MR ヘッドに対応した垂直磁気記録媒体

Perpendicular Magnetic Recording Medium Optimized for an MR Head

池田圭宏、園部義明、内田 博、豊岡孝資

日本 I B M 東京基礎研究所

Y. Ikeda, Y. Sonobe, H. Uchida, and T. Toyooka

IBM Research, Tokyo Research Laboratory, IBM Japan

Abstract- We optimized a perpendicular magnetic recording medium for use with a merged MR head designed for longitudinal media. The dual-layer perpendicular medium with a low-Hc underlayer, has problems in write operation and MR bias current dependence of signal distortion. The single-layer Co-Cr perpendicular medium has similar MR bias current dependence of the signal amplitude and the signal distortion to the longitudinal medium. The Cr content increase from conventional 22% to 28 % results the signal to noise ratio increase. The Ti underlayer contributes to increase the recording resolution but not to decrease the medium noise. The Cr-rich Co-Cr perpendicular medium with large thickness and low Ms value is expected to be used with the future high-sensitivity MR head for realizing high-density recording of more than 10 Gbits/inch².

1. はじめに

ハードディスクの面密度は年率 60%の割合で増加している。これには、MR ヘッドの技術が大きく貢献している。近い将来、大容量ハードディスクで使われるヘッドの大半が MR ヘッドとなり、その感度もスピナルブなどの採用により大幅に向上すると予想される。

一方、垂直磁気記録方式は、インダクティブヘッドと組み合わせて 600 kFCI 以上の線記録密度の可能性が示されている[1]。垂直磁気記録方式のハードディスクを実用化する上で、面内記録用の MR ヘッドをそのまま使えば、容易に開発が進められると考えられる。

我々は、現在の面内記録用 MR ヘッドに適した垂直媒体の検討を進めている。本報告では、これまでに我々が検討してきた二層膜、単層膜、Cr-rich 単層膜 [2-4] などの垂直媒体と面内記録用 MR ヘッドとを組み合わせた系の特性を比較検討した結果について報告する。また垂直媒体が面内媒体に対して、どのようなメリットがあるかについても論じる。

2. 実験方法

実験に用いた二層膜垂直媒体は、 $H_{c\perp}$: 2070 Oe、 M_s : 370 emu/cc、膜厚: 90 nm の記録層を持つ CoCrTa/FeNi 媒体である。単層膜媒体は Co-Cr 膜を対向ターゲット式スパッタ装置によって、2.5 インチ・ガラスディスク基板上に直接または、結晶配向度制御のための Ti 下地層を形成した上に作製した。成膜時の基板温度は 200°C である。合金ターゲットの組成比を変えて、Cr 量が 15-30at.% の媒体を作製した。ディスクの円周方向の均一性を得るため、基板を 30 rpm で自転させながら成膜を行った。カーボン保護膜 22 nm を形成し、潤滑剤を 1 nm 塗布した後、記録再生特性を測定した。比較のために用いた面内媒体の $H_{c//}$ は 1900 Oe、 M_{rt} は 0.9 memu/cm² である。測定に用いたヘッドは、Read トラック幅 2.5 μ m、シールドギャップ長 0.3 μ m、Write トラック幅 3 μ m、Write ギャップ長 0.6 μ m のマージ型 MR ヘッドである。測定は線速度 8.29 m/s、ヘッド浮上量約 40 nm で行った。S/N 比は、その記録密度時の信号の大きさ(V_{p-p})を 40 MHz のバンド幅で積分したノイズ(V_{rms})で割って求めた。ノイズ評価には、その積分値を

Fig. 1 二層膜媒体の記録密度特性

Isolate Pulse の大きさ(V_{o-p})で規格化した値を用いた。膜の粒子間の磁氣的相互作用 ΔM を VSM を用いて測定した。X 線回折装置、および TEM を用いて膜の結晶配向度および平均粒径を測定した。

3. 実験結果および考察

3-1. 二層膜

MR バイアス電流 3 mA と 7.5 mA を用いて、垂直二層膜媒体の線記録密度特性を評価した。この結果をバイアス電流 7.5 mA の面内媒体の特性と合わせて Fig. 1 に示す。垂直媒体の低線密度域での出力は、7.5 mA で面内媒体の 2 倍以上、3 mA で同程度の値となった。 D_{50} は面内媒体の 98 kFCI に対して 80 kFCI と低かった。線記録密度が低い原因を検討するために、主磁極厚 0.5 μm の単磁極型薄膜ヘッドを用いて書き込みを行い、MR ヘッドで読み出しを行って評価した。この結果、高密度において出力改善が見られ、98 kFCI の D_{50} が得られた。記録ポール長が 4.25 μm から 0.5 μm と小さくなったこと、および書き込み時の面内磁界成分の減少などが原因と考えられる。線記録密度の向上にはマージ型 MR ヘッドの記録部の改良が必要である。一方、Overwrite 特性は面内媒体の約半分の記録電流で -50 dB の高い値が得られた。この Overwrite 特性と高い出力が、二層膜を用いたときのメリットである。

