

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-123626

(P2008-123626A)

(43) 公開日 平成20年5月29日(2008.5.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B 5/65 (2006.01)	G 1 1 B 5/65	5 D 0 0 6
G 1 1 B 5/66 (2006.01)	G 1 1 B 5/66	
G 1 1 B 5/738 (2006.01)	G 1 1 B 5/738	
G 1 1 B 5/82 (2006.01)	G 1 1 B 5/82	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2006-307884 (P2006-307884)
 (22) 出願日 平成18年11月14日(2006.11.14)

(71) 出願人 503116280
 ヒタチグローバルストレージテクノロジー
 ズネザーランドビービー
 オランダ国 アムステルダム 1076
 エイズィ パルナスストーレン ロカテリ
 ケード 1
 (74) 代理人 100091096
 弁理士 平木 祐輔
 (74) 代理人 100102576
 弁理士 渡辺 敏章
 (72) 発明者 平山 義幸
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社日立製作所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直磁気記録媒体及びこれを用いた磁気記憶装置

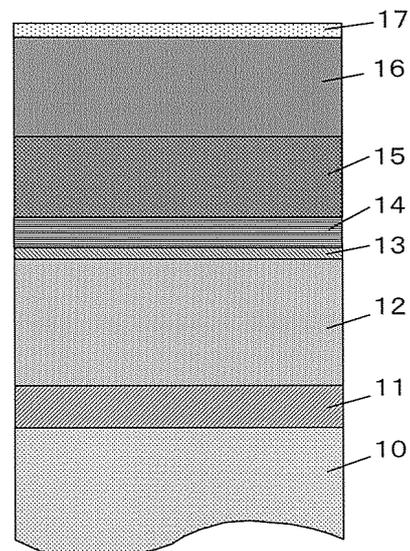
(57) 【要約】

【課題】記録層がグラニューラー構造を有し、良好な記録再生特性を確保しつつ、高い耐摺動特性を有する垂直磁気記録媒体を得る。

【解決手段】記録層がコバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、記録層の酸素濃度を膜厚方向に変化させ、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くし、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くする。

【選択図】 図 1

図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に、下地層、中間層、記録層及び保護層が順次積層されており、
前記記録層は、コバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、

前記記録層の酸素濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域の酸素濃度が前記記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、前記記録層の前記保護層との界面近傍領域の酸素濃度が前記記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 2】

基板上に、下地層、中間層、記録層及び保護層が順次積層されており、
前記記録層は、コバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、

前記記録層の前記中間層との界面近傍領域において酸素濃度が前記中間層との界面から前記保護層側へ向けて増加し、前記記録層の前記保護層との界面近傍領域において酸素濃度が前記保護層との界面から前記中間層側へ向けて増加していることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層がクロムを含み、前記記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のクロム濃度が前記記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記中間層は、前記記録層に隣接して形成された、ルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層を含むことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層はプラチナを含み、前記記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が前記記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域と前記記録層の中央近傍領域との間に非磁性層が形成されていることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層は、膜面内で周期的に区切られた不連続な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 7】

請求項 2 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層がクロムを含み、前記記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のクロム濃度が前記記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 8】

請求項 2 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記中間層は、前記記録層に隣接して形成された、ルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層を含むことを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項 9】

請求項 2 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層はプラチナを含み、前記記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が前記記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域と前記記録層の中央近傍領域との間に非磁性層が形成されていることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

請求項 2 に記載の垂直磁気記録媒体において、前記記録層は、膜面内で周期的に区切られた不連続な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 11】

磁気記録媒体と、
前記磁気記録媒体を記録方向に駆動する手段と、
記録部と再生部からなる磁気ヘッドと、
前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対的に駆動する手段と、
前記磁気ヘッドに対する入力信号および出力信号を波形処理する信号処理手段とを有し

10

、
前記磁気記録媒体は、基板上に、下地層、中間層、記録層及び保護層が順次積層されており、前記記録層は、コバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、前記記録層の酸素濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域の酸素濃度が前記記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、前記記録層の前記保護層との界面近傍領域の酸素濃度が前記記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層がクロムを含み、前記記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のクロム濃度が前記記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことを特徴とする磁気記憶装置

20

【請求項 13】

請求項 11 に記載の磁気記憶装置において、前記中間層は、前記記録層に隣接して形成された、ルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層を含むことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 14】

請求項 11 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層はプラチナを含み、前記記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が前記記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域と前記記録層の中央近傍領域との間に非磁性層が形成されていることを特徴とする磁気記憶装置。

30

【請求項 15】

請求項 11 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層は、膜面内で周期的に区切られた不連続な構造を有することを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 16】

磁気記録媒体と、
前記磁気記録媒体を記録方向に駆動する手段と、
記録部と再生部からなる磁気ヘッドと、
前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対的に駆動する手段と、
前記磁気ヘッドに対する入力信号および出力信号を波形処理する信号処理手段とを有し

40

、
前記磁気記録媒体は、基板上に、下地層、中間層、記録層及び保護層が順次積層されており、前記記録層は、コバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域において酸素濃度が前記中間層との界面から前記保護層側へ向けて増加し、前記記録層の前記保護層との界面近傍領域において酸素濃度が前記保護層との界面から前記中間層側へ向けて増加していることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層がクロムを含み、前記記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のクロ

50

ム濃度が前記記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 18】

請求項 16 に記載の磁気記憶装置において、前記中間層は、前記記録層に隣接して形成された、ルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層を含むことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 19】

請求項 16 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層はプラチナを含み、前記記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が前記記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、前記記録層の前記中間層との界面近傍領域と前記記録層の中央近傍領域との間に非磁性層が形成されていることを特徴とする磁気記憶装置。

10

【請求項 20】

請求項 16 に記載の磁気記憶装置において、前記記録層は、膜面内で周期的に区切られた不連続な構造を有することを特徴とする磁気記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、大容量の情報記録が可能な磁気記録媒体及びこれを用いた磁気記憶装置に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

近年、ハードディスク装置はパーソナルコンピュータのみならず家庭用の電気製品にも搭載されるようになり、従来以上に小型で大容量の記録が可能なハードディスク装置への要求は強い。さらに、音楽プレーヤー、携帯電話、ビデオカメラなどのモバイル機器への搭載に向けて、衝撃に対する強さが要求されている。大容量化を実現するためには、従来の面内磁気記録方式に代わって、垂直磁気記録方式が採用され始めている。垂直磁気記録では隣接する磁化が向き合わないために高密度記録状態が安定であり、本質的に高密度記録に適した方式であると考えられる。また、単磁極型の記録ヘッドと軟磁性下地層を有する垂直磁気記録媒体を組合せることにより、記録効率を上げることができる。衝撃に対する強さを向上させるためには、ヘッドの軽量化により衝撃力を低減することが重要であるが、強度の高い媒体を開発することも必要である。媒体を構成する材料やその組合せを、記録再生特性の観点だけでなく、強度の観点からも検討する必要がある。

30

【0003】

垂直磁気記録媒体の記録層には、CoCrPt合金に酸素あるいは酸化物を添加したグラニュー型材料が採用されている。グラニュー型記録層は、CoCrPt合金からなる磁性粒子とそれを取り囲む非磁性の酸化物粒界からなっている。酸化物が粒界へ偏析する効果を利用して磁性粒子間の交換結合を低減させて、低ノイズ化を実現させている。したがって、酸化物粒界の形成状況がノイズ特性を左右するため、記録層にどれくらいの量の酸素や酸化物を含有させるかが重要である。

40

【0004】

グラニュー型記録層を有する垂直磁気記録媒体として、例えば特開 2003-178413 号公報には酸化物を主体とする非磁性粒界の体積が磁性層全体の体積の 15% 以上 40% 以下とする垂直磁気記録媒体が開示されている。グラニュー磁性層の偏析構造を制御して低ノイズ特性を確保するために、磁性層中に含まれる酸化物量の制御が重要であることが記載されている。また、特開 2004-310910 号公報には酸化物を含んだ磁性層の上に酸化物を含まない磁性層を積層したグラニュー型垂直磁気記録媒体が開示されている。このような磁性層の構成により、記録再生特性と熱揺らぎ耐性の両立が可能であることが記載されている。特開 2005-141825 号公報には基板方向から膜表面方向にかけて磁性膜中の酸化物濃度が連続的に低くなるようなグラニュー型磁気記録

50

媒体が開示されている。このような酸化物濃度分布を実現することにより、ノイズ低減が可能であることが記載されている。グラニューラ型垂直磁気記録媒体において、ヘッドの浮上性や耐摺動性を確保しつつ記録再生特性を改善するための技術としては、特開2006-120290号公報に開示がある。そこでは、磁気記録層の柱状粒子に関して保護層側部分の直径が中間層側部分の直径より大きい形状を有することを特徴とした媒体が提案されている。

【0005】

【特許文献1】特開2003-178413号公報

【特許文献2】特開2004-310910号公報

【特許文献3】特開2005-141825号公報

【特許文献4】特開2006-120290号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

これまでグラニューラ型垂直磁気記録媒体に関して、酸素や酸化物の濃度を調節することにより記録再生特性や熱揺らぎ耐性が改善することは報告されているが、衝撃に対する強さの観点からは十分な検討はなされていなかった。

