

## 明 細 書

発明の名称：磁気記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は磁気記録装置に用いられる磁気記録媒体に関する。

背景技術

[0002] ハードディスク装置（HDD）に対して、容量の増大および高速な処理のような性能向上がますます求められている。HDDに組み込まれる磁気記録媒体においても、さらなる記録密度の向上が必要とされている。こうした中で、磁気記録媒体の記録方式として垂直磁気記録方式が採用されている。垂直磁気記録方式は磁気記録媒体の主平面に対して垂直方向に記録を行うことを特徴とする。垂直磁気記録方式に用いられる磁気記録媒体は、垂直磁気異方性を有する硬磁性材料の磁気記録層と、磁気記録層への記録に用いられる単磁極ヘッドが発生する磁束を集中させる役割を担う軟磁性裏打ち層（SUL：Soft-magnetic Underlying Layer）を少なくとも含む。

[0003] 図3に示すように、従来技術の典型的な垂直磁気記録システムは、磁気記録媒体17と、単磁極ヘッド10とから構成される。単磁極ヘッド10は、主磁極11と、リターンヨーク12と、前記リターンヨーク12を包み込むコイル13とを含む。主磁極11から発生した磁束14は、主磁極11の直下の磁気記録層15を貫通し、軟磁性裏打ち層16の内部に到達する。そして、軟磁性裏打ち層16を通して面内方向に広がり、リターンヨーク12の直下の磁気記録層15を貫通し、リターンヨーク12に戻る。この機構により、主磁極11直下の磁気記録層15の領域が所定の方法に磁化される。

[0004] 近年、高記録密度で記録再生を行うときに信号対雑音比（SNR）が低下するという問題が起こってきた。一般に、磁気記録媒体のディスク回転速度は記録密度によらず一定である。そのため、高密度で記録するには、より高い周波数で信号を書込むことが必要になる。上記のSNRの低下の問題は、この高記録密度に伴う周波数の上昇に対して、軟磁性裏打ち層の磁化応答特

性が追従できなくなっていることに原因がある。

[0005] さらに、HDDに用いる円環形状の磁気記録媒体においては、ディスク中心部に近い内周側に比べて、ディスク外周側の方が速い線速度で記録されることとなる。このため、HDDにおいては、磁気記録媒体の内周側から外周側にかけて複数のゾーンを設定し、ゾーン毎に記録周波数を変えてビットピッチを平準化している。結果的に、磁気記録媒体においては、内周側の記録周波数よりも外周側の記録周波数の方が高い。

[0006] 一般的に、比透磁率の大きい磁性材料は、低い特性周波数を有し、高い周波数の記録磁界に対する比透磁率が低下し、大きな損失をもたらす。逆に、高い特性周波数を有し、高周波特性を満足する磁性材料は、比透磁率そのものが小さい。そのため、磁気記録媒体では、外周側の高い記録周波数に対応するために、比較的小さい比透磁率の磁性材料を使わざるを得なかった。なお、本明細書中で、「比透磁率の特性周波数」を、単に「特性周波数」と記載することがある。本明細書中において、「特性周波数」とは、磁界の周波数を増加していった場合、基準周波数の磁界に対する磁性材料の比透磁率に比べて、磁性材料の比透磁率が一定量低下するときの周波数を意味する。

[0007] この問題に対して、特開平5-282647号公報および特開2000-268341号公報は、軟磁性裏打ち層を構成する軟磁性材料に、フェライトに代表される軟磁性酸化物を用いて、高周波数の記録磁界に対する渦電流に基づく損失を低減させ、これにより磁化応答性を改善して、高記録密度における優れた記録能力を有する磁気記録媒体を提供することを提案している（特許文献1および2参照）。

[0008] また、磁気記録媒体への適用ではないが、特開2005-328046号公報は、高周波特性と高飽和磁化とを両立させた材料として、微視的にFeとCoとを含む強磁性の第1の非晶質相と、ホウ素（B）と炭素（C）とを含む第2の非晶質相とから構成される磁性薄膜を開示している（特許文献3参照）。

先行技術文献

## 特許文献

[0009] 特許文献1：特開平5-282647号公報

特許文献2：特開2000-268341号公報

特許文献3：特開2005-328046号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0010] 特許文献1および特許文献2に記載のフレイトに代表される軟磁性酸化物は、小さい飽和磁化を有する。そのため、単磁極ヘッドの磁束を通過させるためには大きな膜厚が必要となり、そのままでは垂直磁気記録媒体の軟磁性裏打ち層として利用することは困難であった。

[0011] また、特許文献3に記載される磁性材料を、2.5インチディスクにお

ける中周（半径値 $R = 22.5\text{ mm}$ ）での記録周波数に適合するように調整し、軟磁性裏打ち層に使用することを検討した。その場合には、磁気記録媒体の内周から中周（半径値 $R$ が $11\text{ mm}$ 以上かつ $22.5\text{ mm}$ 以下）の領域では、満足すべきSNRおよびEWAC特性が得られた。EWAC特性は、斜め磁化などを含む隣接トラックへの書き込みの度合いを表わし、SNRと共に重要な評価指標である。詳細には、単磁極ヘッドからの磁束は、磁気記録層の膜面に対して垂直であることが理想である。しかしながら、実際には、

単磁極ヘッドの先端からの磁束は斜めに広がって、軟磁性裏打ち層に到達する。このため、その磁束の広がりによって、クロストラック方向（円環の径方向）での書き込みが生じる。この書き込みの度合いを表わす指標がEWAC特性である。また、EWACは、隣接トラックに低周波数（長周期）の信号を書き込んだことによる出力減少であり、高周波数（短周期）の信号を書き込む時には問題になりにくい特性である。よって、EWAC特性に関する問題は、記録周波数の低い内周部において生じやすい。そのため、EWAC特性の要求値は、内周部より外周部で緩く設定される場合がある。

[0012] しかし、上記の軟磁性裏打ち層では、中周から外周（半径値 $R$ が $22.0\text{ mm}$ より大きくかつ $31.5\text{ mm}$ 以下）の領域において、SNRが大きく悪

化した。また、外周の記録周波数に適合させた磁性材料を軟磁性裏打ち層に使用した場合には、磁気記録媒体の内周から中周にかけて、EWAC特性が悪化していた。なお、2.5インチディスクは、65mmの外径（32.5mmの半径）、20mmの内径（10mmの半径）、および0.5mmから1.5mm程度の厚さを有する、中心部に穴のあいた円盤形状（いわゆる円環形状）を有する。

[0013] 以上のように、従来の面内均一の軟磁性裏打ち層では、磁気記録媒体の外周側の最も高い記録周波数に対応するために低い比透磁率を有する磁性材料を選択する必要がある。それゆえに、得られる磁気記録媒体は、中周から内周側にかけて低いEWAC特性を有していた。また、この問題点は、95mmの外径および25mmの内径を有する3.5インチディスクにおいても同様に存在する。

[0014] したがって、本発明が解決しようとする課題は、内周から外周にわたる全面において優れたSNRおよび優れたEWAC特性を有し、記録密度の向上に対応でき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

[0015] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、以下の手段により解決される。

[0016] 本発明の磁気記録媒体は、中心に穴のあいた円盤状の非磁性基体と、軟磁性裏打ち層と、磁気記録層とを少なくとも含み、前記軟磁性裏打ち層において、100MHz～700MHzのいずれかの周波数の磁界における比透磁率が、円盤外周から円盤内周にかけて向かって高くなり、かつ、比透磁率の特性周波数が前記円盤内周から前記円盤外周にかけて向かって高くなることを特徴とする。

[0017] なお、「比透磁率」とは、透磁率を真空の透磁率 $\mu_0$ で除算した値を意味する。真空の透磁率 $\mu_0$ は、 $4\pi \times 10^{-7}$  [H/m] である。また、本発明において、比透磁率の特性周波数とは、周波数10MHzの磁界に対する比透磁率の値の50%の比透磁率を示す磁界の周波数を意味する。

