氏名又は名称】 富士電機ホールディングス株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100088339
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 篠部 正治
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 013099
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9715182

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

非磁性基体、第 1 の磁気記録層、該第 1 の磁気記録層の直上に設けられた結合層、該結合層の直上に設けられた第 2 の磁気記録層を備えた垂直磁気記録媒体において、前記第 1 の磁気記録層と第 2 の磁気記録層は前記結合層を介して強磁性結合しており、前記第 1 の磁気記録層および第 2 の磁気記録層は磁化容易軸が前記非磁性基体面に対して略垂直方向であり、前記第 1 の磁気記録層の異方性磁界を H_{k1} 、一軸異方性定数を K_{u1} 、膜厚を T_1 とし、前記第 2 の磁気記録層の異方性磁界を H_{k2} 、一軸異方性定数を K_{u2} 、膜厚を T_2 とし、 $H_{k1} > H_{k2}$ の場合は $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ であり、 $H_{k1} < H_{k2}$ の場合は $K_{u1} T_1 < K_{u2} T_2$ であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 2】

前記第 1 の磁気記録層と第 2 の磁気記録層の単位面積当りの交換結合エネルギーが、 $5 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2$ 以上であ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】

前記結合層が、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Nb、Mo、Ru、Rh、Ta、W、Re、Ir の内から選ばれる元素、またはこれらの内の少なくとも一つの元素を主成分とする合金を用い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】

前記結合層の膜厚が、2 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の垂直磁気記録媒体。

【請求項 5】

前記第 1 の磁気記録層と第 2 の磁気記録層の内の少なくともいずれか一つが、非磁性酸化物または非磁性窒化物のマトリクス中に磁性結晶粒子が分散してなるグラニュー構造からなることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の垂直磁気記録媒体。

【書類名】明細書

【発明の名称】垂直磁気記録媒体

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は各種磁気記録装置に搭載される垂直磁気記録媒体に関する。特に詳細には、コンピュータ、A V 機器等の外部記憶装置として用いられる固定磁気ディスク装置に搭載される垂直磁気記録媒体に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

固定磁気ディスク装置（HDD）の記録密度は急速に増加しており、今後もこの傾向は引続き継続すると予測されている。このような記録密度の著しい増加の結果、「熱揺らぎ」の現象がますます問題として注目されるようになってきている。熱揺らぎとは、記録した信号を安定に保持できなくなる現象であるが、現在一般的に用いられている面内磁気記録方式では記録密度が上昇する程、熱揺らぎが大きくなる。この問題に対処すべく、面内磁気記録方式と正反対の特徴、即ち記録密度の増大に伴いビットの安定性が増すという特性を有する垂直磁気記録方式の開発が活発化している。

磁気記録媒体の高密度化を進めるためには、磁気記録層を構成する結晶粒子の磁気的な分離を促進し、磁化反転単位を小さくしていく必要がある。磁性体の熱安定性（熱揺らぎ耐性）は、一軸異方性定数を K_u とし、活性化体積を V_a とすると、両者の積である $K_u V_a$ という指標で表され、 V_a は磁化反転単位の体積 V と相関していることが知られている。即ち、 $K_u V_a$ （あるいは $K_u V$ ）が小さくなるほど磁気記録媒体の熱安定性は低下する。この指標から明らかなように、記録密度を向上するために磁化反転単位を小さくするとともに熱安定性が低下することとなり、垂直磁気記録媒体といえども熱揺らぎ問題を生じることとなる。従って、磁化反転単位を小さくしても熱安定性を維持するためには、 K_u を大きくする必要がある。

【0 0 0 3】

一方、HDDにおいて記録時に必要となる磁場強度は、ほぼ K_u に比例することが知られている。そのため、熱安定性を維持するために K_u を大きくする場合は、記録時に必要となる磁場強度が増加し、その増加が著しい場合には記録不能となる場合も生じる。

また、磁化反転単位を小さくしていくと、反磁界が小さくなるため、磁気記録層の反転磁界は大きくなっていく。つまり、磁化反転単位を小さくするほど記録に必要な磁場強度は大きくなっていくことになる。

つまり、高密度化に向けた磁化反転単位の微細化と K_u の増加は、磁気記録媒体の記録分解能と熱安定性の向上に寄与するものの、双方とも「磁気記録媒体への記録しやすさ」（以下、単に「記録容易性」とも表記する。）を低下させることにつながる。

以上の背景から、記録容易性を低下させることなく磁気記録媒体の熱安定性や電磁変換特性を向上させる方法が求められている。

【0 0 0 4】

この問題を解決する方法として、磁気記録層を2層以上に分割し、組成を変化させて成膜する、あるいはその分割した磁気記録層の間に非磁性層を挿入するという方法が提案されている（例えば、特許文献1参照。）。特許文献1によれば、磁気記録層を分割してエピタキシャル成長を中断することで、熱安定性の向上に必要な磁化反転単位の体積を維持しながら、磁気記録媒体ノイズを低下できることが報告されている。しかし、磁気記録層の膜厚を厚くする場合は記録時のヘッド-軟磁性裏打ち層間の距離が遠くなること、また高密度化に向けて磁化反転単位を小さくしていくに従い反転磁界が大きくなることから、磁気記録媒体の記録容易性が低下することは避けられない。

また、特許文献2では、面内磁気記録媒体に適用されている反強磁性結合（AFC）を垂直磁気記録媒体に適用することで、逆磁区ノイズを低減し、熱揺らぎ耐性を向上させるという方法が提案されている。しかし、反強磁性結合した磁気記録層を用いた場合、反転磁界が増大することが報告されており（例えば、非特許文献1参照。）、記録容易性の低

出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 4 3 2

下は本質的に避けられない。

【0005】

磁気記録媒体のノイズやS/N（信号出力対ノイズ比）は、磁化反転単位を小さくするほど改善される。しかし、前述のように、磁化反転単位を小さくすると熱安定性が低下するとともに、反磁界の減少により磁気記録媒体の反転磁界が増大する。また、熱安定性を維持するために磁気記録層のK_uや膜厚を増加させることも磁気記録媒体の反転磁界を増大させることにつながる。磁化反転単位を小さくすることは磁気記録媒体の高密度化を達成するために必須であるが、これが磁気記録媒体の記録容易性とトレードオフの関係にあることが、磁気記録媒体の高密度化を進める上で障害となっていた。

【特許文献1】特開2003-157516号公報

【特許文献2】特開2004-39033号公報

【非特許文献1】エロール・ガート（Erol Girt）他、アイイーイーイー トランザクション オン マグネティックス（IEEE Trans. on Magn.）、（米国）、2004年、第39巻、5号、p. 2306-2310

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、上述の問題点に鑑みなされたもので、その目的とするところは、熱安定性を損ねることなく記録容易性の向上を実現した垂直磁気記録媒体を提供することにある。さらには、ノイズ特性、S/N特性等の性能を向上して、高密度化と記録容易性の向上が同時に実現された垂直磁気記録媒体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

このような目的を達成するために、発明者らは鋭意検討を進めた結果、複数の磁気記録層の間に適切な強磁性結合をもたらすことにより、上述の問題を解決して、本発明を完成するに至ったものである。