【0007】

ハードディスク装置において、ヘッドが高速で回転する媒体表面に接触した場合に、スクラッチと呼ばれる接触痕が媒体表面に形成されることがある。スクラッチが形成された媒体の箇所は、形状が変化しているだけでなく、多くの場合に磁気情報が消失していたり、あるいは書き込みができなくなったりして、記録再生が不可能になる。したがって、衝撃に強く信頼性の高い磁気記憶装置を得るためには、ヘッドと接触してもスクラッチが形成され難く、耐摺動特性に優れた磁気記録媒体を開発する必要がある。磁気記録媒体におけるスクラッチの形成を抑えて耐摺動特性を向上させるために、従来は保護膜の改善が行われてきたが、たとえ硬い保護膜を用いたとしてもその下に軟らかい層が存在する場合には、その軟らかい層の変形に起因してスクラッチが容易に形成される。すなわち、スクラッチの形成を抑えて耐摺動特性を向上させるためには、保護膜だけでなく、媒体を構成する全ての層とその組合せについて検討が必要である。特にグラニューラ型記録層はその強度が不十分なため、変形の起点になることが危惧されるが、これまで強度に関する十分な検討が行われてこなかった。

【0008】

記録層が多数の柱状粒子と酸化物を含む粒界によって構成されたグラニューラ構造を有する垂直磁気記録媒体において、媒体ノイズを低減するためには、記録層の粒界層を形成する酸化物の添加量を増やして磁性粒子間の交換結合を低減させる手段が有効である。しかし、このような手段を講じた場合には、グラニューラ層の表面粗さが増してヘッドの浮上性が劣化するだけでなく、グラニューラ層を起点とする変形が容易となりスクラッチの形成が頻発することになる。一方、酸化物の添加を大幅に減らした場合には、グラニューラ層の強度が増すことが予想されるが、高密度記録に十分な記録再生特性を得ることはできない。

【0009】

本発明の目的は、記録層がグラニューラ構造を有する垂直磁気記録媒体において、良好な記録再生特性を確保しつつ、優れた耐摺動特性を得ることである。また、このような垂直磁気記録媒体を用いて、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、基板上に、少なくとも下地層、中間層、記録層及び保護層が順次積層される垂直磁気記録媒体において、記録層がコバルトを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界とから構成される層を含み、記録層の酸素濃度が膜厚方向に変化してお

10

20

30

40

50

り、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことを特徴とする。あるいは、記録層の中間層との界面近傍領域において酸素濃度が中間層との界面から保護層側へ向けて増加し、かつ記録層の保護層との界面近傍領域において酸素濃度が保護層との界面から中間層側へ向けて増加するような、酸素濃度の膜厚方向分布を有していることを特徴とする。このような酸素濃度分布を有する垂直磁気記録媒体を作製することにより、良好な記録再生特性を確保しつつ、優れた耐摺動特性を得ることができる。

【0011】

耐摺動特性を向上させるためには、硬い材料を用いることが効果的である。しかしながら、中間層や下地層に硬い材料を用いた場合、大きな荷重による大きな変形を防ぐことはできるが、小さな荷重に対する小さな変形を抑えることはできない。従来の垂直磁気記録媒体の場合には、100 μN 程度の小さな荷重によって深さ3 nm程度のスクラッチが形成され、このスクラッチがエラーの原因となり問題であった。この浅いスクラッチはグラニューラ型記録層に起因して発生することが多く、グラニューラ層の構造を改良する必要がある。グラニューラ層の構造と耐摺動特性の関係を詳しく調べた結果、グラニューラ層に含まれる酸素または酸化物の量を減らして結晶粒界の幅を全体的に狭くすることが効果的であったが、この場合には記録再生特性が大幅に劣化して、磁気記録媒体としての役割を果たさなくなった。そこで、グラニューラ層全体の酸素濃度を減らすのではなく、保護層及び中間層との界面近傍領域だけの酸素濃度を減らしたのが本発明である。この場合に記録再生特性の劣化を小さく抑えつつ、耐摺動特性を大幅に改善できることを見出した。耐摺動特性を改善するためには、応力の集中する箇所を強くすることが重要である。記録層の内部は同じコバルト合金で構成されているため、複数の層が積層されて組成が変化しても、あるいは酸化物濃度が変化しても、コバルト合金がエピタキシャル関係を保ちつつ同一粒子として成長する。したがって、粒子のくびれなどのような応力の集中する箇所は存在しない。一方で記録層の保護膜との界面と中間層との界面は異なる材料が接合する箇所であり、部分的にエピタキシャル成長が保たれたとしても、同一粒子として連続的に成長することはない。その結果、接合界面における応力の集中が避けられない。この考えに基づいて、異なる材料の接合界面の改善を試みた。記録層の保護膜との界面近傍と中間層との界面近傍の厚さ数 nmの領域の酸素濃度を減らした結果、小さな荷重によるスクラッチの形成が抑えられることを見出した。しかも、片方の接合界面のみ改良してもスクラッチの形成は抑えることができず、両方の接合界面の改良が必要であることを見出した。

【0012】

さらに、優れた耐摺動特性を維持しつつ、より良い記録再生特性を得るためには、以下の3つの手段が効果的であることを見出した。

(1) 記録層がクロムを含み、記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度が記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いこと。これは記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度を減らした場合に、その領域がノイズ源として悪影響を及ぼすのを防ぐために、その領域の飽和磁化を下げる手段である。

(2) 中間層が少なくともルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層を含み、ルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成される層が記録層に隣接して形成されていること。これは記録層の中間層との界面近傍領域における偏析構造の形成を助ける手段である。

(3) 記録層がプラチナを含み、記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、記録層の中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、中間層との界面近傍領域と記録層の中央近傍領域の間に非磁性層が形成されていること。これは、中間層との界面近傍領域の酸素濃度が低いことを利用して、その領域をプラチナ濃度が低く磁気異方性の小さな材料からなる磁化反転アシスト層とする手段である。この場合には、その上部の主記録層との間に薄い非磁性層を形成して層間の磁氣的結合を適度に弱めることにより、磁化反転のアシスト効果が強まる。

10

20

30

40

50

【0013】

また、上記の垂直磁気記録媒体と、磁気記録媒体を記録方向に駆動する手段と、記録部と再生部からなる磁気ヘッドと、磁気ヘッドを磁気記録媒体に対して相対的に駆動する手段と、磁気ヘッドに対する入力信号および出力信号を波形処理する信号処理手段とを組み合わせることにより、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を得ることができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、垂直磁気記録媒体に関して、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができる。特に小さな荷重によるスクラッチの発生を抑える上で顕著な効果を得ることができる。また、本発明の垂直磁気記録媒体を用いることにより、磁気記憶装置の信頼性を向上させることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明を実施するための形態を説明する。

【実施例1】

【0016】

図1は、本実施例の垂直磁気記録媒体の断面を模式的に表した図である。本実施例の垂直磁気記録媒体は、アネルバ株式会社製のスパッタリング装置(C-3010)を用いて作製した。このスパッタリング装置は10個のプロセスチャンパー及び各1個の基板導入チャンパーと基板排出チャンパーからなり、各チャンパーは独立に排気されている。すべてのチャンパーを 1×10^{-5} Pa以下の真空度まで排気した後、基板を載せたキャリアを各プロセスチャンパーに移動させることにより順にプロセスを実施した。基板10の上に密着層11、軟磁性下地層12、シード層13、第1中間層14、第2中間層15、記録層16、保護層17を順次積層した。

20

【0017】

基板10としては厚さ0.635mm、直径65mmのガラス基板を用いた。本実施例ではテキスチャ加工の施されていない平滑表面のガラス基板を用いたが、テキスチャ基板を用いても問題はない。また、厚さや直径の異なる基板を用いても本発明の効果に影響はない。密着層11としては厚さ10nmのAl-50at%Ti合金膜を形成した。密着層はAlTi合金に限られるものではなく、他の材料を用いても良い。例えばNiTa, NiTaZr, CrTi, AlTaなどの非晶質合金を用いることができる。軟磁性下地層12としては厚さ15nmのCo-8at%Ta-5at%Zr合金膜を厚さ0.5nmのRu膜を介して2層積層した構造の膜を形成した。軟磁性下地層の材料としては、CoNbZrやFeCoTaZrなどのように、Fe, Co及びNiから選ばれるひとつまたは複数の元素を主成分とし、これにTa, Hf, Nb, Zr, Si, Bから選ばれる少なくとも1種以上の元素を添加した非晶質合金または微結晶合金を用いることが望ましい。シード層13としては厚さ2nmのNi-37.5at%Ta合金膜を形成した。シード層は非晶質合金であれば、NiTa合金に限られるものではなく、例えばAlTi, NiTaZr, CrTi, AlTaなどを用いることができる。第1中間層14としては厚さ7nmのNi-6at%W合金膜を形成した。第1中間層はなくても構わないが、より優れた記録再生特性を得るために、面心立方格子構造を有する合金を用いることが好ましい。例えばNiCr, NiCrW, NiV, PtCrなどを用いることができる。ここまでの膜形成プロセスはすべてスパッタガスとしてアルゴンを用い、ガス圧1Paでスパッタリングを行った。次に第2中間層15として厚さ14nmのRu膜を形成した。Ru膜に関しては、ガス圧1Paで厚さ7nmの膜を形成した後にガス圧4Paで厚さ7nmの膜を積層した。スパッタガスにはアルゴンガスを用いた。