[0018] また、前記軟磁性裏打ち層は、前記円盤内周から前記円盤外周にかけて複数の領域からなり、前記複数の領域は、最内周の領域である円盤内周部と、最外周の領域である円盤外周部とを含み、前記比透磁率の特性周波数は、前記円盤内周から前記円盤外周に向かって段階的に高くなり、前記比透磁率は、前記円盤外周から前記円盤内周に向かって段階的に高くなることが好ましい。より好ましくは、前記軟磁性裏打ち層は、円盤内周部と円盤外周部との2つの領域から構成されていてもよい。ここで、前記円盤内周部で用いられる周波数の磁界に対して、前記円盤内周部の軟磁性裏打ち層は、前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層よりも高い比透磁率を有することが好ましい。さらに、前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層は、1000MHz以上の比透磁率の特性周波数を有し、前記円盤内周部の軟磁性裏打ち層は、300MHzの周波数の磁界に対して280以上の比透磁率を有し、および前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層は、900MHzの周波数の磁界に対して140以上を有することが好ましい。

[0019] また、前記軟磁性裏打ち層は、(i) FeおよびCoを含む強磁性材料と、(ii) B、C、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTaからなる群から選択される少なくとも1つの元素を含む添加材料を含み、前記強磁性材料の割合が、前記円盤外周から前記円盤内周に向かって高くなることを特徴とする。なお、前記強磁性材料はフェリ磁性材料を含んでもよい。さらに、前記円盤内周部において、前記軟磁性裏打ち層は、前記強磁性材料および添加材料を総量を基準として81体積%以上84体積%以下の強磁性材料を含み、前記円盤外周部において、前記軟磁性裏打ち層は、前記強磁性材料および添加材料を総量を基準として80体積%以上82体積%以下の強磁性材料を含むことが好ましい。

## 発明の効果

[0020] 本発明は、必要なSNRとEWAC特性とを同時に満足し、記録密度の向上に対応した磁気記録媒体を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の垂直磁気記録媒体の構成を示す断面模式図である。

[図2]本発明の垂直磁気記録媒体の平面の構成を示す平面模式図である。

[図3]従来技術の典型的な垂直磁気記録システムの構成を示す模式図である。

[図4A]材料6の比透磁率の周波数依存性を示すグラフである。

[図4B]材料7の比透磁率の周波数依存性を示すグラフである。

[図4C]材料8の比透磁率の周波数依存性を示すグラフである。

[図5]本発明の軟磁性裏打ち層の形成時におけるターゲットおよび非磁性基体の配置を示す平面模式図である。

[図6]本発明の軟磁性裏打ち層の形成時におけるターゲットおよび非磁性基体の配置を示す断面模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0022] 本発明者は、まず、FeおよびCoを含む強磁性材料に、B、C、Ti、Zr、Hf、V、NbまたはTaの元素、あるいはこれらの組合せを含む材料を添加材料として添加した軟磁性裏打ち層を有する磁気記録媒体を作製し、その記録再生特性（SNRおよびEWAC特性）を鋭意検討した。なお、強磁性材料は、フェリ磁性材料を含む。ここで、対照標準として、FeおよびCoを含む強磁性材料のみで構成される軟磁性裏打ち層を含む磁気記録媒体を製造し、添加材料を添加した軟磁性層を含む軟磁性裏打ち層を有する磁気記録媒体と比較検討した。その結果、上記添加材料を添加した軟磁性層を含む軟磁性裏打ち層は、対照標準に比べて、添加材料の比率の増大に伴って、高周波数信号の記録再生における磁気記録媒体のSNRが向上させることを見出した。しかしながら、同時に、添加材料の比率の増大に伴って、磁気記録媒体の斜め磁化耐性（EWAC特性）が低下していくことも見出した。

[0023] 添加材料の比率が増大することで、軟磁性裏打ち層の比透磁率の特性周波数は高くなり、高周波数記録再生で磁気記録媒体のSNRが向上したと考えられる。しかしながら、添加材料の比率の増大は、同時に、軟磁性裏打ち層の全体的な比透磁率の低下を引き起こした。このために軟磁性裏打ち層への

磁束の引き込み能力が低減し、ヘッドからの磁束が広がり、磁気記録媒体の E W A C 特性が悪化してしまったと考えられる。以上のように、( ! ) F e および C o を含む強磁性材料と、( ! ! ) B 、 C 、 T i 、 Z r 、 H f 、 V 、 N b 、 および T a からなる群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む添加材料とを含む軟磁性層を含む軟磁性裏打ち層を用いた磁気記録媒体では、高周波数記録再生における S N R と E W A C 特性とがトレードオフの関係であった。

[0024] 一方、前述のように、磁気記録媒体においては、内周側よりも外周側の方がより高周波数で記録される。そのため、磁気記録媒体の全面において S N R と E W A C 特性とを満足させるためには、最も高い周波数を用いる外周側の記録に適合させた軟磁性裏打ち層を選択する必要がある。そのため、低い比透磁率の軟磁性裏打ち層を選択せざるを得ず、全体として E W A C 特性の低いものとなってしまった。

[0025] 本発明者らは、上記結果を踏まえ、全面において、最適な S N R および E W A C 特性を有し、記録密度の増大に対応した磁気記録媒体に関して鋭意研究した。その結果、本発明の磁気記録媒体を得ることができた。

[0026] 以下に、図 1 および図 2 に基づいて本発明の磁気記録媒体の実施の形態について説明する。図 1 は、本発明の磁気記録媒体 6 の一例を示す断面模式図である。図 2 は、図 1 の I I の方向から見た、本発明の磁気記録媒体 6 の平面の構造を示す平面模式図である。

[0027] 本発明の磁気記録媒体 6 は、非磁性基体 1、軟磁性裏打ち層 2、および磁気記録層 4 を少なくとも含む。本発明の磁気記録媒体は、任意選択的に、下地層 3、保護層 5、潤滑層 (図示せず) などをさらに含んでもよい。本発明の磁気記録媒体は、非磁性基体 1、軟磁性裏打ち層 2、下地層 3、磁気記録層 4、保護層 5、および潤滑層 6 を順次積層した構造を有することが好ましい。また、本発明に係る磁気記録媒体の軟磁性裏打ち層 2 は、非磁性基体側の軟磁性層 (下 S U L)、交換結合制御層、および磁気記録層側の軟磁性層 (上 S U L) からなる積層構造を有することが好ましい。しかしながら

、本発明に係る磁気記録媒体の軟磁性裏打ち層 2 は、単層構造であってもよい。

[0028] 磁気記録媒体 6 の外周 8 B に近い側（円盤外周部）の軟磁性裏打ち層 2 は、磁気記録媒体 6 の内周 8 A に近い側（円盤内周部）の軟磁性裏打ち層 2 よりも高い特性周波数を有する。さらに、円盤外周部で用いられる高い周波数での比透磁率は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 より、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2の方が小さい。そして、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 よりも、円盤内周部で用いられる周波数での比透磁率は大きい。ここで、周波数 300 MHz の磁界に対して、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 よりも、高い比透磁率の値を有することが好ましい。円盤内周部で用いられる周波数として 300 MHz を基準にしたが、これに限定されるわけではない。円盤内周部で用いられる周波数は、100～700 MHz、好ましくは 200～500 MHz の範囲内である。

[0029] さらに、前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層は、周波数 900 MHz の磁界に対して、140以上の比透磁率を有することが好ましい。円盤外周部で用いられる周波数として 900 MHz を基準にしたが、これに限定されるわけではない。

[0030] なお、本明細書における「内周 8 A に近い側（円盤内周部）」とは磁気記録媒体 6 の中心から見て、最内周の記録領域を含み外周方向に向かった所定の範囲を意味し、「外周 8 B に近い側（円盤外周部）」とは、最外周の記録領域を含み内周方向に向かった所定の範囲を意味する。しかしながら、これに限定されるものではなく、磁気記録媒体 6 の中心から円盤外周方向にかけて、円盤内周部、および円盤外周部の順で存在するものとしてもよい。

[0031] 円盤外周部の軟磁性裏打ち層が円盤内周部の軟磁性裏打ち層よりも高い特性周波数を有することによって、円盤外周部における高周波数の信号の記録で必要とされる SNR 特性を満足することができる。