より具体的には、非磁性基体、第1の磁気記録層、第1の磁気記録層の直上に設けられた結合層、結合層の直上に設けられた第2の磁気記録層を備えた垂直磁気記録媒体において、第1の磁気記録層と第2の磁気記録層は前記結合層を介して強磁性結合しており、第1の磁気記録層および第2の磁気記録層は磁化容易軸が非磁性基体面に対して略垂直方向であり、第1の磁気記録層の異方性磁界をH_{k1}、一軸異方性定数をK_{u1}、膜厚をT₁とし、前記第2の磁気記録層の異方性磁界をH_{k2}、一軸異方性定数をK_{u2}、膜厚をT₂として、H_{k1} > H_{k2}の場合はK_{u1}T₁ > K_{u2}T₂であり、H_{k1} < H_{k2}の場合はK_{u1}T₁ < K_{u2}T₂とすることを特徴とする。

【0008】

このようにすることで、熱安定性を阻害することなく反転磁界を低下させて記録容易性を高めることができる。

また、第1の磁気記録層と第2の磁気記録層の単位面積当りの交換結合エネルギーは、 $5 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2$ 以上とすることが好ましい。

また、結合層としては、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Nb、Mo、Ru、Rh、Ta、W、Re、Irの内から選ばれる元素、またはこれらの内の少なくとも一つの元素を主成分とする合金を用いることが好ましく、その膜厚は2nm以下であることが好ましい。このようにすることで、第1の磁気記録層と第2の磁気記録層の交換結合エネルギーを適切に制御することが可能となる。

また、第1の磁気記録層と第2の磁気記録層の内の少なくともいずれか一つが、非磁性酸化物または非磁性窒化物のマトリクス中に磁性結晶粒子が分散してなるグラニューラ構造からなることが好ましい。

【発明の効果】

【0009】

垂直磁気記録媒体を上記のように構成することにより、磁気記録層間の強磁性結合を適

出証特2005-3033432

切に設定することができ、熱安定性を損ねることなく磁気記録媒体の反転磁界を低減し、同時にノイズ特性、S/N特性等の磁気記録媒体性能の向上を実現することができる。これにより、磁気記録媒体の熱安定性の向上、記録容易性の向上、記録密度の向上を同時に実現することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0 0 1 0】

以下、図面を参照し、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

始めに、本発明の原理について説明する。

低ノイズ化、S/N向上等の磁気記録媒体性能の向上と熱安定性の両立を目指した反強磁性結合多層磁気記録層については、面内磁気記録媒体および垂直磁気記録媒体における検討結果が既に報告されている。しかしながら、複数の磁気記録層間の結合エネルギーを制御した強磁性結合多層磁気記録層に関しては、十分な検討が行われているとは言いがたい。そこで、発明者らは、詳細な理論的および実験的な検討を行い、この結果、図2および図3の関係を導くに至った。

図2は、2層の磁気記録層において、規格化エネルギー障壁の磁気記録層間交換結合エネルギーに対する依存性を検討した結果の一例を示す。エネルギー障壁は熱安定性の指標であり、その値が大きいほど熱安定であることを示している。図2では、エネルギー障壁を、2層の磁気記録層間の交換結合エネルギーが0の時の値で規格化した値で表している。図中、点線から左側は2層の磁気記録層が反強磁性結合している状態であり、右側は強磁性結合している状態を表している。どちらの結合においても、層間の交換結合エネルギーの絶対値が大きくなるほど、結合が強くなっていく。図から明らかなように、2層の磁気記録層間の結合を反強磁性結合としても、強磁性結合としても、結合エネルギーの絶対値が大きくなるほど、即ち結合が強くなるほど熱安定性は増していく。

【0 0 1 1】

図3に、保磁力(H_c)の磁気記録層間交換結合エネルギーに対する依存性を検討した結果の一例を示す。図3では、保磁力を、磁気記録層間の交換結合エネルギーが0の時の値で規格化して規格化保磁力として示している。保磁力が大きくなるほど磁気記録媒体への記録時に必要な磁界が大きくなる、即ち磁気記録媒体の記録容易性は低下する。図2と同じく、図中、点線から左側は2層の磁気記録層が反強磁性結合している状態であり、右側は強磁性結合している状態を表している。図3から、反強磁性結合では結合エネルギーの絶対値が増加するほど規格化保磁力が大きくなっていくのに対し、強磁性結合では結合エネルギーの絶対値が増加するほど規格化保磁力が小さくなっていく。

図2と図3を併せて考えると、2層の磁気記録層を反強磁性結合させた場合、交換結合エネルギーの絶対値を大きくするほど熱安定性は増すが、保磁力が増加して記録容易性が低下することになる。強磁性結合させた場合は、交換結合エネルギーが大きくなるほど熱安定性が増し、同時に記録容易性も向上する。このように、強磁性結合した2層の磁気記録層を用いることで、熱安定性と記録容易性の向上が同時に達成されることが明らかとなった。

【0 0 1 2】

この効果は、各磁気記録層が個別に磁化反転する条件を備えることにより、一層増大する。

図4、5を参照して、各磁気記録層が個別に磁化反転する場合について説明する。

図4は、第1の磁気記録層5と第2の磁気記録層7が結合層6を介して強磁性結合し、第2の磁気記録層が先に磁化反転する場合を例にとって示したもので、各磁気記録層の磁化の方向を矢印で表している。

図5は、この磁気記録媒体のヒステリシスループ(M-Hループ)の模式図で、横軸は磁気記録媒体に印加する外部磁場(H)、縦軸は磁気記録媒体の磁化(M)である。

図5において、磁気記録媒体を+Hの方向(図5で右側の方向)に十分大きな磁場で飽和させる。この時、各磁気記録層の磁化は図4の(A)の状態となる。そこから、磁場を徐々に-H方向(図5で左側の方向)にかけて行くと、 H_{c21} で第2の磁気記録層が磁

出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 4 3 2

化反転する。この時、各磁気記録層の磁化は図4の(B)の状態となっている。磁気記録層が強磁性結合していることから、 H_{c21} はHが負の側(図5の左半分)となる。更に-H方向の磁場を強くしていくと、 H_{c11} で第1の磁気記録層も磁化反転する。この時、各磁気記録層の磁化は図4の(C)の状態となる。

【0013】

第1の磁気記録層が磁化反転する際には、既に第2の磁気記録層が磁化反転していることから、第2の磁気記録層の磁場による影響により、磁化反転が容易となっている。さらにいえば、第1と第2の磁気記録層の間に強磁性結合がない場合に比べて、はるかに磁化反転が容易となっている。即ち、強磁性結合がない場合の反転磁界を H_{cn0n} とすれば、図5に示すように、 $H_{cn0n} > H_{c11}$ となる。なお、ここで大小関係は絶対値で比較している。

一方で、磁気記録層間で強磁性結合を有することから、図2に示すように、エネルギー障壁が高く熱安定性は高く維持されている。このように、各磁気記録層を個別に、順次磁化反転させることで、熱安定性を阻害することなく反転磁界をより効果的に低下させることができるのである。

更に、発明者らは、磁気記録層の条件、交換結合エネルギー、磁気記録層間の交換結合エネルギーを制御するために用いる結合層の材料や膜厚等を実験的に詳細に検討を行った。

【0014】

以下、本発明のより詳細な内容について説明する。

図1は、本発明の垂直磁気記録媒体の一実施形態を説明するためのもので、断面模式図で示している。非磁性基体1上に、軟磁性裏打ち層2、下地層3、非磁性中間層4、第1の磁気記録層5、結合層6、第2の磁気記録層7、保護層8、液体潤滑層9を順次形成している。