30

40

【0018】

記録層16は、Co-22at%Cr-19at%Pt合金ターゲットを用いて形成した。スパッタガスとしてアルゴンガスとアルゴンに10%の酸素を混合させたガスの2種

50

類を用い、総ガス圧を5 Paとした。投入するアルゴン酸素混合ガスのアルゴンガスに対する流量比を以下ではアルゴン酸素ガス流量比と呼び、これをプロセスの途中で変化させて、記録層の酸素濃度を变化させた。スパッタリング時間6.3秒の中で、アルゴン酸素ガス流量比を最初の0.7秒間は5.0%、次の4.0秒間は11.7%、最後の1.6秒間は0%とした。記録層の厚さは合計19 nmとした。保護層17は、カーボンターゲットを用いて、ガス圧0.6 Paのアルゴンに0.05 Paの窒素を加えた混合ガス中でスパッタリングを行って形成した。保護層の厚さは4 nmとした。また、保護層表面に厚さ1 nmの潤滑膜を塗布した。作製したサンプルの記録層の微細構造を高分解能の透過電子顕微鏡を用いて観察したところ、金属元素からなる結晶粒は暗い色であるのに対して酸化物からなる結晶粒界は明るい色として明瞭に区別でき、ひとつひとつの結晶粒が酸化物粒界に囲まれた構造を確認できた。

10

【0019】

垂直磁気記録媒体の記録層の組成はエックス線光電子分光法を用いて求めた。加速電圧500 Vのイオン銃でサンプル表面からスパッタして深さ方向に掘り進み、アルミニウムのK線のエックス線源として、長さ1.5 mmで幅0.1 mmの範囲を分析した。Cの1s電子、Oの1s電子、Siの2s電子、Crの2p電子、Coの2p電子、Ruの3d電子、Ptの4f電子などのそれぞれに対応するエネルギー近傍のスペクトルを検出することにより各元素の濃度をat%で求めた。本実施例のサンプルの分析結果を図2に示す。図2は、膜表面から深さ32 nmまでの範囲について約2 nmの深さ間隔で、C, O, Cr, Co, Ru及びPtの濃度を測定してプロットした図である。保護層のCが50 at%以下となる深さ6 nmから中間層のRuが50 at%以上となる深さ25 nmまでの範囲を記録層と判断して、記録層を構成する各元素の濃度変化を求めた。

20

【0020】

記録層の主要元素であるO, Cr, Co, Ptのみに着目して、これらの含有比率を計算した結果を図3に示す。アルゴン酸素ガス流量に応じて酸素濃度が変化している。記録層の酸素濃度は、グラフの右端から中央へ向けて、すなわち、記録層と中間層との界面近傍領域において、中間層との界面から保護層側へ向けて増加している。また、グラフの左端から中央へ向けて、すなわち、記録層と保護層との界面近傍領域において、保護層との界面から中間層側へ向けて記録層の酸素濃度が増加している。なお、図2と図3とで、8 - 10 nm付近の分布、及び22 - 24 nm付近の分布の様子が異なって見えているが、これは図3ではCとRuを除いて含有率を計算し直しているせいである。8 - 10 nm付近ではCの影響により、22 - 24 nm付近ではRuの影響により、2つの図の分布が異なって見えている。

30

【0021】

また、図3の結果を用いて、記録層の中間層との界面近傍4 nmの範囲、記録層の中央近傍4 nmの範囲、及び保護層との界面近傍4 nmの範囲から各々の酸素濃度の平均値を求め、表1に示す(サンプル1A)。この結果から、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことを確認できる。

40

【0022】

【表1】

表1

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
1A	8.3	15.8	2.1	1.44	20.1

50

【0023】

表1には、サンプル1Aについて実施したスクラッチ試験及びSNR評価の結果も示す。スクラッチ試験は、スクラッチ針に100 μ Nの荷重を加えて媒体表面を引っ掻き、生成したスクラッチ痕の深さを原子間力顕微鏡により測定することにより行う。深さの測定は、スクラッチを横切る直線に沿って顕微鏡探針をスイープしながら、その断面形状を測定することにより行う。各サンプルについて5個のスクラッチを形成し、それらの深さの平均値を求めた。本実施例のサンプル1Aについて測定したスクラッチ深さは1.44nmであり、従来に比べてかなり軽微なスクラッチに抑えることができた。また、SNRはスピンスターによって評価した。評価にはトラック幅95nmの単磁極タイプの記録素子とトラック幅70nmの巨大磁気抵抗効果を利用した再生素子を有する磁気ヘッドを用いた。記録素子は主磁極と副磁極からなっており、主磁極を取り囲むようにトラック幅方向側及びトレーリング方向側にシールドを設置した構造である。周速は10m/秒、スキュー角0度、磁氣的スペーシング約15nmの条件で再生出力とノイズを測定し、媒体SNRは1970fr/mmの信号を記録したときの再生出力と41730fr/mmの信号を記録したときの積分ノイズの比と定義した。

10

【0024】

図4に磁気記憶装置の一例を示す。磁気記憶装置は、磁気記録媒体40と、磁気記録媒体を回転させる駆動部41と、磁気ヘッド42と、磁気ヘッドの駆動部43と、磁気ヘッドへの信号の入出力を行うための手段44とを有する。磁気ヘッド42は記録素子と再生素子からなり、再生素子は磁気抵抗効果を利用しており、記録素子は主磁極と副磁極からなっている。記録素子の主磁極を取り囲むようにトラック幅方向側及びトレーリング方向側にシールドを設置した。この装置に本実施例の垂直磁気記録媒体を組み込んで、ヘッド浮上量9nm、1cm当たりの線記録密度を393700ビット、1cm当たりのトラック密度を78740トラックとすることによって1平方センチあたり31.0ギガビットでの動作を確認できた。さらに、ヘッドのロード、アンロード及びシークを150万回繰り返した後のビットエラー数は1面当たり10個以下であった。本発明により、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を得ることができた。

20

【0025】

本実施例は、基板、下地層、中間層、あるいは記録層の少なくともひとつに加工が施され、記録層がディスク面内で周期的に区切られて不連続な構造となっている、いわゆるディスクリット・トラック媒体あるいはパターン媒体にも適用可能であり、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができる。これらの媒体はむしろ、記録層がディスク面内で区切られて不連続な構造になっているために、耐摺動特性改善の必要性が高く、本発明が耐摺動特性改善に果たす役割は大きい。ディスクリット・トラック媒体とは、隣接するデータトラックの間に記録層が存在しない構造、あるいはデータトラックは凸部に、隣接するデータトラックの間は凹部に記録層が形成された構造である。パターン媒体とは、隣接するデータビットの間に記録層が存在しない構造、あるいはデータビットは凸部に、隣接するデータビットの間は凹部に記録層が形成された構造である。

30

【0026】

[比較例1]

本比較例の垂直磁気記録媒体は、記録層以外の構成要素に関して実施例1と全く同じ材料を用いて同じプロセス条件で作製した。記録層に関しては、実施例と同様にCo-22at%Cr-19at%Pt合金ターゲットを用いて形成した。スパッタリングガスとしてアルゴンガスとアルゴンに10%の酸素を混合させたガスの2種類を用い、総ガス圧を5Paとした。アルゴン酸素ガス流量比をプロセスの途中で変化させて、記録層の酸素濃度を変化させた。酸素濃度の変化を実施例とは異なる条件に設定した。サンプル1Pはアルゴン酸素ガス流量比をスパッタリング開始直前の0.2秒間は30%、スパッタリングの最初の4.7秒間は11.7%、最後の1.6秒間は0%とした。記録層の厚さは合計19nmとした。サンプル1Qはアルゴン酸素ガス流量比を最初の0.7秒間は5.0%、次の4.0秒間は11.7%とした。記録層の厚さは合計14nmとした。サンプル1

40

50

Rはアルゴン酸素ガス流量比をスパッタリング開始直前の0.2秒間は30%、スパッタリング中の4.7秒間は8.3%とした。記録層の厚さは合計14nmとした。サンプル1P及びサンプル1Rにおいてアルゴン酸素ガス流量比をスパッタリング開始直前の0.2秒間に30%と高くしたのは、記録層の初期成長部分における酸化物偏析構造の形成を促進するためであり、記録再生特性の改善に効果的である。