[0032] また、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2

よりも大きい比透磁率を有する。前述したように、EWAC特性は、隣接トラックに低周波数（長周期）の信号を書き込んだことによる出力減少であり、高周波数（短周期）の信号の書き込み時では問題になりにくい特性である。特に、EWAC特性は、主には300MHzより小さい範囲で問題になる特性である。300MHzより低い周波数の信号を書き込む範囲（すなわち、円板内周部）で比透磁率を高くすることが、EWAC特性を向上させるのに有効である。円板内周部の軟磁性裏打ち層2の比透磁率の向上によって、円盤内周部のトラックピッチ（隣接するトラック間の間隔）を小さくして、磁気記録媒体の記録密度を向上させることができる。ひいては、1枚あたりの記録容量の大きい磁気記録媒体を提供することができる。

[0033] 特性周波数と比透磁率の値とのトレードオフの中で、円盤内周部の軟磁性裏打ち層2は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層2よりも低い特性周波数を有する。しかしながら、前記したように、円盤内周部は、円盤外周部よりも低い周波数で信号が記録されるために、特性周波数の低い軟磁性裏打ち層2でもSNRを満足することができると考えられる。

[0034] 以上の通り、本発明では、比透磁率が円盤内周部>円盤外周部の関係を満たし、特性周波数が円盤内周部<円盤外周部の関係を満たす軟磁性裏打ち層2を有する。これにより、内周から外周までSNRを満足した上で、最適なEWAC特性を得ることができ、特に円盤内周部のトラックピッチを小さくすることができるために、1枚あたりの記録容量の大きい磁気記録媒体を提供することができる。

[0035] なお、軟磁性裏打ち層2は、上記のように2つの領域に分かれていてもよい。円盤の中心から見て最内周の記録領域の半径値を $R_{ID}$ 、最外周の記録領域の半径値を $R_{OD}$ とした時に、半径位置が $R_{ID}$ から $(R_{ID} + R_{OD}) / 2$ までの範囲を円盤内周部とし、半径位置が $(R_{ID} + R_{OD}) / 2$ から $R_{OD}$ までの範囲を円盤外周部としてもよい。ここで、円盤内周部と円盤外周部との境界は、±25%の範囲（すなわち、 $(R_{ID} + R_{OD}) / 4$ から $3(R_{ID} + R_{OD}) / 4$ までの半径位置）で変動してもよい。

[0036] また、軟磁性裏打ち層を3以上の複数の領域に分割し、軟磁性裏打ち層の比透磁率の特性周波数を、円盤内周部の領域から円盤外周部の領域にむかって、断続的に、段階的に大きくし、軟磁性裏打ち層の比透磁率を、円盤外周部の領域から円盤内周部の領域に向かって、断続的に、段階的に高くしてもよい。本明細書における「断続的」とは、それぞれの領域内で軟磁性裏打ち層の組成は実質的に一定であるが、領域間で異なっている状態を示すものとする。なお、本発明において軟磁性裏打ち層を3以上の領域に分割する場合、最内周の領域（すなわち、磁気記録媒体の内周8Aに最も近い領域）を「円盤内周部」と称し、最外周の領域（すなわち、磁気記録媒体の外周8Bに最も近い領域）を「円盤外周部」と称する。

[0037] あるいはまた、軟磁性裏打ち層の比透磁率の特性周波数が、円盤内周から円盤外周に向かって連続的に高くなり、比透磁率が、円盤外周から円盤内周に向かって連続的に高くなっているもよい。

[0038] 次に、本発明の磁気記録媒体の材料について説明する。

[0039] 非磁性基体1は、中心部に穴のあいた円盤形状を有する。非磁性基体1としては、通常の磁気記録媒体に用いられるNiPめっきを施したAl合金基板、ガラス基板、結晶化ガラス基板、またはSi基板を用いることができる。

[0040] 軟磁性裏打ち層2は、現行の垂直記録方式と同様、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の層である。なお、軟磁性裏打ち層2の全膜厚の最適値は、磁気記録に用いる磁気ヘッドの構造や特性によって変化するが、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100nm以下であることが望ましい。

[0041] 軟磁性裏打ち層2は、2つの軟磁性層を含む反強磁性結合（Anti Ferromagnetic Coupling、AFC）構造を有することができる。AFC構造は、下SUL、交換結合制御層、および上SULを有し、ここで、下SULと上SULとが、交換結合制御層を介して、媒体の面内方向に対して反平行に磁氣的に結合している。しかしながら、軟磁性裏打ち層2の構造はAFC構造に限

定されるものではなく、単層構造であってもよい。

[0042] 本発明の磁気記録媒体における軟磁性裏打ち層 2 において、AFC 構造における下SULおよび上SULの材料、あるいは単層構造の軟磁性裏打ち層 2 の材料は、磁性を担う強磁性材料と、添加材料との組み合わせであることが好ましい。本発明において用いることができる強磁性材料は、鉄系遷移金属などを含む。特に、本発明では、Fe、Co、Niなどを含む強磁性材料が好ましく、FeおよびCoを含む強磁性材料が特に好ましい。添加材料は、B、C、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、およびTaからなる群から選択される少なくとも1つの元素を含む。添加材料は、1種の元素のみを含んでもよいし、2種以上の元素の組み合わせを含んでもよい。

[0043] また、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 は、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 よりも高い比率の添加材料を含むことが好ましい。これにより、円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 は、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 よりも低い比透磁率および高い特性周波数を有する。逆に、円盤内周部の軟磁性裏打ち層 2 は、比透磁率の特性周波数が円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 より低い特性周波数を有するが、外周部の軟磁性裏打ち層 2 よりも高い比透磁率を有する。軟磁性裏打ち層 2 の構造を上述のような構成とすることで、内周から外周にかけて必要なSNRとEWAC特性とを満足し、高記録容量に対応した磁気記録媒体を提供することができる。

[0044] 軟磁性裏打ち層 2 の組成は、たとえば、強磁性材料に対する添加材料の割合を、内周から外周にかけて徐々に変化させたものであるとなおよい。前述のような添加材料の割合の変化により、同一周波数で記録する領域の割り振り数の設定、および領域の切り替え位置の設定の自由度が増すからである。添加材料の割合の変化は、断続的であっても、連続的であってもよい。

[0045] また、軟磁性裏打ち層 2 の膜厚は、記録再生特性との兼ね合いにより、全体にわたって等しくてもよいし、あるいは、内周側から外周側にかけて異なってもよい。たとえば、内周から外周にかけて、同じ記録ヘッド電流を用いて記録する場合、前述の材料においては、比透磁率の高い内周側の軟磁

性裏打ち層2において磁化飽和が発生しやすい。特に、軟磁性裏打ち層2の膜厚を小さくすると、内周側の軟磁性裏打ち層2において磁化飽和が発生しやすくなる。このような場合には、内周側の軟磁性裏打ち層2の膜厚を大きくすることが望ましい。なお、「磁化飽和」とは、外部磁場の増大による磁化の増大がなくなり、磁化が飽和してしまう現象を意味する。

[0046] 円盤外周部の軟磁性裏打ち層2は、円盤内周部の軟磁性裏打ち層よりも高

い特性周波数を有することが必要である。記録周波数は磁気記録媒体の記録容量から決められる。記録密度が1Tbits/in<sup>2</sup>の場合、円盤内周部では300MHz程度の記録周波数を用い、円盤外周部では1000MHz程度の記録周波数を用いることが多い。そのため、本発明では、比透磁率の特性周波数は、円盤内周部の軟磁性裏打ち層2においては300MHz以上であり、円盤外周部の軟磁性裏打ち層2においては1000MHz以上であることが好ましい。たとえば、1000MHz以上の特性周波数を示す材料は、強磁性材料(FeCo)が82体積%以下であるものを含む。たとえば、上記の含有量の範囲内の強磁性材料を含む、実施例に記載の材料を用いて円盤外周部の軟磁性裏打ち層2を形成することができる。そのような材料の一例は、80体積%(Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>)-15体積%Ta-5体積%Bからなる材料を含む。本明細書において、「80体積%(Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>)-15体積%Ta-5体積%B」とは、Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>、Ta(タンタル)、B(ホウ素)が80:15:5の割合の体積パーセント濃度で存在することを意味し、「Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>」はFeとCoとが70:30の割合の原子パーセント濃度で存在することを意味する。本明細書の以下の記載において、組成を表す際は上記のような表記を用いる。