非磁性基体1としては、磁気記録媒体用に通常用いられる基体であってよく、例えば、NiPメッキを施したAl合金や強化ガラス、結晶化ガラス等を用いることができる。また、基板加熱温度を100℃以内に抑える場合は、ポリカーボネイト、ポリオレフィン等の樹脂からなるプラスチック基板を用いることもできる。

軟磁性裏打ち層2は、磁気記録に用いる磁気ヘッドからの磁束を制御して記録・再生特性を向上するために形成することが好ましい層で、軟磁性裏打ち層を省略することも可能である。軟磁性裏打ち層としては、結晶のFeTaC、センダスト(FeSiAl)合金等、また非晶質のCo合金であるCoZrNb、CoTaZr等を用いることができる。軟磁性裏打ち層2の膜厚は、記録に使用する磁気ヘッドの構造や特性によって最適値が変化するが、他の層と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10nm以上500nm以下であることが望ましい。他の層の成膜前に、めっき法などによって、あらかじめ非磁性基体上に成膜する場合、数μmと厚くすることも可能である。

【0015】

下地層3は、その上に形成する非磁性中間層4または第1の磁気記録層5の結晶配向性、結晶粒径等を制御するために形成することが好ましい層で、非磁性材料、軟磁性材料を用いることができる。下地層を省略することも可能である。

軟磁性材料の場合は、下地層が軟磁性裏打ち層の機能の一部を担うこととなり、より好ましく用いられる。軟磁性材料としては、パーマロイ系材料である、NiFeAl、NiFeSi、NiFeNb、NiFeB、NiFeNbB、NiFeMo、NiFeCrなどを用いることができる。パーマロイ系下地層の膜厚は、磁気記録層の磁気特性や電磁変換特性が最適となるように調整され、おおむね3nm以上50nm以下程度であることが、磁気記録媒体特性と生産性との兼ね合いから望ましい。

非磁性材料としては、Ta、Zr、Ni₃Alなどの材料を用いることができる。非磁性材料を用いる場合は、記録ヘッドが発生する磁場を軟磁性裏打ち層に効果的に集中させる観点からは膜厚が薄い程良く、0.2nm以上10nm以下とすることが望ましい。

【0016】

出証特2005-3033432

非磁性中間層 4 は、第 1 の磁気記録層 5 の結晶配向性、結晶粒径及び粒界偏析を好適に制御するために形成する。非磁性中間層 4 を省略することも可能である。その材料としては、Ru または Ru 中に C、Cu、W、Mo、Cr、Ir、Pt、Re、Rh、Ta、V からなる群から選択される材料を 1 種類以上添加した Ru 基合金、あるいは Pt、Ir、Re、Rh などを用いることが好ましい。非磁性中間層の膜厚は、磁気記録層の磁気特性や電磁変換特性を劣化させない範囲で可能な限り薄くすることが、高密度記録を実現するためには必要であり、具体的には 1 nm 以上 20 nm 以下とすることが好ましい。

第 1 の磁気記録層 5 は、少なくとも Co と Pt を含む合金の強磁性材料が好適に用いられ、その磁化容易軸（例えば、六方最密充填構造の c 軸）が膜面に垂直方向に配向していることが垂直磁気記録媒体として用いるために必要である。第 1 の磁気記録層 5 としては、CoPt、CoCrPt、CoCrPtB、CoCrPtTa などの合金材料、(Co/Pt)_n、(Co/Pd)_n などの多層積層膜、CoPt-SiO₂、CoCrPtO、CoCrPt-SiO₂、CoCrPt-Al₂O₃、CoPt-AlN、CoCrPt-Si₃N₄ などのグラニューラー材料からなる磁気記録層を用いることができる。グラニューラー構造は、非磁性酸化物または非磁性窒化物のマトリクス中に磁性結晶粒子が分散してなる構造であり、磁気記録層内で近接する磁性結晶粒子間の相互作用を抑制できる。従って、第 1 の磁気記録層と第 2 の磁気記録層の間に強磁性結合を備える場合にあっては、磁気記録層間で結合を保持しつつ、磁気記録層内の磁性結晶粒間の相互作用を抑制することが可能となる。この結果、ノイズ、S/N 特性等を向上することが可能となることから、第 1 の磁気記録層としてグラニューラー構造が特に好ましく用いられる。

【0017】

第 1 の磁気記録層の膜厚は特に限定されるものではないが、生産性と高密度記録の観点から、30 nm 以下が好ましく、また 15 nm 以下とすることが更に好ましい。

結合層 6 は、第 1 の磁気記録層 5 と第 2 の磁気記録層 7 を適切に強磁性結合させるために必要な層である。即ち、2 層の磁気記録層を結合層を備えずに積層した場合は、これらは全く同時に磁化反転することとなり、個別に磁化反転することにより熱安定性を向上させながら反転磁界を低下させるという機能を持たせることが出来なくなる。また、積層した磁気記録層の交換結合が完全に切れた場合には、図 2 において交換結合エネルギーが 0 の点から明らかなように、エネルギー障壁が低くなり、熱安定性を向上させることができない。従って、強磁性結合を維持しながら、適切な磁気記録層間の結合エネルギーを導出するという観点から、結合層が必要となる。磁気記録層間の強磁性結合は、垂直磁気記録媒体が使用される常温にて生じていることが必要である。

【0018】

磁気記録層間の交換結合エネルギーは次のようにして算定することができる。図 5 で破線部分はマイナーループを表している。磁気記録媒体を +H の方向に十分大きな磁場をかけて飽和させた後に、磁場を徐々に -H 方向にかけ、H_{c21} と H_{c11} の途上から磁場を +H の方向に戻していくと、一旦 H_{c21} で磁化反転した磁気記録層は、H_{c22} で再度磁化反転する。磁気記録層間の交換結合エネルギー J は、この H_{c11} と H_{c22} を用いて数式 (1)、(2) により算定できる。数式 (1)、(2) は第 2 の磁気記録層が先に磁化反転する場合について示している。

【0019】

【数 1】

$$J = 2Ku_1T_1 \frac{(H_{c11} + H_{c22}) + (Hk_1^{\text{eff}} - Hk_2^{\text{eff}})}{Hk_1 - \frac{Hk_2}{k}} \dots (1)$$

【0020】

【数2】

$$k = \frac{Ku_2 T_2}{Ku_1 T_1} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 Ku_2 、 T_2 、 Hk_2 、 Hk_2^{eff} は Hc_{21} で先に磁化反転する第2の磁気記録層における、それぞれ一軸異方性定数、膜厚、異方性磁界、反磁界を考慮した異方性磁界である。また、 Ku_1 、 T_1 、 Hk_1 、 Hk_1^{eff} は後から Hc_{11} で磁化反転する第1の磁気記録層における前述の値である。また、飽和磁化を M_s として、 $Hk = 2Ku/M_s$ の関係がある。第1と第2の磁気記録層が磁化反転する順序が異なる場合には、 Ku 、 T 、 Hk 、 Hk^{eff} の添え字の1と2を置き換える。

実際の垂直磁気記録媒体では、反磁界の影響でヒステリシスループが傾きを持つこと、および反磁界係数を正確に見積ることが困難なため、 J は概算値となるが、発明者らの検討によると J が $5 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2$ 以上であれば、積層による熱安定性向上と反転磁界低下の効果を得ることができた。