【0027】

これらのサンプルについて、記録層の組成を実施例1と同様にエックス線光電子分光法を用いて求めた。実施例1と同様に、保護膜のCが50at%以下となる深さから中間層のRuが50at%以上となる深さまでの範囲を記録層と判断して、記録層を構成する各元素の濃度変化を求めた。記録層の主要元素であるO, Cr, Co, Ptのみに着目して、これらの元素の含有比率を計算した結果を図5、図6、図7に示す。サンプル1Pとサンプル1Rに関しては、グラフの右端から中央へ向けて、すなわち、中間層との界面近傍領域において中間層との界面から保護層側へ向けて酸素濃度が低下しており、実施例1と酸素濃度の分布が異なっている。また、サンプル1Qとサンプル1Rに関しては、グラフの左端から中央へ向けて、すなわち、保護層との界面近傍領域において保護層との界面から中間層側へ向けて酸素濃度が低下しており、実施例と酸素濃度の分布が異なっている。

10

【0028】

また、図5、図6、図7の結果を用いて、記録層の中間層との界面近傍4nmの範囲、記録層の中央近傍4nmの範囲、及び保護層との界面近傍4nmの範囲から各々の酸素濃度の平均値を求め、表2に示した。表2には、これらのサンプルについて実施したスクラッチ試験の結果も示した。スクラッチ試験は実施例1と同じ方法で行った。サンプル1P、サンプル1Q、サンプル1Rについて測定したスクラッチ深さはそれぞれ2.86nm、2.98nm、3.21nmであり、実施例1(表1)に比べて明らかに深いスクラッチが観測された。この結果から、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くし、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くすることがグラニューラ型垂直磁気記録媒体の耐摺動特性を改善する上で効果的であることを確認できる。

20

【0029】

【表2】

表2

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
1P	19.1	16.0	2.3	2.86	20.2
1Q	8.4	14.2	18.5	2.98	12.1
1R	17.0	12.2	12.8	3.21	10.5

30

40

【0030】

実施例1と同様の磁気記憶装置に本比較例の垂直磁気記録媒体を組み込んで動作させたところ、サンプル1Pに関しては1平方センチあたり31.0ギガビットでの動作を確認できたが、サンプル1Qとサンプル1Rに関しては最初からビットエラーが多発して1平方センチあたり31.0ギガビットでの動作が不可能であった。サンプル1Pに関しては、ヘッドのロード、アンロード及びシークを150万回繰り返す試験を実施したが、ビットエラーが多発して結果的に動作不能となった。これを分解して媒体表面を観察したところ、数多くのスクラッチ痕が観察された。

【実施例2】

【0031】

50

本実施例では、実施例 1 に記載した特徴を有する垂直磁気記録媒体において、優れた耐摺動特性を維持しつつ、さらにより良い記録再生特性を得るための手段について説明する。その特徴は、記録層がクロムを含み、記録層のクロム濃度が膜厚方向に変化しており、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度が記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことである。これは記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度を減らした場合にその領域がノイズ源として悪影響を及ぼすことに着目して、その悪影響を低減することを目的に、記録層の中間層との界面近傍領域の飽和磁化を下げる手段である。

【0032】

図 8 は、本実施例の垂直磁気記録媒体の断面を模式的に表した図である。本実施例の垂直磁気記録媒体は、実施例 1 と同じスパッタリング装置を用いて同様の条件で作製した。基板 80 の上に密着層 81、軟磁性下地層 82、シード層 83、第 1 中間層 84、第 2 中間層 85、第 1 記録層 86、第 2 記録層 87、第 3 記録層 88、保護層 89 を順次積層した。

【0033】

基板 80 としては厚さ 0.635 mm、直径 65 mm のガラス基板を用い、密着層 81 としては厚さ 10 nm の Al-50 at% Ti 合金膜を形成し、軟磁性下地層 82 としては厚さ 20 nm の Fe-34 at% Co-10 at% Ta-5 at% Zr 合金膜を厚さ 0.5 nm の Ru 膜を介して 2 層積層した構造の膜を形成した。シード層 83 としては厚さ 2 nm の Ni-37.5 at% Ta 合金膜を形成し、第 1 中間層 84 としては厚さ 7 nm の Ni-6 at% W 合金膜を形成した。ここまでの膜形成プロセスはすべてスパッタガスとしてアルゴンを用い、ガス圧 1 Pa でスパッタリングを行った。次に第 2 中間層 85 として厚さ 12 nm の Ru 膜を形成した。Ru 膜に関しては、ガス圧 1 Pa で厚さ 6 nm の膜を形成した後にガス圧 4 Pa で厚さ 6 nm の膜を積層した。スパッタガスにはアルゴンガスを用いた。記録層は 3 層の積層構造とし、第 1 記録層 86 及び第 2 記録層 87 はアルゴンガスとアルゴンに 10% の酸素を混合させたガスの 2 種類を用いてガス圧 5 Pa の条件で形成し、第 3 記録層 88 はアルゴンガスのみを用いてガス圧 1 Pa の条件で形成した。アルゴン酸素ガス流量比をプロセスの途中で変化させて、記録層の酸素濃度を変化させた。保護層 89 は、カーボンターゲットを用いて、ガス圧 0.6 Pa のアルゴンに 0.05 Pa の窒素を加えた混合ガス中でスパッタリングを行って形成した。保護層の厚さは 4 nm とした。また、保護層表面に厚さ 1 nm の潤滑膜を塗布した。

【0034】

サンプル 2 A は、第 1 記録層として Co-33 at% Cr-8 at% Pt 合金に 8 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 0% の条件において厚さ 5 nm の膜を形成し、第 2 記録層として Co-19 at% Cr-18 at% Pt 合金に 8 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 11.7% の条件において厚さ 12 nm の膜を形成し、第 3 記録層として Co-26 at% Cr-10 at% Pt 合金ターゲットを用いて厚さ 8 nm の膜を形成した。

【0035】

サンプル 2 B は、第 1 記録層形成時のアルゴン酸素ガス流量比を 5% とした以外はサンプル 2 A と同じ材料と条件で記録層を形成した。サンプル 2 C は、第 1 記録層を形成するのに Co-33 at% Cr-8 at% Pt 合金に 6 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用いた以外はサンプル 2 B と同じ材料と条件で記録層を形成した。サンプル 2 D は、第 1 記録層を形成するのに Co-38 at% Cr-4 at% Pt 合金に 7 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用い、第 1 記録層の厚さを 3 nm とした以外はサンプル 2 A と同じ材料と条件で記録層を形成した。サンプル 2 E は、第 1 記録層を形成するのに Co-43 at% Cr 合金に 6 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用い、第 1 記録層の厚さを 1.5 nm とした以外はサンプル 2 A と同じ材料と条件で記録層を形成した。

【0036】

サンプル 2 F は、第 1 記録層として Co-38 at% Cr-4 at% Pt 合金に 7 mol% の SiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 0% の条件におい

て厚さ 2 nm の膜を形成し、第 2 記録層として Co - 17 at % Cr - 16 at % Pt 合金に 7 mol % の SiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 13 . 3 % の条件において厚さ 11 nm の膜を形成し、第 3 記録層として Co - 28 at % Cr - 8 at % Pt - 2 at % B 合金ターゲットを用いて厚さ 8 nm の膜を形成した。サンプル 2 G は、第 1 記録層としてサンプル 2 F と同じ材料を同じ条件で形成し、第 2 記録層として Co - 15 at % Cr - 18 at % Pt 合金に 8 mol % の SiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 10 . 0 % の条件において厚さ 10 nm の膜を形成し、第 3 記録層として Co - 14 at % Cr - 6 at % Pt - 4 at % B 合金ターゲットを用いて厚さ 4 nm の膜を形成した。

【 0 0 3 7 】

サンプル 2 H は、第 1 記録層として Co - 38 at % Cr - 4 at % Pt 合金に 6 mol % の TiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 0 % の条件において厚さ 2 nm の膜を形成し、第 2 記録層として Co - 19 at % Cr - 16 at % Pt 合金に 6 mol % の TiO₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 8 . 3 % の条件において厚さ 13 nm の膜を形成し、第 3 記録層としてサンプル 2 G と同じ材料を同じ条件で形成した。サンプル 2 I は、第 1 記録層として Co - 38 at % Cr - 4 at % Pt 合金に 2 . 5 mol % の Ta₂O₅ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 0 % の条件において厚さ 2 nm の膜を形成し、第 2 記録層として Co - 19 at % Cr - 16 at % Pt 合金に 2 . 5 mol % の Ta₂O₅ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 11 . 7 % の条件において厚さ 13 nm の膜を形成し、第 3 記録層としてサンプル 2 G と同じ材料を同じ条件で形成した。

【 0 0 3 8 】

サンプル 2 A について、記録層の組成を実施例 1 と同様にエックス線光電子分光法を用いて求めた。実施例 1 と同様に、保護層の C が 50 at % 以下となる深さから中間層の Ru が 50 at % 以上となる深さまでの範囲を記録層と判断して、記録層を構成する各元素の濃度変化を求めた。記録層の主要元素である O, Si, Cr, Co, Pt のみに着目して、これらの元素の含有比率を計算した結果を図 9 に示す。グラフの右端から中央へ向けて、すなわち、中間層との界面近傍領域において中間層との界面から保護層側へ向けて記録層の酸素濃度が増加しており、グラフの左端から中央へ向けて、すなわち、保護層との界面近傍領域において保護層との界面から中間層側へ向けて記録層の酸素濃度が増加している。また、グラフの右側から中央へ向けて、すなわち、中間層との界面近傍領域において中間層との界面から保護層側へ向けて記録層のクロム濃度が低下している。