[0047] さらに、本発明では、円盤内周部での記録および特性評価に使用される周

波数、たとえば300MHzの周波数の磁界に対して、円盤内周部の軟磁性裏打ち層2は、円盤外周部の軟磁性裏打ち層2よりも高い比透磁率を有することが好ましい。本発明では、300MHzの周波数の磁界に対して、円盤内周部の軟磁性裏打ち層2が、280以上、より好ましくは700以上の比

透磁率を有することが好ましい。円盤外周部の軟磁性裏打ち層 2 においては高周波数の磁界に対する比透磁率が 140 以上であることが好ましい。「高周波数」とは、円盤外周部で記録および特性評価に用いられる周波数を意味し、たとえば 900 MHz に設定することができる。しかしながら、高周波数が 900 MHz に限定されるわけではない。

[0048] たとえば、300 MHz の周波数の磁界に対して 700 以上の比透磁率を示す材料は、強磁性材料 (FeCo) が 82.5 体積%以上であるものが好ましい。たとえば、上記の含有量の範囲内の強磁性材料を含む、実施例に記載の材料を用いて円盤内周部の軟磁性裏打ち層を形成することができる。そのような材料の一例は、82.5 体積% (Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>) - 13.5 体積% Ta - 4 体積% B からなる材料を含む。

[0049] 前述のように、軟磁性裏打ち層 2 中に円盤内周部から円盤外周部にかけて複数の領域を形成するには、それぞれの領域の位置、材料の種類などに対応した軟磁性裏打ち層用のスパッタリングターゲットを用意し、所定の位置に非磁性基体 1 をおき、スパッタリングすることにより形成される。断続的かつ段階的な複数の領域を有する軟磁性裏打ち層 2 の場合は、仕切り板などを用いて、隣り合うターゲットの粒子が干渉しないようにすることができる。一方、連続的に変化する材料組成を有する軟磁性裏打ち層 2 の場合には、仕切り板を装着せずに、成膜条件およびターゲットと基板との間の距離を適正にすることなどにより、所望の軟磁性裏打ち層 2 を形成することができる。しかしながら、円盤内周部から円盤外周部にかけて変化する組成を有する軟磁性裏打ち層 2 の形成方法は、これらに限定されるものではない。

[0050] 交換結合制御層の材料は、軟磁性層 (上 SUL および下 SUL) 中へ拡散しにくい材料であることが好ましい。交換結合制御層は、たとえば、Pt、Pd、Ru などを用いて形成することができ、特に Ru を用いて形成することが好ましい。交換結合制御層のは、下 SUL と上 SUL との間に適度な反強磁性結合を形成する膜厚を有する。好ましくは、交換結合制御層は、0.1 ~ 5 nm の範囲内の膜厚を有する。

- [0051] 次に、下地層 3 は、磁気記録層 4 の結晶粒子径および結晶配向を制御するための層である。したがって、下地層 3 の材料は、磁気記録層 4 の材料に合わせて適宜選択する必要がある。たとえば、下地層 3 の直上に位置する磁気記録層 4 が、六方最密充填 (h c p) 構造を有する C o を主体とした材料で形成される場合は、下地層 3 を、同じ h c p 構造もしくは面心六方 (f c c) 構造を有する結晶性の材料から選択される材料で形成することが好ましい。具体的には、下地層 3 の材料は、R u、R e、R h、P t、P d、I r、N i、C o、またはこれらを含む合金などを含む。下地層 3 の膜厚が小さいほど、磁気記録媒体の書き込み性能は向上する。しかしながら、磁気記録層 4 の結晶粒子径および結晶配向を制御する機能を考慮すれば、下地層 3 はある程度の膜厚を必要とする。本発明では、下地層 3 は、3 ~ 3 0 n m の範囲内の膜厚を有することが好ましい。また、下地層 3 は、上述の材料の結晶粒子が、S i、C r、C o、T i、または T a の酸化物もしくは窒化物などで形成される粒界部で隔離されている構造（グラニュラー構造）を有してもよい。
- [0052] 磁気記録層 4 は、好ましくは、結晶系の磁性材料を含む。磁気記録層 4 の材料は、好ましくは、C o および P t を含む合金の強磁性材料を含む。強磁性材料の磁化容易軸は、磁気記録を行う方向に向かって配向していることが必要である。たとえば、垂直磁気記録を行うためには、磁気記録層 4 の材料の磁化容易軸（たとえば h c p 構造の c 軸）が、磁気記録媒体の表面（すなわち非磁性基体 1 の主平面）に垂直方向に配向していることが必要である。
- [0053] あるいはまた、磁気記録層 4 は、磁性結晶粒子が非磁性体で隔てられた構造（グラニュラー構造）を有してもよい。この場合、磁性結晶粒子は、C o、F e、N i などの磁性元素を主として含む材料で形成されることが好ましい。また、磁性結晶粒子は直径数 n m の柱状の形状を有することが好ましい。具体的には、磁性結晶粒子は、C o P t 合金に C r、B、T a、W などの金属を添加した材料で形成されることが好ましい。一方、非磁性体は、隣接する磁性結晶粒子の間においてサブ n m 程度の厚さを有することが好ましい。非磁性体は、好ましくは、S i、C r、C o、T i、または T a の酸化物

若しくは窒化物などの材料を含む。

[0054] 磁気記録層 4 は、従来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。たとえば、マグネトロンスパッタリング法を用いることができる。本発明においてグラニューラー構造を有する磁気記録層 4 を用いる場合、下地層 3 の結晶粒子上に磁性結晶粒子がエピタキシャル成長し、下地層 3 の粒界部上に非磁性体が位置するような対応関係を有するように結晶成長させた構造が好ましい。

[0055] 本発明において、磁気記録層 4 は、従来技術の磁気記録媒体と同様の膜厚を有する。好ましくは、磁気記録層 4 は、5 ～ 20 nm の範囲内の膜厚を有する。

[0056] 保護層 5 は、カーボンを主体とする材料などの、従来技術において知られている任意の材料で形成することができる。具体的には、炭素、窒素含有炭素、水素含有炭素などを用いて保護層 5 を形成することができる。保護層 5 は、単層構造または積層構造を有してもよい。たとえば、異なる性質および材質を有する 2 つのカーボン膜からなる積層膜、金属膜とカーボン膜との積層膜、あるいは、酸化物膜とカーボン膜との積層膜を、保護層 5 として用いることもできる。保護層 5 は、典型的には 10 nm 以下の膜厚を有することが好ましい。

[0057] なお、図 1 には示していないが、保護層 5 の上に潤滑層を形成してもよい。潤滑層は磁気ヘッドと磁気記録媒体とが摺動する際に、両者の間に介在して磁気記録媒体表面が磨耗することを防ぐ役割を担う。好適には、潤滑層は、フッ素系の潤滑剤を用いて形成することができる。たとえば、 $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CF}_2-(\text{CF}_2-\text{O})_m-(\text{C}_2\text{F}_4-\text{O})_n-\text{CF}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$  ( $n+m$  は約 40) で表される有機物などを用いて、潤滑層を形成することができる。潤滑層は、保護層の膜質等を考慮して、潤滑層の機能を発揮できる膜厚を有することが好ましい。

[0058] 非磁性基体 1 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。潤滑層を除く各層

の形成には、たとえば、DCマグネトロンスパッタリング法、真空蒸着法、化学気相成長法（CVD）などを用いることが出来る。また、潤滑層の形成には、たとえば、ディップ法、スピンコート法を用いることができる。

## 実施例

[0059] 以下に本発明の垂直磁気記録媒体を、実施例に基づいて具体的に説明する。なお、これらの実施例は、本発明の垂直磁気記録媒体を好適に説明するための代表例に過ぎず、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0060] （製造例）

軟磁性裏打ち層の比透磁率および比透磁率の特性周波数の評価のために、表面が平滑な円盤状の化学強化ガラス基体（HOYA社製N-10ガラス基体）上に、膜厚40nmの軟磁性層と、保護層として膜厚3nmのカーボン層を形成したサンプルを作製した。軟磁性裏打ち層に相当する軟磁性層は、FeおよびCoの合金からなる強磁性材料と、B、C、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTaからなる群から適宜選択した添加材料とを組み合わせターゲットを作成した。次にインライン式の成膜装置を用いて真空度1.0PaのArガス雰囲気中で、上記のターゲットを用いるDCマグネトロンスパッタ法で、軟磁性層を形成した。カーボン層は、CVD法により形成した。作製したサンプルを第1表に示す。