【0021】

結合層6に用いる材料としては、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Nb、Mo、Ru、Rh、Ta、W、Re、Ir から選ばれる材料またはこれらを主成分とする合金を用いることが好ましい。V、Cr、Cu等の非磁性材料の場合は、膜厚を調整することで、磁気記録層間の強磁性結合および適切な結合エネルギーを得ることができる。強磁性材料であるFe、Co、Niは、非磁性材料との合金化、成膜条件や成膜雰囲気調整等により、適切な結合エネルギーを得ることができる。

なお、他にもPdやPtなどの材料でも強磁性結合を得ることができる。しかし、PdやPtを用いた場合、結合層と磁気記録層の界面において異方性エネルギーが増大してしまい、却って反転磁界の増大を招くという結果が得られており、不適である。

また、第1の磁気記録層と第2の磁気記録層の単位面積当りの交換結合エネルギーを $5 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2$ 以上とし、かつ第2の磁気記録層の結晶配向を良好に保つために、結合層6の膜厚は2nm以下とすることが好ましい。これは、強磁性材料であるFe、Co、Niを結合層に用いた場合には、膜厚を2nm以上とするとFe、Co、Niの磁気特性が強くなりすぎてしまい、磁気記録媒体特性を劣化させる原因となるためである。また、非磁性材料に関しては、膜厚が2nm以上になると結合エネルギーが小さくなりすぎるため、熱安定性の向上の効果が得られないためである。

【0022】

第2の磁気記録層7としては、第1の磁気記録層5と同様の材料、構成を用いることができる。

第1の磁気記録層と第2の磁気記録層は次の関係を満たすように設定する。第1の磁気記録層の一軸異方性定数を Ku_1 、膜厚を T_1 、異方性磁界を Hk_1 とし、第2の磁気記録層の一軸異方性定数を Ku_2 、膜厚を T_2 、異方性磁界を Hk_2 として、 $Hk_1 > Hk_2$ の場合は、 $Ku_1 T_1 > Ku_2 T_2$ となるよう設定する。また $Hk_1 < Hk_2$ の場合は、 $Ku_1 T_1 < Ku_2 T_2$ を満たすように、第1および第2の磁気記録層の膜厚および材料を設定する。

この理由は、例えば $Hk_1 > Hk_2$ の場合、第2の磁気記録層が先に磁化反転するようにすることで、熱安定性を阻害することなく反転磁界をより効果的に低下させることができるためである。一方、第2の磁気記録層が先に磁化反転するようにするためには、 $Ku_1 T_1 > Ku_2 T_2$ とすることで可能となる。以上の理由から、 Hk_1 、 Hk_2 、 $Ku_1 T_1$ 、 $Ku_2 T_2$ の大小関係が規定される。このようにすることにより、熱安定性向上の効果と同時に、反転磁界を低下させる効果を得ることが可能となる。

【0023】

磁気記録層を3層以上により構成することも可能である。即ち、各磁気記録層の間に結合層を設けて強磁性結合を備え、かつ各磁気記録層の異方性磁界 Hk の大小の順序に併せ

出証特 2005-3033432

て、各磁気記録層の一軸異方性定数と膜厚の積 $K_u T$ の大小の順序を設定する。このようにして、各磁気記録層を個別に磁化反転させることにより、3層以上の磁気記録層を備える場合においても熱安定性向上の効果と同時に、反転磁界を低下させる効果を得ることが可能となる。

保護層 8 は、例えばカーボンを主体とする薄膜が用いられる。その他、磁気記録媒体の保護層として一般的に用いられる様々な薄膜材料を使用しても良い。

液体潤滑層 9 は、例えばパーフルオロポリエーテル系の潤滑剤を用いることができる。その他、磁気記録媒体の液体潤滑層材料として一般的に用いられる様々な潤滑材料を使用しても良い。

【0 0 2 4】

非磁性基体の上に積層される各層は、磁気記録媒体の分野で通常用いられる様々な成膜技術によって形成することが可能である。液体潤滑層を除く各層の形成には、例えば DC マグネトロンスパッタリング法、RF マグネトロンスパッタリング法、真空蒸着法を用いることができる。また、液体潤滑層の形成には、例えばディップ法、スピコート法を用いることができる。

以下に本発明の垂直磁気記録媒体について実施例を用いてより詳細に説明するが、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

【実施例 1】

【0 0 2 5】

図 1 に示す構成を用いて垂直磁気記録媒体を作製した例について示す。

非磁性基体 1 として表面が平滑な化学強化ガラス基板 (HOYA 社製 N-5 ガラス基板) を用い、これを洗浄後スパッタ装置内に導入し、87 原子% Co-5 原子% Zr-8 原子% Nb ターゲットを用いて CoZrNb 非晶質軟磁性裏打ち層 2 を 200 nm の膜厚で成膜した。次にパーマロイ系合金である 82 原子% Ni-12 原子% Fe-6 原子% Si ターゲットを用いて NiFeSi 下地層 3 を 11 nm の膜厚で成膜した。引き続いて、Ru ターゲットを用いて、Ar ガス圧 4.0 Pa 下で Ru 非磁性中間層 4 を 10 nm の膜厚で成膜した。引き続いて 90 モル% (74 原子% Co-12 原子% Cr-14 原子% Pt) -10 モル% SiO₂ ターゲットを用いてガス圧 5.3 Pa 下でグラニュー構造の CoCrPt-SiO₂ 第 1 磁気記録層 5 を 10 nm の膜厚で成膜した。次に、Ru ターゲットを用いて、Ru 結合層 6 を 0.2 nm の膜厚で成膜した。引き続いて、90 モル% (72 原子% Co-16 原子% Cr-12 原子% Pt) -10 モル% SiO₂ ターゲットを用いてガス圧 5.3 Pa 下でグラニュー構造の CoCrPt-SiO₂ 第 2 磁気記録層 7 を 6 nm の膜厚で成膜した。最後にカーボンターゲットを用いてカーボンからなる保護層 8 を 7 nm の膜厚で成膜後、真空装置から取り出した。Ru 非磁性中間層および CoCrPt-SiO₂ 第 1 および第 2 磁気記録層を除く各層の成膜はすべて Ar ガス圧 0.67 Pa 下で行った。CoCrPt-SiO₂ 第 1 および第 2 磁気記録層は RF マグネトロンスパッタリング法により、それ以外の各層は DC マグネトロンスパッタリング法により形成した。その後、パーフルオロポリエーテルからなる液体潤滑層 9 を 2 nm の膜厚でディップ法により形成し、垂直磁気記録媒体とした。

(比較例 1)

Ru 結合層 6 と CoCrPt-SiO₂ 第 2 磁気記録層 7 を成膜しなかったこと以外は実施例 1 と全く同様にして垂直磁気記録媒体を作製して比較例 1 とした。

【0 0 2 6】

まず、実施例 1 の K_{u1} 、 K_{u2} 等を以下のようにして測定した。CoZrNb 軟磁性裏打ち層を除いた構成として、Ru 中間層上に第 1 磁気記録層のみを形成した磁気記録媒体、また同様に第 2 磁気記録層のみを形成した磁気記録媒体を作製し、それぞれ磁気トルクメータにより一軸異方性定数を測定した。その結果、 K_{u1} 、 K_{u2} は、それぞれ $4.2 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}^3$ 、 $2.5 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}^3$ であった。従って、 $K_{u1} T_1$ および $K_{u2} T_2$ は、それぞれ $4.2 \times 10^{-12} \text{ erg/cm}^2$ 、 1.5×10