【 0 0 3 9 】

本実施例のサンプルに関して、組成分析により、記録層の中間層との界面近傍 4 nm の範囲、記録層の中央近傍 4 nm の範囲、及び保護層との界面近傍 4 nm の範囲における各々の酸素濃度（平均値）を求め、表 3 に示す。同様に記録層の各々の深さ範囲におけるクロム濃度（平均値）を求め、表 4 に示す。本実施例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことがわかる。また、本実施例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度が記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高いことがわかる。表 3 にはこれらのサンプルについて実施したスクラッチ試験と SNR 評価の結果も示す。スクラッチ試験及び SNR 評価は実施例 1 と同じ方法で行った。

【 0 0 4 0 】

本実施例のサンプルはすべてスクラッチ深さを 1 . 5 nm より小さく抑えることができしており、優れた耐摺動特性を有している。また、SNR はすべて 22 dB より大きく、優れた記録再生特性を有している。すなわち、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低い垂直磁気記録媒体において、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度を記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高くする

10

20

30

40

50

ことにより、優れた耐摺動特性を維持しつつ、優れた記録再生特性を得ることができる。

【 0 0 4 1 】

【 表 3 】

表3

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
2A	7.3	15.7	1.1	1.30	22.5
2B	9.7	16.1	1.3	1.43	22.3
2C	9.2	16.2	1.3	1.39	22.3
2D	6.5	15.3	1.2	1.32	22.6
2E	5.9	15.6	1.4	1.37	22.7
2F	6.7	16.8	1.7	1.45	22.4
2G	6.8	13.9	1.9	1.23	22.3
2H	5.8	12.2	2.3	1.10	22.5
2I	6.1	13.7	2.4	1.27	22.7

10

20

【 0 0 4 2 】

【 表 4 】

表4

サンプル 番号	クロム濃度 (at%)		
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍
2A	29.0	13.8	25.7
2B	28.6	14.2	25.9
2C	30.1	14.1	25.7
2D	33.5	14.3	25.5
2E	38.7	14.4	25.8
2F	33.3	13.5	27.8
2G	33.2	11.2	14.7
2H	34.1	15.0	14.6
2I	33.0	14.9	14.4

30

40

【 0 0 4 3 】

本実施例の垂直磁気記録媒体を磁気記憶装置に組み込んで、ヘッド浮上量 8 nm、1 cm 当たりの線記録密度を 472400 ビット、1 cm 当たりのトラック密度を 78740 トラックとすることによって、1 平方センチあたり 37.2 ギガビットでの動作を確認できた。さらに、ヘッドのロード、アンロード及びシークを 150 万回繰り返した後のピッ

50

トエラー数は1面当たり10個以下であった。本発明により、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を得ることができた。

【0044】

本実施例は、基板、下地層、中間層、あるいは記録層の少なくともひとつに加工が施され、記録層がディスク面内で周期的に区切られて不連続な構造となっている、いわゆるディスクリット・トラック媒体あるいはパターン媒体にも適用可能であり、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができる。これらの媒体はむしろ、記録層がディスク面内で区切られて不連続な構造になっているために、耐摺動特性改善の必要性が高く、本発明が耐摺動特性改善に果たす役割は大きい。

【0045】

[比較例2]

本比較例の垂直磁気記録媒体は、記録層以外の構成要素に関して実施例2と全く同じ材料を用いて同じプロセス条件で作製した。サンプル2Pは第1記録層を形成する際の酸素ガス流量比を11.7%とした以外はサンプル2Aと同じ材料を同じ条件で形成した。サンプル2Qは第1記録層を形成せず、第2記録層と第3記録層はサンプル2Aと同じ材料を同じ条件で形成した。

【0046】

サンプル2Rは、第1記録層としてCo-38at%Cr-4at%Pt合金に7mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比0%の条件において厚さ3nmの膜を形成し、第2記録層としてサンプル2Aと同じ材料を同じ条件で形成し、第3記録層は形成しなかった。サンプル2Sは第1記録層を形成せず、第2記録層としてCo-21at%Cr-20at%Pt合金に7mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比13.3%の条件において厚さ14nmの膜を形成し第3記録層は形成しなかった。

【0047】

サンプル2Tは、第1記録層としてCo-38at%Cr-4at%Pt合金に2.5mol%のTa₂O₅を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比11.7%の条件において厚さ2nmの膜を形成し、第2記録層としてCo-19at%Cr-16at%Pt合金に2.5mol%のTa₂O₅を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比11.7%の条件において厚さ13nmの膜を形成し、第3記録層としてサンプル2Iと同じ材料を同じ条件で形成した。サンプル2Uは、第1記録層としてCo-38at%Cr-4at%Pt合金に2mol%のTa₂O₅を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比0%の条件において厚さ2nmの膜を形成し、第2記録層としてCo-15at%Cr-18at%Pt合金に2.5mol%のTa₂O₅を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比13.3%の条件において厚さ10nmの膜を形成し、第3記録層は形成しなかった。

【0048】

サンプル2Pとサンプル2Qについて、記録層の組成を実施例1と同様にエックス線光電子分光法を用いて求めた。実施例1と同様に、保護層のCが50at%以下となる深さから中間層のRuが50at%以上となる深さまでの範囲を記録層と判断して、記録層を構成する各元素の濃度変化を求めた。記録層の主要元素であるO, Si, Cr, Co, Ptのみに着目して、これらの元素の含有比率を計算した結果を図10、図11に示す。グラフの右端から中央へ向けて、すなわち、中間層との界面近傍において中間層との界面から保護層側へ向けて酸素濃度が低下しており、実施例2と酸素濃度の分布が異なっている。

【0049】

本比較例のサンプルに関して、組成分析により、記録層の中間層との界面近傍4nmの範囲、記録層の中央近傍4nmの範囲、及び保護層との界面近傍4nmの範囲における各々の酸素濃度(平均値)を求め、表5に示す。同様に記録層の各々の深さ範囲におけるクロム濃度(平均値)を求め、表6に示す。サンプル2P、サンプル2Q、サンプル2S、

10

20

30

40

50

サンプル 2 T に関しては、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より高く、サンプル 2 R、サンプル 2 S、サンプル 2 U に関しては、記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より高い。

【 0 0 5 0 】

クロム濃度に着目すると、記録層の中央近傍領域のクロム濃度に対して、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度と記録層の保護層との界面近傍領域のクロム濃度の両方が高い場合（サンプル 2 P とサンプル 2 T）、記録層の保護層との界面近傍領域のクロム濃度のみが高い場合（サンプル 2 Q）、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度のみが高い場合（サンプル 2 R とサンプル 2 U）、及び記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度と記録層の保護層との界面近傍領域のクロム濃度の両方が低い場合（サンプル 2 S）が含まれている。すなわち記録層のクロム濃度の分布に関してはすべての場合が含まれている。

10

【 0 0 5 1 】

表 5 にはこれらのサンプルについて実施したスクラッチ試験と S N R 評価の結果も示す。スクラッチ試験及び S N R 評価は実施例 1 と同じ方法で行った。実施例 2 に比べて明らかに深いスクラッチが観測された。グラニューラ型垂直磁気記録媒体の耐摺動特性は、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くし、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度を記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低くした場合のみ改善され、記録層のクロム濃度分布には依存しないことを確認できる。また、サンプル 2 P、サンプル 2 Q、サンプル 2 T の S N R は 2 0 d B より大きいが 2 2 d B より小さく、実施例 2 のサンプルの S N R には及ばない。記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度を低くした場合には、記録層の磁化反転磁界が低下することにより急峻なヘッド磁界勾配での記録が可能となり、2 0 d B より高い S N R が得られているが、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より高いために、記録層の中間層との界面近傍領域のクロム濃度を記録層の中央近傍領域のクロム濃度より高くしても 2 2 d B より高い S N R は得られなかった。

20

【 0 0 5 2 】

【表 5】

表5

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
2P	21.4	16.1	1.1	2.76	21.2
2Q	23.1	16.2	1.3	2.80	20.3
2R	6.7	15.8	16.2	3.14	12.5
2S	21.7	16.5	16.9	3.68	13.2
2T	18.2	14.2	2.1	2.67	21.2
2U	5.7	16.1	16.3	3.18	13.1

30

40

【 0 0 5 3 】

【表 6】

表6

サンプル 番号	クロム濃度 (at%)		
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍
2P	24.8	14.5	26.1
2Q	12.0	14.7	26.4
2R	33.4	14.4	14.0
2S	15.6	17.8	17.3
2T	32.2	18.7	20.1
2U	32.9	15.2	14.7