[0061] 得られたサンプルの比透磁率および比透磁率の特性周波数について述べる。比透磁率、比透磁率の周波数依存性、および比透磁率の特性周波数は、凌和電子製PMM-9G1装置を用いて、1MHzから9GHzの範囲内の周波数を有する磁界に対する複素透磁率を測定して求めた。複素透磁率は、その実数部 $\mu'$ と虚数部 $\mu''$ とを有する。本発明においては、真空の透磁率 $\mu_0$ に対する複素透磁率の実数部 $\mu'$ の比として、比透磁率を求めた。また、上記で得られた比透磁率に基づいて、比透磁率の特性周波数を求めた。比透磁率の周波数依存性の測定例を図4A～図4Cに示す。図4Aは、82体積%（Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>）-14体積%Ta-4体積%Bの組成を有する材料6の測定結果を示し、図4Bは、81体積%（Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>）-14体積%Ta-

5体積%Bの組成を有する材料7の測定結果を示し、図4Cは、80体積%  
( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) - 15体積%Ta - 5体積%Bの組成を有する材料8の測定結果を示す。

[0062] 各サンプルの軟磁性層の組成、10MHz（特性周波数を決定するための基準周波数）、300MHz（円盤内周部において必要となる周波数の代表値）、および900MHz（円盤外周部において必要となる周波数の代表値）の周波数の磁界に対する比透磁率、および比透磁率の特性周波数を第1表に示した。ここで、比透磁率の特性周波数は、比透磁率が基準周波数10MHzでの値の1/2となる周波数として求めた。

[0063]

[表1]

第1表：軟磁性層の比透磁率、および比透磁率の特性周波数の評価

| 材料 | 軟磁性層の組成 (体積%)                     |      |   |    |    |    |   |   |    |  | 比透磁率   |         |         | 比透磁率の<br>特性周波数<br>(MHz) |
|----|-----------------------------------|------|---|----|----|----|---|---|----|--|--------|---------|---------|-------------------------|
|    | Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> | Ta   | B | Zr | Ti | Nb | C | V | Hf |  | @10MHz | @300MHz | @900MHz |                         |
| 1  | 87                                | 10   | 3 |    |    |    |   |   |    |  | 1600   | 0       | 0       | 25                      |
| 2  | 85                                | 12   | 3 |    |    |    |   |   |    |  | 1200   | 0       | 0       | 100                     |
| 3  | 84                                | 13   | 3 |    |    |    |   |   |    |  | 1050   | 525     | 0       | 300                     |
| 4  | 83                                | 13   | 4 |    |    |    |   |   |    |  | 900    | 800     | 0       | 600                     |
| 5  | 82.5                              | 13.5 | 4 |    |    |    |   |   |    |  | 700    | 700     | 130     | 800                     |
| 6  | 82                                | 14   | 4 |    |    |    |   |   |    |  | 600    | 600     | 400     | 1000                    |
| 7  | 81                                | 14   | 5 |    |    |    |   |   |    |  | 350    | 350     | 340     | 1200                    |
| 8  | 80                                | 15   | 5 |    |    |    |   |   |    |  | 150    | 150     | 150     | 2000                    |
| 9  | 78                                | 16   | 6 |    |    |    |   |   |    |  | 100    | 100     | 100     | 3000                    |
| 10 | 84                                | 4    |   | 5  |    | 7  |   |   |    |  | 950    | 300     | 0       | 200                     |
| 11 | 83                                | 12   |   |    |    |    | 5 |   |    |  | 870    | 860     | 0       | 580                     |
| 12 | 84                                | 4    |   | 4  | 8  |    |   |   |    |  | 1000   | 600     | 0       | 310                     |
| 13 | 84                                |      |   |    | 16 |    |   |   |    |  | 1100   | 280     | 0       | 150                     |
| 14 | 83                                | 5    |   | 5  | 7  |    |   |   |    |  | 850    | 845     | 0       | 620                     |
| 15 | 80                                | 5    |   | 5  |    | 10 |   |   |    |  | 140    | 140     | 140     | 2200                    |
| 16 | 81                                | 5    | 5 |    |    | 9  |   |   |    |  | 340    | 340     | 335     | 1200                    |
| 17 | 82                                | 5    | 5 |    |    |    |   | 8 |    |  | 580    | 580     | 350     | 1000                    |
| 18 | 80                                |      |   |    | 12 |    |   |   | 2  |  | 140    | 140     | 140     | 2300                    |
| 19 | 80                                | 5    | 5 |    | 10 |    |   |   |    |  | 160    | 160     | 160     | 1900                    |

[0064] 第1表の結果から、強磁性材料 (FeCo) と、BおよびTaの添加材料

とからなる軟磁性層（材料１～材料９）において、１０MHzでの比透磁率と比透磁率の特性周波数とはトレードオフの関係にあり、比透磁率の大きい軟磁性層ほど、比透磁率の特性周波数が低下することがわかる。

[0065] また、強磁性材料（FeCo）の割合が多くなるほど、１０MHzでの比透磁率は大きくなり、特性周波数は低くなることがわかる。よって、円盤内周部の軟磁性裏打ち層としては強磁性材料（FeCo）が多い材料が適していることがわかる。一方、強磁性材料（FeCo）が少なくなるほど、比透磁率の特性周波数は高くなる。よって、円盤外周部の軟磁性裏打ち層としては強磁性材料（FeCo）が少ない材料が適していることがわかる。

[0066] （実施例１）

実施例１においては、図１に示すように、非磁性基体１の上に、FeCo系の軟磁性裏打ち層２、Ruからなる下地層３、CoCrPt-SiO<sub>2</sub>グラニューラー磁気記録層４、炭素（C）からなる保護層５、および図示していない潤滑層を形成し、磁気記録媒体６を作製した。

[0067] <軟磁性裏打ち層形成用ターゲットの製造>

軟磁性裏打ち層２の成膜のターゲットとして、円盤内周部と円盤外周部で組成の異なる焼結ターゲットを用いた。ターゲットの作製手順は以下の通りである。まず、Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>、Ta、およびBの微粒子粉末を準備した。次に、８４体積％（Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>）－１３体積％Ta－３体積％Bの組成比になるように、Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>粉末、Ta粉末、およびB粉末をボールミルで混合した。得られた混合物をφ４４mmの金型中に充填し、真空雰囲気中で、２ton/cm<sup>2</sup>（約１９６MPa）の圧力でホットプレスによる焼結を行った。さらに、上下面を切削および研磨することで、φ４４mmの外径、および１０mmの厚さを有する円盤形状の円盤内周部用のターゲット材を得た。

[0068] また、上記と同様に、８０体積％（Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>）－１５体積％Ta－５体積％Bの組成比になるようにFe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>粉末、Ta粉末、およびB粉末をボールミルで混合した。得られた混合物、中心にφ４４mmの軸を有する、φ７５mmの外径を有する金型中に充填し、真空雰囲気中で、２ton／

$\text{cm}^2$  (約  $196 \text{ MPa}$ ) の圧力でホットプレスによる焼結を行った。さらに、上下面を切削および研磨することで、 $\phi 75 \text{ mm}$  の外径、 $\phi 75 \text{ mm}$  の内径、および  $10 \text{ mm}$  の厚さを有する円環形状の円盤外周部用ターゲット材を得た。

[0069] 次に、 $\phi 44 \text{ mm}$  の円盤内周部用ターゲット材の外周に、 $\phi 75 \text{ mm}$  の外径、および  $\phi 44 \text{ mm}$  の内径を有する円盤外周部用ターゲット材を組み込み、 $\phi 75 \text{ mm}$  の金型中にセットし、焼結を行った。さらに、上下面を切削および研磨することで、 $\phi 75 \text{ mm}$  の外径、および  $8 \text{ mm}$  の厚さを有する円盤形状の2成分ターゲット材を得た。

[0070] 最後に、得られた2成分ターゲット材を、 $\phi 95 \text{ mm}$  の外径、 $5 \text{ mm}$  の厚さを有する銅製のバックングプレートに貼り付けて、軟磁性裏打ち層2形成用のターゲットを得た。