出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 4 3 2

-1.2 erg/cm^2 となる。また、異方性磁界 H_{k1} 、 H_{k2} は、それぞれ 18.7 kOe 、 13.2 kOe であった。即ち、実施例 1 は、 $H_{k1} > H_{k2}$ かつ $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ となっている。

上述のようにして得られた実施例 1 および比較例 1 について、カー（Kerr）効果測定装置を用いて保磁力（ H_c ）を測定し、リード・ライトテストを用いてオーバーライト（O/W）、信号出力、規格化ノイズ、再生信号出力対ノイズ比（S/N）、 D_{50} 、信号出力の減衰率（Decay）を測定し、比較した。ここで D_{50} は出力が最大値の半分になる時の線記録密度を表す。

【0027】

図 6 に実施例 1 および比較例 1 に係る磁気記録媒体の $336 \text{ kfc i (kilo Flux Change per inch)}$ で記録した信号上に 45 kfc i の信号を上書きした時の O/W の記録電流依存性を示す。また、表 1 に、実施例 1 および比較例 1 に係る磁気記録媒体の H_c 、 336 kfc i におけるトラック平均信号出力（TAA）、規格化ノイズ、S/N、 D_{50} 、 28 kfc i における信号出力の減衰率を示す。

図 6 を参照すれば、比較例 1 は実施例 1 に比べて O/W が低く、記録電流を増加させても O/W は 20 dB 程度までしか向上していないことが分かる。これに対し、実施例 1 では、一般に必要と言われる $O/W > 30 \text{ dB}$ の条件を低い記録電流で実現しており、更に、今回用いたヘッドの定格電流である 50 mA では 35 dB 以上になっている。この結果から、実施例 1 に係る磁気記録媒体の記録容易性が良好であることが分かる。

【0028】

表 1 に示すように、実施例 1 は比較例 1 と比べて、 H_c が約 2000 Oe （約 30% ）低下している。実施例 1 における磁気記録層間の交換結合エネルギーは 0.16 erg/cm^2 であり、また、 $H_{k1} > H_{k2}$ かつ $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ を満たしている。これが H_c の低下に寄与しているためである。 H_c の低下の結果、上記の記録容易性が向上しているものと考えられる。

通常、 H_c が低下すると電磁変換特性も低下すると考えられるが、実施例 1 は全く逆であり、比較例 1 に比べて、出力の向上、ノイズの低減が達成され、S/N が 2 dB 向上していることがわかる。また、 D_{50} は磁気記録媒体の記録分解能を表し、この値が大きいほど高密度まで記録可能であることを示すが、実施例 1 では比較例 1 と比べて D_{50} が約 8% 向上しており、磁気記録媒体の高密度化が達成されていることが分かる。信号出力の減衰率に関しては、その値が小さいほど熱安定性が高いことを表しているが、表 1 から明らかなように、実施例 1 と比較例 1 の信号出力の減衰率の差は誤差の範囲であり、実施例 1、比較例 1 とともに信号出力の減衰率はほぼ 0 であると言って良い。

【0029】

以上のように、本発明に係る強磁性結合した 2 層磁性層により、熱安定性を損ねることなく磁気記録媒体の記録容易性を向上することができ、同時に、低ノイズ化、S/N 向上といった磁気記録媒体性能が向上し、磁気記録媒体の高密度化がなされた。

【0030】

【表 1】

項目	実施例 1	比較例 1
H _c (Oe)	4710	6770
TAA[336kfc]i (mV _{p-p})	1.82	1.29
規格化ノイズ[336kfc]i ($\mu V_{rms}/mV_{p-p}$)	19.5	22.4
S/N[336kfc]i (dB)	25.5	23.5
D ₅₀ (kfc]i)	371	344
信号出力の減衰率 [28kfc]i (%/decade)	0.67	0.25

(比較例 2)

CoCrPt-SiO₂ 第 1 磁気記録層の膜厚を 7 nm とし、第 2 磁気記録層の膜厚を 12 nm としたこと以外は実施例 1 と全く同様にして垂直磁気記録媒体を作製して比較例 2 とした。第 1 磁気記録層および第 2 磁気記録層の交換結合エネルギー、一軸異方性定数 K_{u1}、K_{u2}、異方性磁界 H_{k1}、H_{k2} は、それぞれ実施例 1 と同等である。即ち、第 1 磁気記録層の膜厚と第 2 磁気記録層の膜厚を調整して、K_{u1} T₁ が $2.9 \times 10^{-12} \text{ erg/cm}^2$ 、K_{u2} T₂ が $3.0 \times 10^{-12} \text{ erg/cm}^2$ として、K_{u2} T₂ が K_{u1} T₁ よりやや大きくなるようにしたものである。

【0031】

比較例 2 の垂直磁気記録媒体について、前述と全く同様の手法で H_c、TAA、O/W、規格化ノイズ、S/N、D₅₀、信号出力の減衰率を測定した。表 2 に、実施例 1 および比較例 2 を比較した結果を示す。

表 2 から明らかなように、比較例 2 では H_c が十分に低下しておらず、O/W が十分に取れていないことが分かる。また、膜厚が増加していることに伴い TAA は増加しているものの、信号出力の減衰率を除いた規格化ノイズや S/N などの特性は、比較例 2 の磁気記録媒体が大きく劣っていることが分かる。

以上のように、全く同じ材料を使用した層構成としているにも係らず、第 1 磁気記録層と第 2 磁気記録層の K_{u1} T₁、K_{u2} T₂ が異なるだけで H_c を下げることができず、また電磁変換特性が大幅に劣化することが明らかとなった。この結果から、実施例 1 および比較例 2 のように H_{k1} > H_{k2} の場合には、K_{u1} T₁ > K_{u2} T₂ に設定することが、反転磁界を十分に低下させ、高い電磁変換特性を得るために必要であることが分かった。

【0032】

【表 2】

項目	実施例1	比較例2
Hc (Oe)	4710	6540
TAA[336kfc]i (mV _{p-p})	1.82	2.09
O/W (dB)	38.2	21.1
規格化ノイズ[336kfc]i ($\mu V_{rms}/mV_{p-p}$)	19.5	31.4
S/N[336kfc]i (dB)	25.5	21.4
D ₅₀ (kfc]i)	371	350
信号出力の減衰率 [28kfc]i (%/decade)	0.67	0.15

【実施例 2】

【0033】

図 1 に示す構成を用い、磁気記録層材料および結合層材料を変えて垂直磁気記録媒体を作成した例について示す。

非磁性基体 1 として表面が平滑な化学強化ガラス基板（HOYA 社製 N-5 ガラス基板）を用い、これを洗浄後スputta 装置内に導入し、87 原子%Co-5 原子%Zr-8 原子%Nb ターゲットを用いて CoZrNb 非晶質軟磁性裏打ち層 2 を 200 nm の膜厚で成膜した。次にパーマロイ系合金である 82 原子%Ni-12 原子%Fe-6 原子%Si ターゲットを用いて NiFeSi 下地層 3 を 11 nm の膜厚で成膜した。引き続いて、Ru ターゲットを用いて、Ar ガス圧 4.0 Pa 下で Ru 非磁性中間層 4 を 10 nm の膜厚で成膜した。引き続いて 90 モル%（72 原子%Co-10 原子%Cr-18 原子%Pt）-10 モル%SiO₂ ターゲットを用いてガス圧 5.3 Pa 下でグラニュー構造の CoCrPt-SiO₂ 第 1 磁気記録層 5 を 10 nm の膜厚で成膜した。次に、Co ターゲットを用いて、10 体積%の N₂ ガスを添加した Ar ガスを用いて、ガス圧 1 Pa 下で Co 結合層 6 を 0.3 nm の膜厚で成膜した。引き続いて、70 原子%Co-20 原子%Cr-10 原子%Pt ターゲットを用いて CoCrPt 第 2 磁気記録層 7 を 6 nm の膜厚で成膜した。最後にカーボンターゲットを用いてカーボンからなる保護層 8 を 7 nm の膜厚で成膜後、真空装置から取り出した。Ru 非磁性中間層、CoCrPt-SiO₂ 第 1 磁気記録層および Co 結合層を除く各層の成膜はすべて Ar ガス圧 0.67 Pa 下で行った。CoCrPt-SiO₂ 第 1 磁気記録層は RF マグネトロンスputta リング法により、それ以外の各層は DC マグネトロンスputta リング法により形成した。その後、パーフルオロポリエーテルからなる液体潤滑層 9 を 2 nm の膜厚でディップ法により形成し、垂直磁気記録媒体とした。