10

【0054】

実施例1と同様の磁気記憶装置に本比較例の垂直磁気記録媒体を組み込んだところ、1平方センチあたり37.2ギガビットに設定した場合には全てのサンプルについてエラーが多発して動作不能であったが、サンプル2P、サンプル2Q、サンプル2Tに関しては1平方センチあたり31.0ギガビットに設定した場合には動作を確認できた。これら3つのサンプルに関して、ヘッドのロード、アンロード及びシークを150万回繰り返す試験を実施したところ、ビットエラーが多発して結果的に動作不能となった。これを分解して媒体表面を観察したところ、いずれのサンプルにも数多くのスクラッチ痕が観察された。

20

【実施例3】

【0055】

本実施例では、実施例1に記載した特徴を有する垂直磁気記録媒体において、優れた耐摺動特性を維持しつつ、さらにより良い記録再生特性を得るための手段について説明する。その特徴は、記録層に隣接した中間層がルテニウムを主成分とする結晶粒と酸化物を主成分とする結晶粒界から構成されていることである。これは記録層の中間層との界面近傍領域における偏析構造の形成を助ける手段である。

30

【0056】

図12は、本実施例の垂直磁気記録媒体の断面を模式的に表した図である。本実施例の垂直磁気記録媒体は実施例1と同じスパッタリング装置を用いて同様の条件で作製した。基板120の上に密着層121、軟磁性下地層122、シード層123、第1中間層124、第2中間層125、第3中間層126、第1記録層127、第2記録層128、第3記録層129、保護層130を順次積層した。

【0057】

基板120としては厚さ0.635mm、直径65mmのガラス基板を用い、密着層121としては厚さ10nmのAl-50at%Ti合金膜を形成し、軟磁性下地層122としては厚さ15nmのFe-34at%Co-10at%Ta-5at%Zr合金膜を厚さ0.5nmのRu膜を介して2層積層した構造の膜を形成した。シード層123としては厚さ2nmのNi-37.5at%Ta合金膜を形成し、第1中間層124としては厚さ8nmのNi-6at%Cr合金膜を形成した。ここまでの膜形成プロセスはすべてスパッタガスとしてアルゴンを用い、ガス圧1Paでスパッタリングを行った。次に第2中間層125として厚さ12nmのRu膜を形成した。Ru膜に関してはガス圧1Paで厚さ6nmの膜を形成した後に、ガス圧4Paで厚さ4nmの膜を積層した。第3中間層126としてRuに酸化物を加えたグラニュー膜を形成した。第2中間層及び第3中間層の形成にはスパッタガスとしてアルゴンを用いた。記録層は3層の積層構造とし、第1

40

50

記録層 1 2 7 及び第 2 記録層 1 2 8 はアルゴンガスとアルゴンに 1 0 % の酸素を混合したガスの 2 種類を用いてガス圧 5 P a の条件で形成し、第 3 記録層 1 2 9 はアルゴンガスのみを用いてガス圧 1 P a の条件で形成した。アルゴン酸素ガス流量比をプロセスの途中で変化させて、記録層の酸素濃度を变化させた。保護層 1 3 0 は、カーボンターゲットを用いて、ガス圧 0 . 6 P a のアルゴンに 0 . 0 5 P a の窒素を加えた混合ガス中でスパッタリングを行って形成した。保護層の厚さは 4 n m とした。また、保護層表面に厚さ 1 n m の潤滑膜を塗布した。

【 0 0 5 8 】

サンプル 3 A は、第 3 中間層として R u に 4 m o l % の S i O₂ を添加したターゲットを用いて厚さ 2 n m のグラニューラ膜を形成し、第 1 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 7 m o l % の S i O₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 3 . 3 % の条件において厚さ 2 n m の膜を形成し、第 2 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 7 m o l % の S i O₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 1 1 . 7 % の条件において厚さ 1 2 n m の膜を形成し、第 3 記録層として C o - 2 6 a t % C r - 8 a t % P t - 4 a t % B 合金ターゲットを用いて厚さ 6 n m の膜を形成した。

10

【 0 0 5 9 】

サンプル 3 B は、第 3 中間層として R u に 4 m o l % の T i O₂ を添加したターゲットを用いて厚さ 2 n m のグラニューラ膜を形成し、第 1 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 7 m o l % の T i O₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 3 . 3 % の条件において厚さ 2 n m の膜を形成し、第 2 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 7 m o l % の T i O₂ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 8 . 3 % の条件において厚さ 1 2 n m の膜を形成し、第 3 記録層として C o - 2 6 a t % C r - 8 a t % P t - 4 a t % B 合金ターゲットを用いて厚さ 6 n m の膜を形成した。

20

【 0 0 6 0 】

サンプル 3 C は、第 3 中間層として R u に 1 . 5 m o l % の T a₂O₅ を添加したターゲットを用いて厚さ 2 n m のグラニューラ膜を形成し、第 1 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 2 . 5 m o l % の T a₂O₅ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 3 . 3 % の条件において厚さ 2 n m の膜を形成し、第 2 記録層として C o - 2 0 a t % C r - 1 8 a t % P t 合金に 2 . 5 m o l % の T a₂O₅ を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比 1 1 . 7 % の条件において厚さ 1 2 n m の膜を形成し、第 3 記録層として C o - 2 6 a t % C r - 8 a t % P t - 4 a t % B 合金ターゲットを用いて厚さ 6 n m の膜を形成した。

30

【 0 0 6 1 】

本実施例のサンプルに関して、組成分析により、記録層の中間層との界面近傍 4 n m の範囲、記録層の中央近傍 4 n m の範囲、及び保護層との界面近傍 4 n m の範囲における各々の酸素濃度（平均値）を求め、表 7 に示す。本実施例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことを確認できる。表 7 にはこれらのサンプルについて実施したスクラッチ試験と S N R 評価の結果も示す。スクラッチ試験及び S N R 評価は実施例 1 と同じ方法で行った。本実施例のサンプルに関して、スクラッチ深さを 1 . 5 n m より小さく抑えることができおり、優れた耐摺動特性を有していることが確認できる。また、S N R はすべて 2 2 d B より大きく、優れた記録再生特性を有している。

40

【 0 0 6 2 】

【表 7】

表7

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
3A	7.8	14.9	1.9	1.39	22.6
3B	8.2	12.3	1.8	1.17	22.8
3C	8.3	15.2	2.1	1.33	22.9

10

【0063】

本実施例の垂直磁気記録媒体を磁気記憶装置に組み込んで、ヘッド浮上量 8 nm、1 cm 当たりの線記録密度を 472400 ビット、1 cm 当たりのトラック密度を 78740 トラックとすることによって、1 平方センチあたり 37.2 ギガビットでの動作を確認できた。さらに、ヘッドのロード、アンロード及びシークを 150 万回繰り返した後のビットエラー数は 1 面当たり 10 個以下であった。本発明により、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を得ることができた。

【0064】

本実施例は、基板、下地層、中間層、あるいは記録層の少なくともひとつに加工が施され、記録層がディスク面内で周期的に区切られて不連続な構造となっている、いわゆるディスクリット・トラック媒体あるいはパターン媒体にも適用可能であり、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができる。これらの媒体はむしろ、記録層がディスク面内で区切られて不連続な構造になっているために、耐摺動特性改善の必要性が高く、本発明が耐摺動特性改善に果たす役割は大きい。

20

【0065】

[比較例 3]

本比較例の垂直磁気記録媒体は、記録層以外の構成要素に関して実施例 3 と全く同じ材料を用いて同じプロセス条件で作製した。記録層に関しては、第 1 記録層形成時のアルゴン酸素ガス流量比をサンプル 3 P は 11.7%、サンプル 3 Q は 8.3%、サンプル 3 R は 11.7% とした。それ以外の記録層作製条件及び用いた材料は、サンプル 3 P はサンプル 3 A と、サンプル 3 Q はサンプル 3 B と、サンプル 3 R はサンプル 3 C とそれぞれ同じとした。

30

【0066】

本比較例のサンプルに関して、組成分析により、記録層の中間層との界面近傍 4 nm の範囲、記録層の中央近傍 4 nm の範囲、及び保護層との界面近傍 4 nm の範囲における各々の酸素濃度(平均値)を求め、表 8 に示す。本比較例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より高い。表 8 にはこれらのサンプルについて実施したスクラッチ試験と SNR 評価の結果も示す。スクラッチ試験及び SNR 評価は実施例 1 と同じ方法で行った。本比較例のサンプルはすべてスクラッチ深さが 2.5 nm より大きく、耐摺動特性に問題がある。また、SNR はすべて 20 dB より大きい、22 dB には及ばない。

40

【0067】

【表 8】

表8

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
3P	15.2	14.8	1.7	2.70	20.7
3Q	15.1	12.1	1.8	2.52	20.0
3R	15.7	15.4	1.9	2.76	21.0

10

【0068】

実施例1と同様の磁気記憶装置に本比較例の垂直磁気記録媒体を組み込んだところ、1平方センチあたり37.2ギガビットに設定した場合にはエラーが多発して動作不能であったが、1平方センチあたり31.0ギガビットに設定した場合には動作を確認することができた。これらのサンプルに関して、ヘッドのロード、アンロード及びシークを150万回繰り返す試験を実施したところ、ビットエラーが多発して結果的に動作不能となった。これを分解して媒体表面を観察したところ、いずれのサンプルにも数多くのスクラッチ痕が観察された。