[0071] <磁気記録媒体の製造>

非磁性基体1として、表面が平滑な円盤状の化学強化ガラス基体(HOYA社製N-10ガラス基体)を用いた。このガラス基体は、中心部に穴のあいた円盤形状を有し、 $\phi 65 \text{ mm}$  の外径、 $\phi 20 \text{ mm}$  の内径、 $0.635 \text{ mm}$  の厚さを有する一般的な2.5インチディスクの寸法を有する。まず、非磁性基体1を洗浄し、成膜装置内に導入した。軟磁性裏打ち層2から保護層5までの成膜は、大気解放することなく、全てインライン式の成膜装置内で実施した。

[0072] 次に、下SUL、交換結合制御層、および上SULからなるAFC構造を有する軟磁性裏打ち層2を形成した。まず、真空度  $1.0 \text{ Pa}$  のArガス雰囲気中で、前記の軟磁性裏打ち層2形成用のターゲットを用いたDCマグネトロンスパッタ法で、 $18 \text{ nm}$  の膜厚を有する下SULを形成した。次に、真空度  $0.5 \text{ Pa}$  のArガス雰囲気中で、DCマグネトロンスパッタ法で、Ruからなる  $0.5 \text{ nm}$  の膜厚を有する交換結合制御層を下SUL上の全面に形成した。次に、真空度  $1.0 \text{ Pa}$  のArガス雰囲気中で、前記の軟磁性裏打ち層2形成用のターゲットを用いたDCマグネトロンスパッタ法で、2

2 nmの膜厚を有する上SULを形成した。上SULおよび下SULの形成において、図5および図6に示すように、ターゲットの中心と非磁性基体1の中心とを同軸上に配置した。加えて、仕切り板を用いて、円盤内周部および円盤外周部の組成の干渉を防止した。図5は、図6のVの方向から見たターゲットおよび非磁性基体1の配置を示す平面模式図であり、図6は、ターゲットおよび非磁性基体1の配置を示す断面模式図である。ここで、非磁性基体1の内周20から境界21までの円盤内周部に、84体積% ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) - 13体積% Ta - 3体積% Bの組成比の軟磁性層（下SULおよび上SUL）が形成された。一方、境界21から非磁性基体1の外周22までの円盤外周部に80体積% ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) - 15体積% Ta - 5体積% Bの組成比の軟磁性層（下SULおよび上SUL）が形成された。円盤外周部用ターゲット26の外周18は、非磁性基体1の外周22よりも外側に位置した。また、境界21は、非磁性基体1の内周から12 mmの距離にある円周（非磁性基板1の中心から半径22 mmの円周）であり、円盤内周部用ターゲット25と円盤外周部用ターゲット26との境界19に対応する位置にあった。

[0073] 続いて、真空度1.5 PaのArガス雰囲気中で、DCマグネトロンスパッタ法で、Ruからなる20 nmの膜厚を有する下地層3を形成した。

[0074] 続いて、真空度1.0 PaのArガス雰囲気中で、DCマグネトロンスパッタ法で、91体積% ( $\text{Co}_{75}\text{Cr}_{15}\text{Pt}_{10}$ ) - 9体積% ( $\text{SiO}_2$ ) からなる15 nmの膜厚を有する磁気記録層4を形成した。

[0075] 続いて、CVD法により、カーボンからなる3 nmの膜厚を有する保護層5を形成した。その後に、上記各層を形成した積層体をインライン式の成膜装置から取り出した。

[0076] 最後に、ディップ法によりパーフルオロポリエーテルからなる潤滑剤（（株）モレスコ製モレスコホスファロールA-20H）を塗布し、2 nmの膜厚を有する潤滑層を形成し、磁気記録媒体6を得た。

[0077] （実施例2）

円盤内周側軟磁性裏打ち層および円盤外周側軟磁性裏打ち層について、強磁性材料である  $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$  と、添加材料である Ta および B のそれぞれの体積割合を変化させた軟磁性裏打ち層のターゲットを用いて、実施例 2-1 から実施例 2-19 の磁気記録媒体を作製した。ここで、実施例 2-1 から実施例 2-19 の磁気記録媒体において、軟磁性裏打ち層の総膜厚と飽和磁化 ( $B_s$ ) との積が同じになるように、下 SUL と上 SUL の膜厚を適宜変更した。なお、交換結合制御層の膜厚を 0.5 nm に固定し、下 SUL と上 SUL の厚さの比率を 1 : 1 に固定した。上記以外の条件は実施例 1 と同様とした。作製したサンプルの円盤内周側軟磁性裏打ち層および円盤外周側軟磁性裏打ち層の組成、300 MHz の周波数の磁界に対する比透磁率、および比透磁率の特性周波数を第 2 表に示した。組成は、(100-x-y) 体積% ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) - x 体積% Ta - y 体積% B の軟磁性層からなるサンプルとなるように磁気記録媒体を作製した。

[0078] (実施例 3)

円盤内周側軟磁性裏打ち層および円盤外周側軟磁性裏打ち層について、強磁性材料として  $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$  を用い、B、C、Ti、Zr、Hf、V、Nb および Ta からなる群から適宜選択した添加材料を組み合わせたターゲットを用いて、実施例 3-1 から実施例 3-5 の磁気記録媒体を作製した。ここで、実施例 3-1 から実施例 3-5 の磁気記録媒体においては、軟磁性裏打ち層の総膜厚と飽和磁化 ( $B_s$ ) との積が同じになるように、下 SUL と上 SUL の膜厚を適宜変更した。なお、交換結合制御層の膜厚を 0.5 nm に固定し、下 SUL と上 SUL の厚さの比率は 1 : 1 に固定した。上記以外の条件は実施例 1 と同様とした。作製したサンプルの円盤内周側軟磁性裏打ち層および円盤外周側軟磁性裏打ち層の組成、300 MHz の周波数の磁界に対する比透磁率、および比透磁率の特性周波数を第 3 表に示した。

[0079] (評価)

実施例 1、2、および 3 で作製した磁気記録媒体について、SNR および EWAC 特性を評価した。

- [0080] SNRおよびEWAC特性の測定は、市販のGMRヘッドを取り付けたスピンドテストターを用いて行った。用いたGMRヘッドは、65 nmの記録トラック幅、および56 nmの再生トラック幅を有した。
- [0081] 各半径位置での線記録密度が一定になるように周波数を変化させた信号を書込み、再生時のノイズ出力に対する信号出力の比を測定して、SNRを求めた。本評価では、円盤内周部（半径値 $R = 12.5\text{ mm}$ ）および円盤外周部（半径値 $R = 31.5\text{ mm}$ ）で、SNRを測定した。円盤内周部では、300 MHzの周波数の信号を用いた。また、円盤外周部では756 MHzの周波数の信号を用いた。
- [0082] ここで、SNRが10 dB以上の場合を良（B）と評価し、10 dB未満の場合を不良（E）と評価した。評価結果を第2表および第3表に示した。
- [0083] EWAC特性は、1つのトラックに第1周波数の信号1を記録し、当該トラックに隣接する両サイドのトラックに、第1周波数とは異なる第2周波数の信号2を100回記録した後に、最初に記録した信号を再生することによって測定した。トラックピッチを変化させて測定を行い、隣接トラックに信号2を記録した後に信号1の出力が消える時のトラックピッチをEWAC値として求めた。なお、各半径位置での線記録密度が一定になるように、第1周波数を変えて信号1の記録を行った。具体的には、円盤内周部（半径値 $R = 12.5\text{ mm}$ ）において、第1周波数を40 MHzとし、円盤外周部（半径値 $R = 31.5\text{ mm}$ ）において、第1周波数を101 MHzとした。また、隣接トラックへの記録の際にも、各半径位置での線記録密度が一定になるように、第2周波数を変えて信号2の記録を行った。具体的には、円盤内周部（半径値 $R = 12.5\text{ mm}$ ）において、第2周波数を80 MHzとし、円盤外周部（半径値 $R = 31.5\text{ mm}$ ）において、第2周波数を202 MHzとした。
- [0084] ここで、円盤内周部におけるEWAC特性は、1枚あたりの記録容量を確保する点から、85 nm未満の場合を優（A）、85 nm以上90 nm未満の場合を良（B）、90 nm以上95 nm未満を従来と同等（C）、95 n

m以上のものを不良（E）と評価した。円盤内周部におけるEWA特性は、100nm未満のものを良（B）、100nm以上105nm未満を従来と同等（C）、105nm以上のものを不良（E）と評価した。評価結果を第2表および第3表に示した。