出証特 2005-3033432

(比較例3)

Co結合層6とCoCrPt第2磁気記録層7を成膜しなかったこと以外は実施例2と全く同様にして垂直磁気記録媒体を作製して比較例3とした。

【0034】

まず、実施例2の K_{u1} 、 K_{u2} 等を実施例1の場合と同様にして測定した。実施例2における $K_{u1} T_1$ および $K_{u2} T_2$ は、それぞれ $5.0 \times 10^{-12} \text{ erg/cm}^2$ 、 $1.2 \times 10^{-12} \text{ erg/cm}^2$ 、また、異方性磁界 H_{k1} 、 H_{k2} は、それぞれ20.0 kOe、11.1 kOeであり、 $H_{k1} > H_{k2}$ かつ $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ となっている。

上述のようにして得られた実施例2および比較例3について、実施例1の場合と同様に、 H_c 、 O/W 、規格化ノイズ、 S/N 、 D_{50} 、信号出力の減衰率を測定して比較した。表3に実施例2および比較例3に係る磁気記録媒体の H_c 、336 kfc iで記録した信号上に45 kfc iの信号を上書きした時の O/W 、336 kfc iにおける規格化ノイズ、 S/N 、 D_{50} 、28 kfc iにおける信号出力の減衰率を示す。

【0035】

表3から、実施例2では、比較例3と比べて、 H_c が約1800 Oe (約25%) 低下している。実施例2における磁気記録層間の交換結合エネルギーは 0.22 erg/cm^2 であり、また、 $H_{k1} > H_{k2}$ かつ $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ を満たしている。これが H_c の低下に寄与しているためである。 H_c が低下した結果、 O/W は比較例3が16.0 dBと低いのに対し、実施例2では46.5 dBと非常に良好な値となっている。また、実施例2は、比較例3に比べて、ノイズが低減し、 S/N が1.4 dB向上していることがわかる。また、 D_{50} は約13%と大きく向上しており、高密度化が達成されていることが分かる。信号出力の減衰率に関しては、比較例3では4.66%/decadeであり、比較的大きいのに対し、実施例2では、誤差の範囲でほぼ0となっている。このように、実施例2では、熱安定性に関しても大幅に改善されていることが分かる。

【0036】

以上のように、本発明に係る強磁性結合した2層磁性層により、熱安定性と磁気記録媒体の記録容易性を同時に向上することができた。また同時に、低ノイズ化、 S/N 向上といった磁気記録媒体性能が向上し、磁気記録媒体の高密度化がなされた。

【0037】

【表 3】

項目	実施例2	比較例3
H _c (Oe)	5214	6990
O/W (dB)	46.5	16.0
規格化ノイズ[336kfc]i ($\mu V_{rms}/mV_{p-p}$)	22.8	23.1
S/N[336kfc]i (dB)	24.3	22.9
D ₅₀ (kfc]i)	396	349
信号出力の減衰率 [28kfc]i (%/decade)	0.01	4.66

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】本発明に係る垂直磁気記録媒体の構成例を説明するための断面模式図である。