20

【実施例4】

【0069】

本実施例では、実施例1に記載した特徴を有する垂直磁気記録媒体において、優れた耐摺動特性を維持しつつ、さらにより良い記録再生特性を得るための手段について説明する。その特徴は、記録層がプラチナを含み、記録層のプラチナ濃度が膜厚方向に変化しており、記録層の中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低く、中間層との界面近傍領域と記録層の中央近傍領域の間に非磁性層が形成されていることである。これは中間層との界面近傍領域の酸素濃度が低いことを利用して、その領域をプラチナ濃度が低く磁気異方性の小さな材料からなる磁化反転アシスト層とする手段である。この場合には、その上部の主記録層との間に薄い非磁性層を形成して層間の磁氣的結合を適度に弱めることにより、磁化反転のアシスト効果が強まる。

30

【0070】

図13は、本実施例の垂直磁気記録媒体の断面を模式的に表した図である。本実施例の垂直磁気記録媒体は実施例1と同じスパッタリング装置を用いて同様の条件で作製した。基板131の上に密着層132、軟磁性下地層133、シード層134、第1中間層135、第2中間層136、第1記録層137、非磁性層138、第2記録層139、第3記録層140、保護層141を順次積層した。

【0071】

基板131、密着層132、軟磁性下地層133、シード層134、第1中間層135、第2中間層136はすべて実施例2と同じ材料を同じ条件で形成した。記録層は4層の積層構造とし、第1記録層137及び第2記録層139はガス圧5Paの条件で形成し、非磁性層138及び第3記録層140はガス圧1Paの条件で形成した。第1記録層、非磁性層、及び第3記録層の形成にはスパッタガスとしてアルゴンのみを用い、第2記録層の形成にはスパッタガスとしてアルゴンとアルゴンに10%の酸素を混合させたガスの2種類を用いた。保護層141は、カーボンターゲットを用いて、ガス圧0.6Paのアルゴンに0.05Paの窒素を加えた混合ガス中でスパッタリングを行って形成した。保護層の厚さは4nmとした。また、保護層表面に厚さ1nmの潤滑膜を塗布した。

40

【0072】

サンプル4Aは、第1記録層としてCo-11at%Cr-4at%Pt合金に5mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いて厚さ6nmの膜を形成し、非磁性層として

50

Co - 40 at% Ru - 20 at% Cr合金ターゲットを用いて厚さ0.8 nmの膜を形成し、第2記録層としてCo - 15 at% Cr - 20 at% Pt合金に7 mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比11.7%の条件において厚さ10 nmの膜を形成し、第3記録層としてCo - 26 at% Cr - 6 at% Pt - 6 at% B合金ターゲットを用いて厚さ3 nmの膜を形成した。

【0073】

サンプル4Bは、第1記録層としてCo - 7 at% Cr合金に5 mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いて厚さ4 nmの膜を形成し、非磁性層としてCo - 50 at% Ru合金ターゲットを用いて厚さ1.0 nmの膜を形成し、第2記録層としてCo - 13 at% Cr - 18 at% Pt合金に8 mol%のSiO₂を添加したターゲットを用いてアルゴン酸素ガス流量比11.7%の条件において厚さ8 nmの膜を形成し、第3記録層としてCo - 28 at% Cr - 6 at% Pt合金ターゲットを用いて厚さ2 nmの膜を形成した上にさらにCo - 19 at% Cr - 8 at% Pt - 4 at% B合金ターゲットを用いて厚さ2 nmの膜を積層した。

10

【0074】

本実施例のサンプルに関して、組成分析により、記録層の中間層との界面近傍4 nmの範囲、記録層の中央近傍4 nmの範囲、及び保護層との界面近傍4 nmの範囲における各々の酸素濃度(平均値)を求め、表9に示す。同様に記録層の各々の深さ範囲におけるプラチナ濃度(平均値)を求め、表10に示す。本実施例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低く、かつ記録層の保護層との界面近傍領域の酸素濃度が記録層の中央近傍領域の酸素濃度より低いことがわかる。また、本実施例のサンプル全てに関して、記録層の中間層との界面近傍領域のプラチナ濃度が記録層の中央近傍領域のプラチナ濃度より低いことがわかる。表9にはこれらのサンプルについて実施したスクラッチ試験とSNR評価の結果も示す。スクラッチ試験及びSNR評価は実施例1と同じ方法で行った。本実施例のサンプルはすべてスクラッチ深さを1.5 nmより小さく抑えることができ、優れた耐摺動特性を有している。また、SNRはすべて23 dBより大きく、非常に優れた記録再生特性を有している。

20

【0075】

【表9】

30

表9

サンプル 番号	酸素濃度 (at%)			スクラッチ 深さ (nm)	SNR (dB)
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍		
4A	6	15.2	2.3	1.32	23.5
4B	6.3	15.4	2.4	1.35	23.4

40

【0076】

【表 10】

表10

サンプル 番号	プラチナ濃度 (at%)		
	中間層 界面近傍	記録層 中央	保護層 界面近傍
4A	4.7	21.2	7.0
4B	0.0	18.9	8.1

10

【0077】

本実施例の垂直磁気記録媒体を磁気記憶装置に組み込んで、ヘッド浮上量 8 nm、1 cm 当たりの線記録密度を 472400 ビット、1 cm 当たりのトラック密度を 78740 トラックとすることによって、1 平方センチあたり 37.2 ギガビットでの動作を確認できた。さらに、ヘッドのロード、アンロード及びシークを 150 万回繰り返した後のビットエラー数は 1 面当たり 10 個以下であった。本発明により、信頼性が高く、高密度記録が可能な磁気記憶装置を得ることができた。

【0078】

本実施例は、基板、下地層、中間層、あるいは記録層の少なくともひとつに加工が施され、記録層がディスク面内で周期的に区切られて不連続な構造となっている、いわゆるディスクリット・トラック媒体あるいはパターン媒体にも適用可能であり、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができる。これらの媒体はむしろ、記録層がディスク面内で区切られて不連続な構造になっているために、耐摺動特性改善の必要性が高く、本発明が耐摺動特性改善に果たす役割は大きい。

20

【産業上の利用可能性】

【0079】

本発明によれば、垂直磁気記録媒体に関して、良好な記録再生特性を確保しつつ、耐摺動特性を向上させることができるので、本発明の垂直磁気記録媒体は高い信頼性が要求される磁気ディスク装置に適用できる。例えばモバイル機器に利用可能な小型で大容量の磁気ディスク装置に適している。

30

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図 1】本発明の実施例 1 に記載した垂直磁気記録媒体の層構成を示す模式図。