[0085] また、実施例1、2および3の磁気記録媒体について、評価用のサンプルを別途作製し、蛍光X線分析にて軟磁性裏打ち層の組成を評価した。

[0086] 評価用サンプルとして、表面が平滑な円盤状の化学強化ガラス基体（HOYA社製N-10ガラス基体）上に、膜厚300nmの軟磁性層と、保護層として膜厚3nmのカーボン層を形成したサンプルを作製した。軟磁性裏打ち層に相当する軟磁性層は、実施例1～3の各サンプルで使用したものと同一ターゲットを用いて、実施例1～3と同様にインライン式の成膜装置で行った。軟磁性層は、真空度1.0PaのArガス雰囲気中で、DCマグネトロンスパッタ法で形成した。

[0087] 作製した評価用サンプルのそれぞれについて、円盤内周部（半径値R=12.5mm）および円盤外周部（半径値R=31.5mm）の位置において、蛍光X線分析を行った。測定結果を、既知材料を用いてあらかじめ求めた検量線による校正をおこない、各元素の組成比を求めた。なお、円盤内周部および円盤外周部の両方において、中心からの角度が45°ずつ離れた8箇所測定を行い、その結果の平均を求めた。その結果、形成された軟磁性層は、円盤内周部および円盤外周部の両方においてターゲットの組成と同一の組成を有することが確認された。なお、第2表および第3表中に記載の組成は、ターゲットの組成である。

[0088]

[表2]

第2表: Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>-Ta-B軟磁性裏打ち層を用いた磁気記録媒体の評価

| 実施例  | 円盤内周部軟磁性裏打ち層 <sup>*1</sup>                             |                                             | 円盤外周部軟磁性裏打ち層 <sup>*3</sup>                             |                                             | EWAC             |                  | SNR              |                  |
|------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | 組成 <sup>*3</sup>                                       | 比透磁率 <sup>*4</sup> 、<br>特性周波数 <sup>*5</sup> | 組成 <sup>*3</sup>                                       | 比透磁率 <sup>*4</sup> 、<br>特性周波数 <sup>*5</sup> | 内周 <sup>*1</sup> | 外周 <sup>*2</sup> | 内周 <sup>*1</sup> | 外周 <sup>*2</sup> |
| 1    | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | B                | B                | B                | B                |
| 2-1  | 材料4<br>83%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-4%B | 800<br>600                                  | 材料6<br>82%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -14%Ta-4%B | 600<br>1000                                 | A                | B                | B                | B                |
| 2-2  | 材料5<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 700<br>800                                  | 材料5<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 700<br>800                                  | B                | B                | B                | E                |
| 2-3  | 材料6<br>82%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -14%Ta-4%B | 600<br>1000                                 | 材料4<br>83%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-4%B | 800<br>600                                  | B                | B                | B                | E                |
| 2-4  | 材料4<br>83%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-4%B | 800<br>600                                  | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | A                | B                | B                | B                |
| 2-5  | 材料7<br>81%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -14%Ta-5%B | 350<br>1200                                 | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | B                | B                | B                | B                |
| 2-6  | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | C                | B                | B                | B                |
| 2-7  | 材料9<br>78%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -16%Ta-6%B | 100<br>3000                                 | 材料8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -15%Ta-5%B | 150<br>2000                                 | C                | B                | B                | B                |
| 2-8  | 材料6<br>82%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -14%Ta-4%B | 600<br>1000                                 | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | B                | B                | B                | E                |
| 2-9  | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | B                | B                | B                | E                |
| 2-10 | 材料2<br>85%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -12%Ta-3%B | 0<br>100                                    | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | B                | B                | E                | E                |
| 2-11 | 材料1<br>87%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -10%Ta-3%B | 0<br>25                                     | 材料3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -13%Ta-3%B | 525<br>300                                  | B                | B                | E                | E                |

\*1: 測定位置 R=12.5 mm

\*2: %は体積%である

\*3: 測定位置 R=31.5 mm

\*4: 300 MHzにおける値

\*5: 単位はMHzである

[0089]

[表3]

第2表 (続き) :  $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-\text{Ta}-\text{B}$  軟磁性裏打ち層を用いた磁気記録媒体の評価

| 実施例  | 円盤内周部軟磁性裏打ち層*1                                                       |                    | 円盤外周部軟磁性裏打ち層*3                                                       |                    | EWAC |      | SNR  |      |
|------|----------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|
|      | 組成*3                                                                 | 比透磁率*4、<br>特性周波数*5 | 組成*3                                                                 | 比透磁率*4、<br>特性周波数*5 | 内周*1 | 外周*2 | 内周*1 | 外周*2 |
| 2-12 | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | B    | B    | B    | B    |
| 2-13 | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | 材料 6<br>$82\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-14\%\text{Ta}-4\%\text{B}$ | 600<br>1000        | B    | B    | B    | B    |
| 2-14 | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | B    | B    | B    | E    |
| 2-15 | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | 材料 1<br>$87\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-10\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 0<br>25            | B    | B    | B    | E    |
| 2-16 | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | 材料 3<br>$84\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-3\%\text{B}$ | 525<br>300         | C    | B    | B    | E    |
| 2-17 | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | 材料 4<br>$83\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-13\%\text{Ta}-4\%\text{B}$ | 800<br>600         | C    | B    | B    | E    |
| 2-18 | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | 材料 7<br>$81\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-14\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 350<br>1200        | C    | B    | B    | B    |
| 2-19 | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | 材料 8<br>$80\%\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}-15\%\text{Ta}-5\%\text{B}$ | 150<br>2000        | C    | B    | B    | B    |

\*1 : 測定位置 R=12.5 mm

\*2 : %は体積%である

\*3 : 測定位置 R=31.5 mm

\*4 : 300 MHzにおける値

\*5 : 単位はMHzである

[表4]

| 第3表：種々の添加材料を用いた軟磁性裏打ち層を有する磁気記録媒体の評価 |                                                                |                                             |                                                                 |                                             |                  |                  |                  |                  |  |  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|--|
| 実施例                                 | 円盤内周部軟磁性裏打ち層 <sup>*1</sup>                                     |                                             | 円盤外周部軟磁性裏打ち層 <sup>*3</sup>                                      |                                             | EWAC             |                  | SNR              |                  |  |  |
|                                     | 組成 <sup>*3</sup>                                               | 比透磁率 <sup>*4</sup> 、<br>特性周波数 <sup>*5</sup> | 組成 <sup>*3</sup>                                                | 比透磁率 <sup>*4</sup> 、<br>特性周波数 <sup>*5</sup> | 内周 <sup>*1</sup> | 外周 <sup>*2</sup> | 内周 <sup>*1</sup> | 外周 <sup>*2</sup> |  |  |
| 3-1                                 | 材料 1 0<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-4%Ta-7%Nb | 300<br>200                                  | 材料 1 5<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-5%Ta-10%Nb | 140<br>2200                                 | B                | B                | B                | B                |  |  |
| 3-2                                 | 材料 1 1<br>83%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -12%Ta-5%C      | 860<br>580                                  | 材料 1 6<br>81%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-5%Ta-9%CNb | 340<br>1200                                 | A                | B                | B                | B                |  |  |
| 3-3                                 | 材料 1 2<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -4%Zr-4%Ta-8%Ti | 600<br>310                                  | 材料 1 7<br>82%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-5%Ta-8%V   | 580<br>1000                                 | B                | B                | B                | B                |  |  |
| 3-4                                 | 材料 1 3<br>84%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -16%Ti          | 280<br>150                                  | 材料 1 8<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -12%Ta-6%B-2%Hf  | 140?<br>2300?                               | B                | B                | B                | B                |  |  |
| 3-5                                 | 材料 1 4<br>83%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-5%Ta-7%Ti | 845<br>620                                  | 材料 1 9<br>80%Fe <sub>70</sub> Co <sub>30</sub> -5%Zr-5%Ta-10%Ti | 160<br>1900                                 | B                | B                | B                | B                |  |  |

\*1：測定位置 R=12.5 mm  
\*2：%は体積%である  
\*3：測定位置 R=31.5 mm  
\*4：300MHzにおける値  
\*5：単位はMHzである