【図2】規格化エネルギー障壁の交換結合エネルギーに対する依存性を示す図である。

【図3】規格化保磁力の交換結合エネルギーに対する依存性を示す図である。

【図4】本発明に係る垂直磁気記録媒体の磁化反転を説明するための概念図である。

【図5】本発明に係る垂直磁気記録媒体のヒステリシスループを説明するための概念図である。

【図6】実施例1および比較例1に係る垂直磁気記録媒体のオーバーライト特性の記録電流に対する依存性を示す図である。

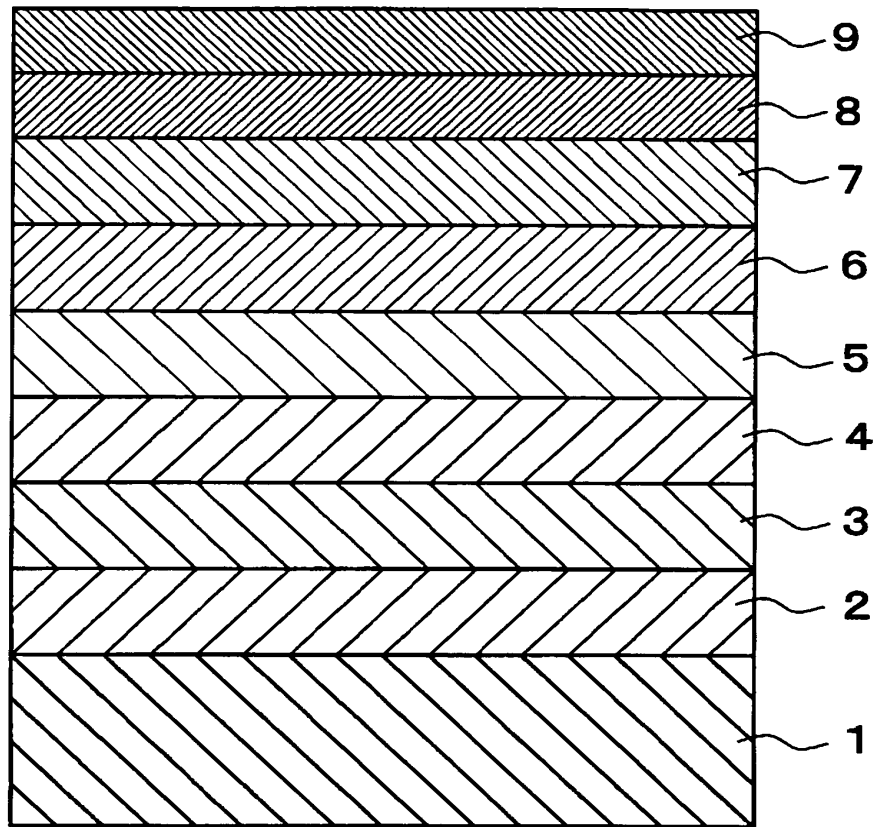
【符号の説明】

【0039】

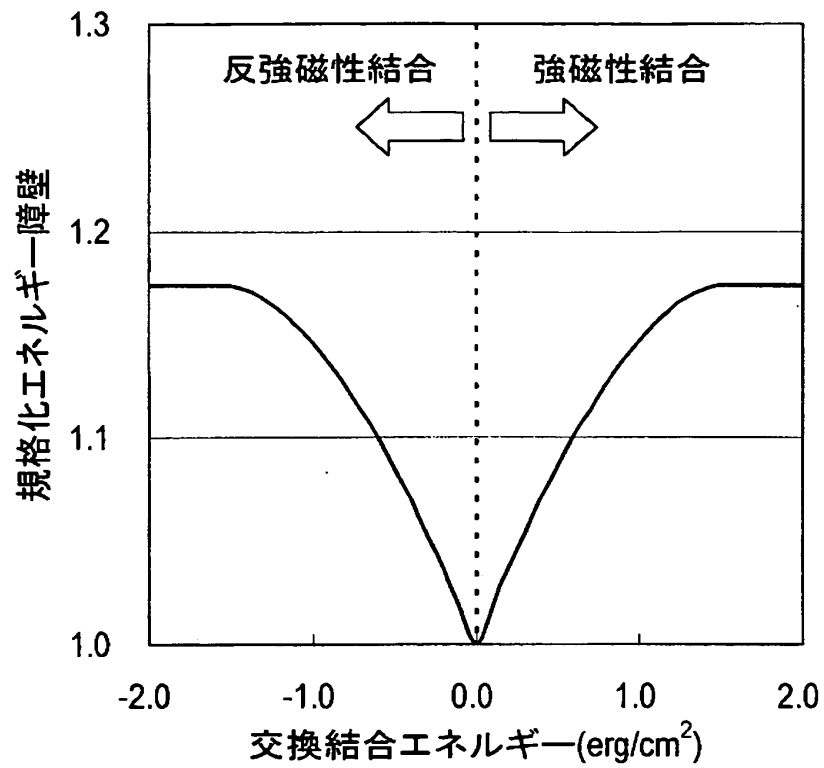
- 1 非磁性基体
- 2 軟磁性裏打ち層
- 3 下地層
- 4 非磁性中間層
- 5 第1の磁気記録層
- 6 結合層
- 7 第2の磁気記録層
- 8 保護層
- 9 液体潤滑層

出証特 2005-3033432

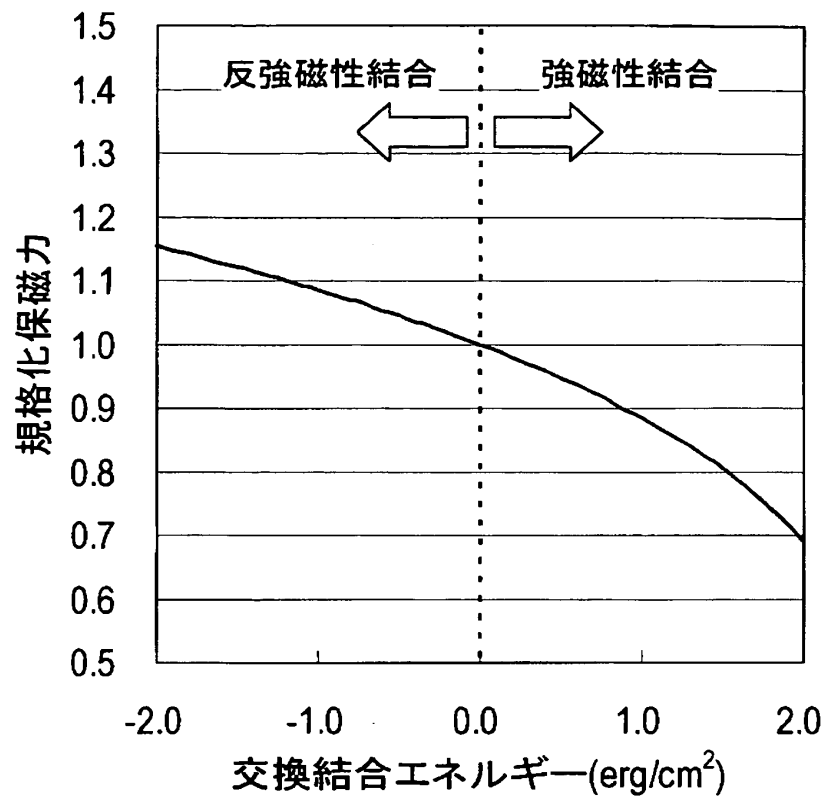
【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】