【図 2】本発明の実施例 1 に記載したサンプル 1 A の組成分布図。

【図 3】本発明の実施例 1 に記載したサンプル 1 A の記録層の組成分布図。

【図 4】磁気記憶装置の模式図であり、(a) は平面図、(b) は断面図。

【図 5】本発明の比較例 1 に記載したサンプル 1 P の記録層の組成分布図。

【図 6】本発明の比較例 1 に記載したサンプル 1 Q の記録層の組成分布図。

【図 7】本発明の比較例 1 に記載したサンプル 1 R の記録層の組成分布図。

40

【図 8】本発明の実施例 2 に記載した垂直磁気記録媒体の層構成を示す模式図。

【図 9】本発明の実施例 2 に記載したサンプル 2 A の記録層の組成分布図。

【図 10】本発明の比較例 2 に記載したサンプル 2 P の記録層の組成分布図。

【図 11】本発明の比較例 2 に記載したサンプル 2 Q の記録層の組成分布図。

【図 12】本発明の実施例 3 に記載した垂直磁気記録媒体の層構成を示す模式図。

【図 13】本発明の実施例 4 に記載した垂直磁気記録媒体の層構成を示す模式図。

【符号の説明】

【0081】

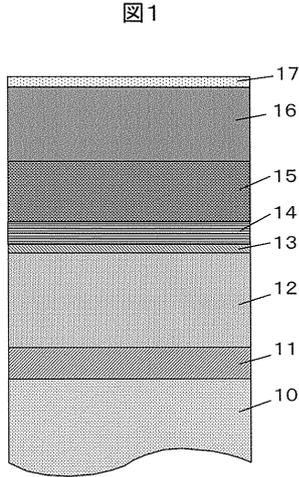
10 基板

11 密着層

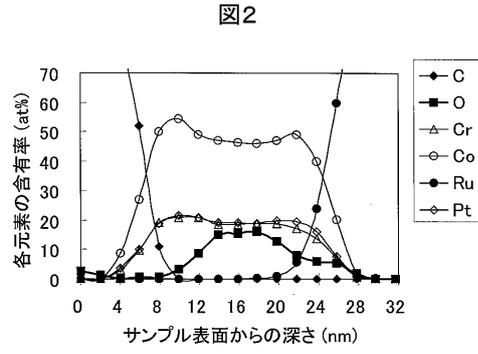
50

1 2	軟磁性下地層	
1 3	シード層	
1 4	第 1 中間層	
1 5	第 2 中間層	
1 6	記録層	
1 7	保護層	
4 0	磁気記録媒体	
4 1	磁気記録媒体を回転させる駆動部	
4 2	磁気ヘッド	
4 3	磁気ヘッドの駆動部	10
4 4	磁気ヘッドへの信号の入出力を行うための手段	
8 0	基板	
8 1	密着層	
8 2	軟磁性下地層	
8 3	シード層	
8 4	第 1 中間層	
8 5	第 2 中間層	
8 6	第 1 記録層	
8 7	第 2 記録層	
8 8	第 3 記録層	20
8 9	保護層	
1 2 0	基板	
1 2 1	密着層	
1 2 2	軟磁性下地層	
1 2 3	シード層	
1 2 4	第 1 中間層	
1 2 5	第 2 中間層	
1 2 6	第 3 中間層	
1 2 7	第 1 記録層	
1 2 8	第 2 記録層	30
1 2 9	第 3 記録層	
1 3 0	保護層	
1 3 1	基板	
1 3 2	密着層	
1 3 3	軟磁性下地層	
1 3 4	シード層	
1 3 5	第 1 中間層	
1 3 6	第 2 中間層	
1 3 7	第 1 記録層	
1 3 8	非磁性層	40
1 3 9	第 2 記録層	
1 4 0	第 3 記録層	
1 4 1	保護層	

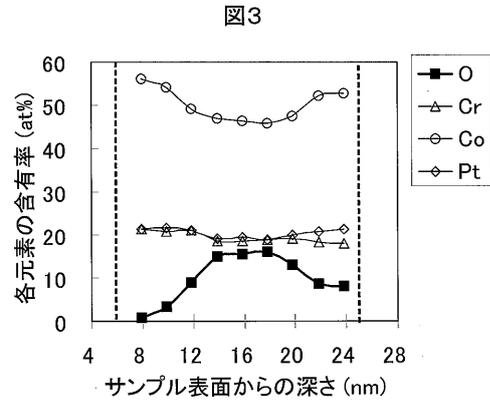
【 図 1 】



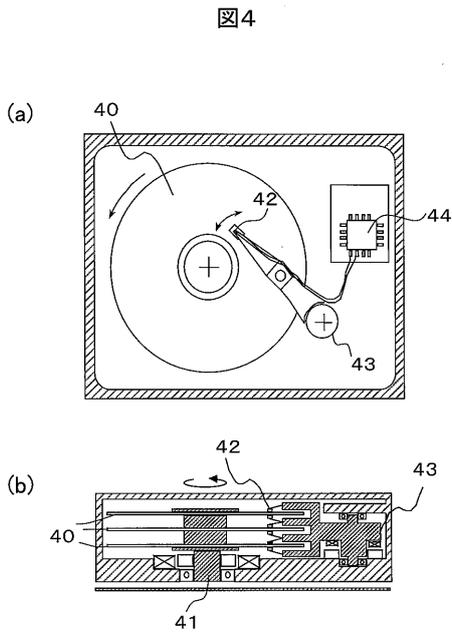
【 図 2 】



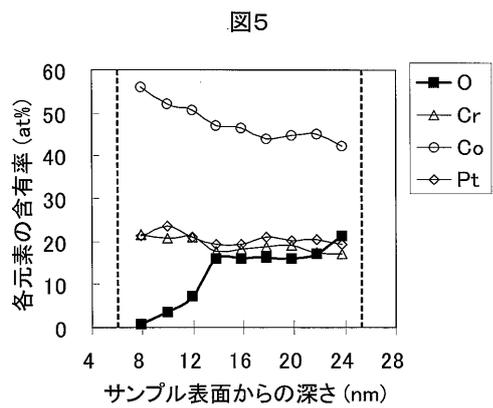
【 図 3 】



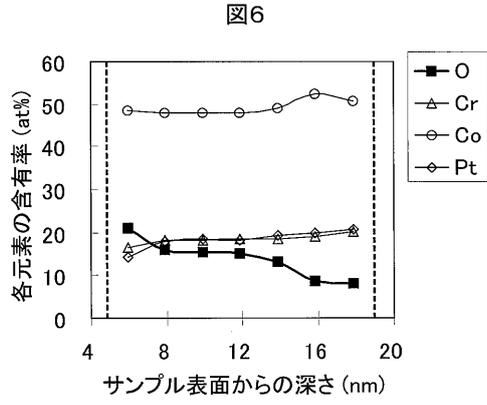
【 図 4 】



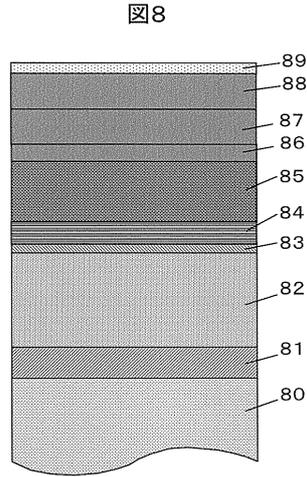
【 図 5 】



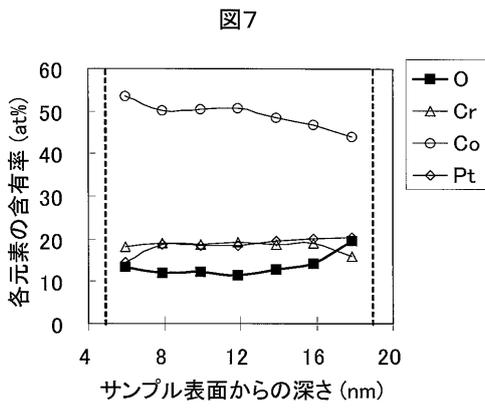
【 図 6 】



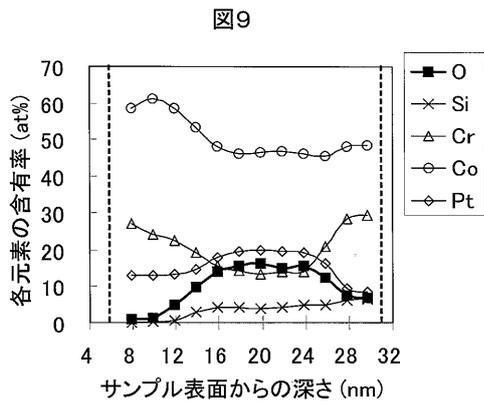
【 図 8 】



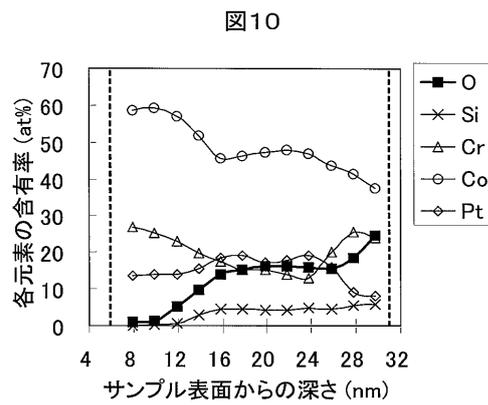
【 図 7 】



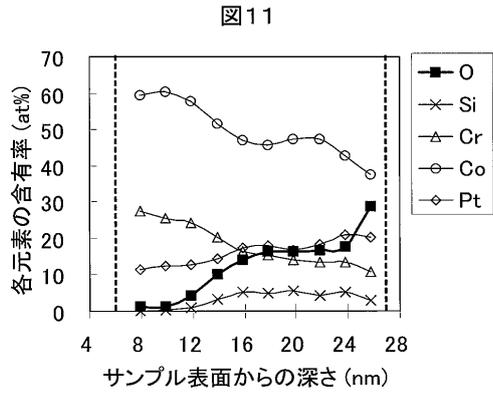
【 図 9 】



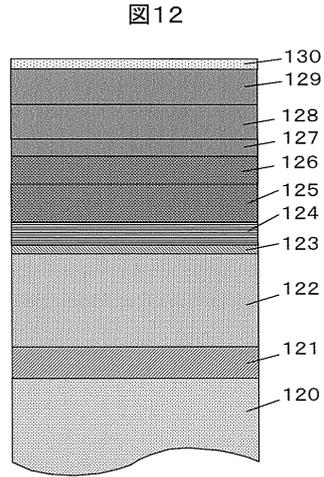
【 図 10 】



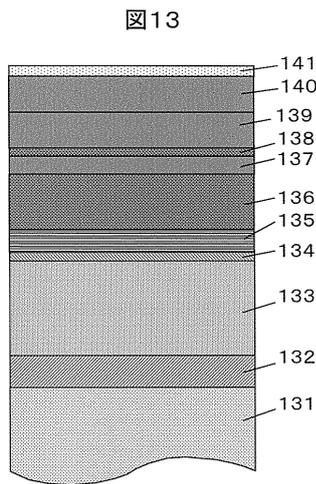
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 玉井 一郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

(72)発明者 荒井 礼子

神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ内

Fターム(参考) 5D006 BB02 BB06 BB07 CA01 DA03 DA08