[0091] 実施例 1 および実施例 2-1 ~ 2-3 の比較により、FeCo からなる強

磁性材料と、BおよびTaからなる添加材料とからなる2種の軟磁性裏打ち層を組合せた場合、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合が、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合よりも大きい場合に、EWAC特性を維持したまま、SNRを満足する磁気記録媒体が実現できていた。

[0092] 実施例2-4~2-7では、円盤外周部の軟磁性裏打ち層を80体積% ( $F_{e70}C_{o30}$ ) - 15体積%Bの材料8に固定し、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合を83体積%から78体積%まで変化させた。実施例2-4~2-7の全てにおいて、円盤内周部および円盤外周部のSNRは良「B」の範囲に維持されたが、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合が80体積%以下になると、EWAC特性が若干悪化し、円盤内周部において良「B」の範囲から逸脱した。

[0093] 実施例2-8~2-11では、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の組成を84体積% ( $F_{e70}C_{o30}$ ) - 12体積%Bの材料3に固定し、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合を82体積%から87体積%まで変化させた。結果は、円盤外周部の全てにおいて、EWAC特性は良「B」であったが、SNRは不良「E」であった。また、円盤内周部に関しては、強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合を84体積%以下にした場合は、EWAC特性およびSNR共に良「B」であった。強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合が84体積%より大きい場合には、EWAC特性は良「B」を維持したものの、SNRは不良「E」であった。

[0094] 実施例2-12~2-15では、円盤内周部の軟磁性裏打ち層を84体積% ( $F_{e70}C_{o30}$ ) - 13体積%Bの材料3に固定し、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ ) の割合を80体積%から87体積%まで変化させた。実施例2-12~2-15の全てにおいて、円盤内周部および円盤外周部ともに、EWAC特性は良「B」であった。しかしながら、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $F_{e70}C_{o30}$ )

の割合が84体積%以上になると、SNRが良「B」の範囲から逸脱した。

[0095] 実施例2-16～2-19では、円盤内周部の軟磁性裏打ち層を80体積% ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) - 15体積% Ta - 5体積% Bの材料8に固定し、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合を84体積% から80体積%まで変化させた。円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が83体積%以上の場合 (実施例2-16および2-17) に、EWAC特性は良「B」であるが、SNRが良「B」の範囲から逸脱した。また、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が81体積%以下である場合、SNRは良「B」であるが、EWAC特性は従来と同等「C」であった。

[0096] 実施例1および実施例2の結果から、円盤内周部および円盤外周部においてEWAC特性およびSNRの両方を満足する磁気記録媒体は、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が81体積%以上84体積%以下の範囲内であり、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が80体積%以上82体積%以下の範囲内であり、かつ、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合より大きい磁気記録媒体であった。

[0097] 次に、表2の実施例3-1～3-5の結果から、本発明の磁気記録媒体の軟磁性裏打ち層の材料として、強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) と、B、C、Ti、Zr、Hf、V、NbまたはTaの元素、またはその組合せを含む添加材料とを組み合わせることが好ましいことがわかった。そして、これらの組み合わせにおいても、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合が、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の強磁性材料 ( $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ) の割合よりも高い場合に、優れたEWAC特性および優れたSNRを示す磁気記録媒体を実現できた。

[0098] 以上の通り、製造例ならびに実施例1から3の結果より、EWAC特性とSNRとを同時に満足するためには、軟磁性裏打ち層として適切な材料を配

置ることが必要であることがわかった。詳細には、以下の条件：

(1) 円盤外周部の軟磁性裏打ち層の特性周波数が、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の特性周波数より高いこと；

(2) 円盤内周部で用いられる記録磁界の周波数において、円盤内周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率が、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率より高いこと、

を満たすことが必要である。好ましくは、円盤外周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率の特性周波数は、1000MHz以上であり、300MHzの周波数の磁界に対する円盤内周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率は280以上であり、かつ、900MHzの周波数の磁界に対する円盤外周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率は140以上である。より好ましくは、300MHzの周波数の磁界に対する円盤内周部の軟磁性裏打ち層の比透磁率は700以上である。

[0099] 以上のように、本発明の軟磁性裏打ち層の構成により、EWA特性およびSNRの両方の基準を満足できる磁気記録媒体を得ることができた。

[0100] また、本実施例では、軟磁性裏打ち層の形成に用いるターゲットを円盤内周部および円盤外周部の2つの領域で構成したが、ターゲットを3つ以上の領域で形成しても、同様の効果が得られた。

## 符号の説明

- [0101]
- 1 非磁性基体
  - 2 軟磁性裏打ち層
  - 3 下地層
  - 4 磁気記録層
  - 5 保護層
  - 6 磁気記録媒体
  - 8 A 磁気記録媒体の内周
  - 8 B 磁気記録媒体の外周
  - 10 単磁極ヘッド
  - 11 主磁極

- 1 2 リターンヨーク
- 1 3 コイル
- 1 4 磁束
- 1 5 磁気記録層
- 1 6 軟磁性裏打ち層
- 1 7 磁気記録媒体
- 1 8 円盤外周部用ターゲットの外周
- 1 9 円盤内周部用ターゲットと円盤外周部用ターゲットの境界
- 2 0 非磁性基体の内周
- 2 1 円盤内周部軟磁性裏打ち層と円盤外周部軟磁性裏打ち層の境界
- 2 2 非磁性基体の外周
- 2 4 非磁性基体の中心穴
- 2 5 円盤内周部用ターゲット
- 2 6 円盤外周部用ターゲット

## 請求の範囲

- [請求項1]           中心に穴のあいた円盤状の非磁性基体と、軟磁性裏打ち層と、磁気記録層とを少なくとも含む磁気記録媒体であって、
- 前記軟磁性裏打ち層において、 $100\text{MHz} \sim 700\text{MHz}$ のいずれかの周波数の磁界における比透磁率が円盤外周から円盤内周にかけて向かって高くなり、かつ、比透磁率の特性周波数が前記円盤内周から前記円盤外周にかけて向かって高くなる
- ことを特徴とする磁気記録媒体。
- [請求項2]           前記軟磁性裏打ち層は、前記円盤内周から前記円盤外周にかけて複数の領域からなり、
- 前記複数の領域は、最内周の領域である円盤内周部と、最外周の領域である円盤外周部とを含み、
- 前記比透磁率の特性周波数は、前記円盤内周から前記円盤外周に向かって段階的に高くなり、
- 前記比透磁率は、前記円盤外周から前記円盤内周に向かって段階的に高くなる
- ことを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体。
- [請求項3]           前記軟磁性裏打ち層は、前記円盤内周部と前記円盤外周部との2つの領域からなることを特徴とする請求項2に記載の磁気記録媒体。
- [請求項4]           前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層は、 $1000\text{MHz}$ 以上の比透磁率の特性周波数を有し、
- 前記円盤内周部の軟磁性裏打ち層は、 $300\text{MHz}$ の周波数の磁界に対して280以上の比透磁率を有し、
- 前記円盤外周部の軟磁性裏打ち層は、 $900\text{MHz}$ の周波数の磁界に対して140以上を有する
- ことを特徴とする請求項2に記載の磁気記録媒体。
- [請求項5]           前記軟磁性裏打ち層は、(i) FeおよびCoを含む強磁性材料と、(ii) B、C、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTaからなる

群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む添加材料を含み、

前記強磁性材料の割合が、前記円盤外周から前記円盤内周にかけて向かって高くなる

ことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気記録媒体。

[請求項 6]

前記軟磁性裏打ち層は、(i) Fe および Co を含む強磁性材料と、(ii) B、C、Ti、Zr、Hf、V、Nb および Ta からなる群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む添加材料を含み、

前記強磁性材料の割合が、前記円盤外周から前記円盤内周に向かって段階的に高くなる

ことを特徴とする請求項 2 に記載の磁気記録媒体。

[請求項 7]

前記円盤内周部において、前記軟磁性裏打ち層は、前記強磁性材料および添加材料を総量を基準として 81 体積%以上 84 体積%以下の強磁性材料を含み、

前記円盤外周部において、前記軟磁性裏打ち層は、前記強磁性材料および添加材料を総量を基準として 80 体積%以上 82 体積%以下の強磁性材料を含む

ことを特徴とする請求項 6 に記載の磁気記録媒体。