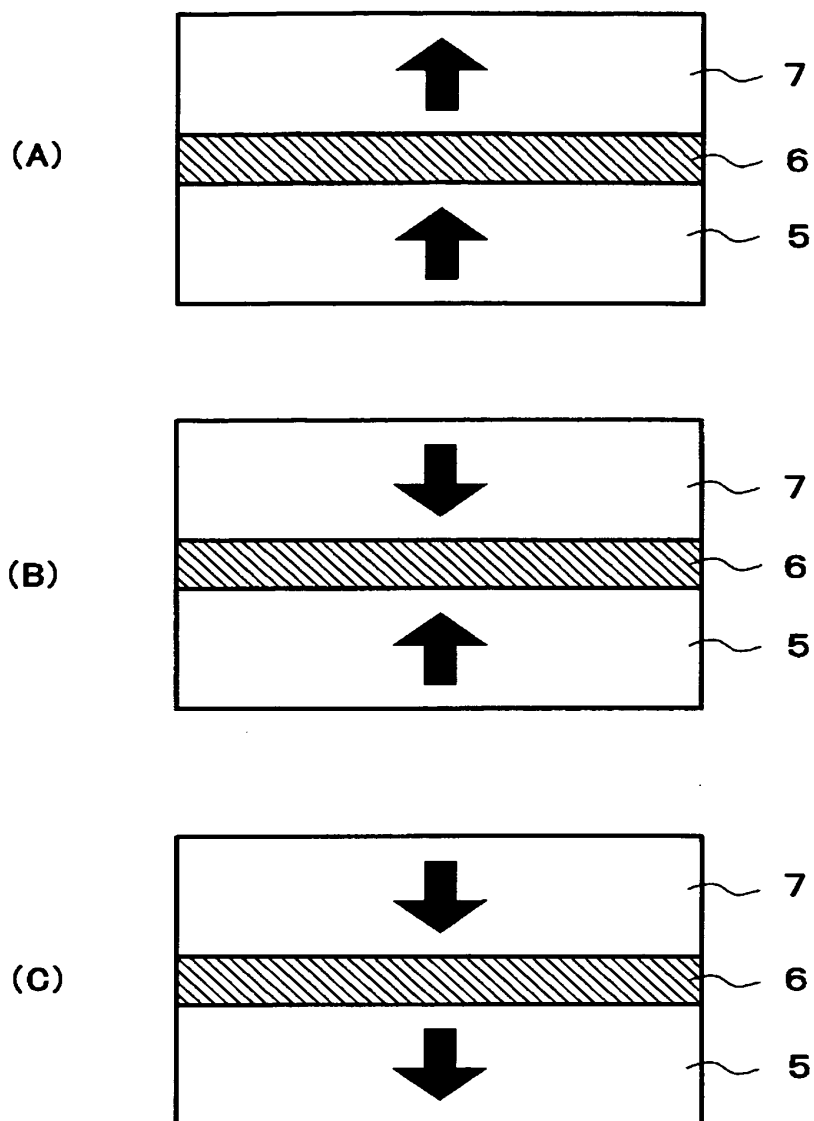


【図 3】

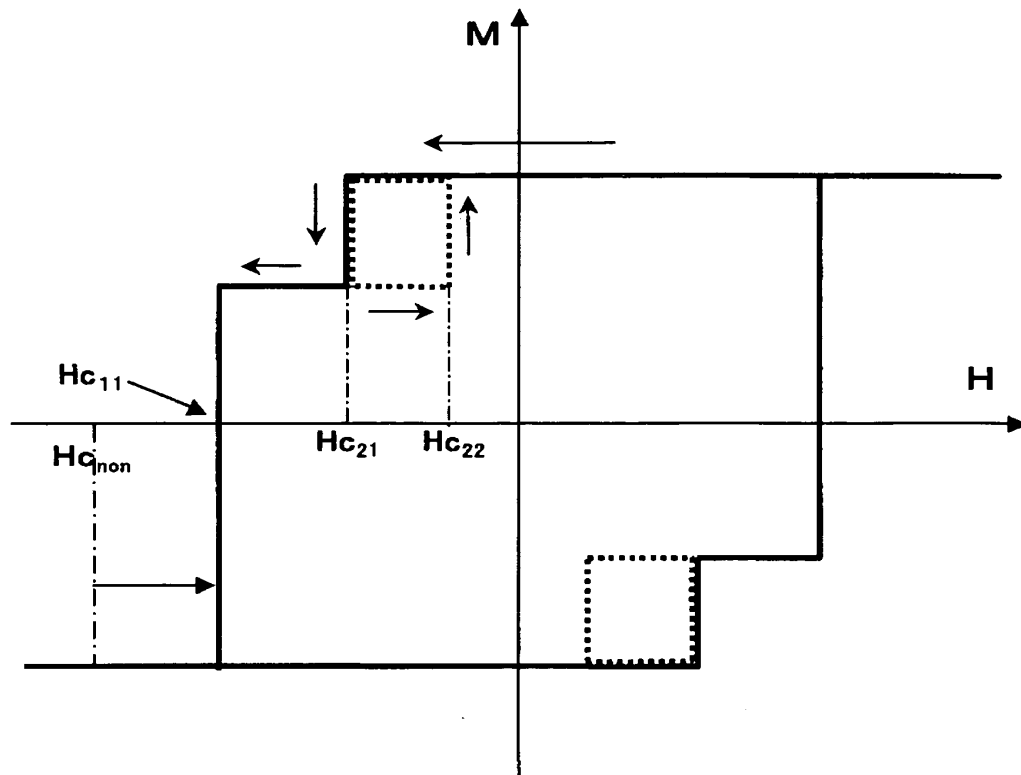


出証特 2005-3033432

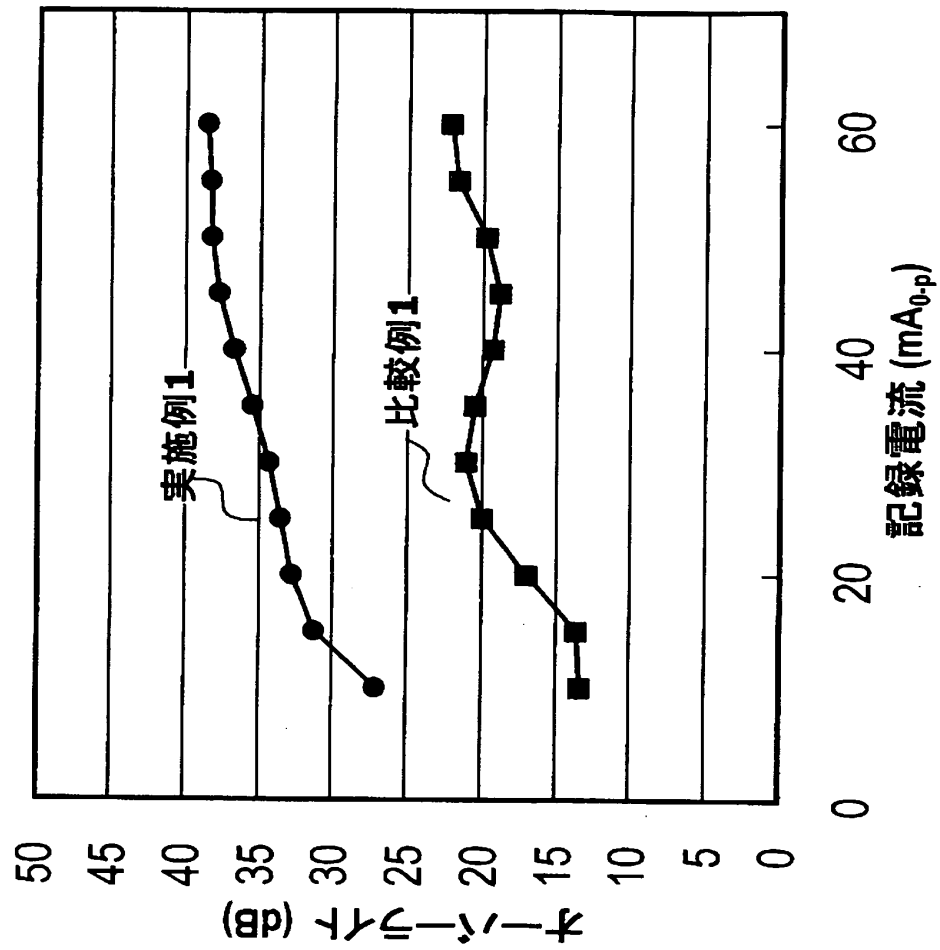
【図 4】



【図 5】



【図 6】



出証特 2005-3033432

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 熱安定性を損ねることなく反転磁界を低下させて記録容易性の向上を実現した垂直磁気記録媒体を提供することにある。

【解決手段】 垂直磁気記録媒体において、結合層 6 をはさんで強磁性結合する第 1 の磁気記録層 5、第 2 の磁気記録層 7 を設け、第 1、第 2 の磁気記録層の異方性磁界を H_{k1} 、 H_{k2} 、一軸異方性定数を K_{u1} 、 K_{u2} 、膜厚を T_1 、 T_2 とした時に、 $H_{k1} > H_{k2}$ の場合は $K_{u1} T_1 > K_{u2} T_2$ であり、 $H_{k1} < H_{k2}$ の場合は $K_{u1} T_1 < K_{u2} T_2$ とする。磁気記録層間の交換結合エネルギーは、 $5 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2$ 以上であることが好ましい。また、結合層は、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Nb、Mo、Ru、Rh、Ta、W、Re、Ir の内のいずれかを主成分とし、膜厚は 2 nm 以下であることが好ましい。また、磁気記録層の内のいずれかが、グラニューラー構造からなることが好ましい。

【選択図】 図 1

【書類名】 出願人名義変更届
【整理番号】 04P00954
【提出日】 平成17年 3月 3日
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】
 【出願番号】 特願2004-197775
【承継人】
 【識別番号】 503361248
 【氏名又は名称】 富士電機デバイステクノロジー株式会社
【承継人代理人】
 【識別番号】 100088339
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 篠部 正治
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 247775
 【納付金額】 4,200円
【提出物件の目録】
 【包括委任状番号】 0315472
 【物件名】 権利の承継を証明する書面 1
 【提出物件の特記事項】 手続補足書で提出します

特願 2 0 0 4 - 1 9 7 7 7 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 5 2 3 4]

1. 変更年月日	2 0 0 3 年 1 0 月 2 日
[変更理由]	名称変更
住 所	神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号
氏 名	富士電機ホールディングス株式会社

出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 4 3 2

特願 2 0 0 4 - 1 9 7 7 7 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[5 0 3 3 6 1 2 4 8]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 1 0 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区大崎一丁目 1 1 番 2 号

氏 名

富士電機デバイステクノロジー株式会社

出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 4 3 2