Fig. 2 各媒体の MR バイアス電流に対する規格化出力の依存性

Fig.3 単層膜媒体の記録密度特性

3-2. 単層膜

Fig. 2 に単層膜媒体の MR バイアス電流に対する規格化出力と歪み率の依存性を示す。膜の Cr 量は 22% である。比較のため二層膜媒体および面内膜媒体の値も同時に示した。膜厚 300 nm の単層膜では、出力が面内膜の約 1.5 倍得られた。また、規格化出力のバイアス電流依存性は小さく面内膜の特性とよく似ている。二層膜のときバイアス電流依存性が大きいのは、磁束量が大きいため、MR 素子が飽和したことなどが考えられる。歪み率も電流の増加とともに減少し、9 mA で面内膜とほぼ同一の値が得られ

Fig. 4 記録ヘッドのトラック幅の違いによる MR 再生波形の変化

Fig. 5 出力およびノイズの膜厚依存性

た。これらの結果から、面内記録用に設計された MR ヘッドをそのまま単層膜に用いても良好な特性が期待できる。以後の単層膜の評価では、バイアス電流を 9.0 mA とした。

面内膜と膜厚 100, 300, 500 nm の垂直膜の線記録密度特性を測定した結果を Fig.3 に示す。 D_{50} はそれぞれ 115, 80, 100, 98 kFCI である。単層垂直膜では、面内膜の 2 倍から 10 倍の膜厚でも、かなり高密度まで記録再生ができる。ただし、膜厚 100 nm では、ガラス基板上に直接形成した際にできる約 30 nm 程度の初期成長層の影響が無視できなくなり、VSM およびトルク分析において、面内異方性が若干見られ、 H_k が約 2.5 kOe に減少している。このため、記録再生特性が悪くなっている。

Fig. 4 に膜厚 300 nm の媒体とマージ型 MR ヘッドを用いた場合の再生波形を示す。100 μ m

Fig. 6 出力およびノイズの Cr 量依存性

のトラック幅を持つ thin-film head で記録を行い、MR ヘッドで再生を行った場合の波形を併せて示した。Write トラック幅が 3 μ m のときにあったベースライン・シフトが、100 μ m 幅で書き込みを行ったときはほとんど見られない。これより、ベースライン・シフトは、トラック両サイドから回り込む磁束によって生じていると考えられる。

Fig. 5 に 10 kFCI 記録時の出力およびノイズの膜厚依存性を示す。ノイズは膜厚の増加とともに単調に増加しているが、出力は 300 nm 付近で飽和している。これは、現在実用化されている高密度の面内記録媒体の膜厚 30~50 nm と比べて約 10 倍の膜厚である。この出力飽和の原因は、書き込み時の不飽和によるものと、読み出し時における膜下面の磁荷の影響の緩和によるものが考えられる。

3-3. Cr 量増加による効果

前項で示したように、単層膜媒体では膜厚が大きくても高密度記録が可能である。また、膜厚を大きくすることにより、減磁界を低減し、記録磁化を安定化させる効果も期待される。面内媒体で線記録密度を上げるためには、逆に膜を薄くして減磁界を低減する必要がある。膜厚が 20 nm まで下がってくると、作製の歩留まりや膜厚均一性の問題が生じる。膜厚が大きくても高い記録密度が得られることは大きなメリットである。

Fig. 7 ΔM 曲線の最大傾斜量と媒体ノイズの関係

Fig. 8 媒体ノイズの膜厚依存性

膜厚の大きな垂直媒体を実用化する上での一つの課題は、媒体ノイズの低減である。我々はノイズ低減を目的として、膜厚 300 nm の比較的厚い Co-Cr 媒体の Cr 量を増加させてその記録再生特性を測定した。10 kFCI、70 kFCI 記録時の再生出力および 70 kFCI 記録時の S/N 比の Cr 量依存性を Fig. 6 に示す。再生出力は 22 at.% で最大値を示し、Cr 量をさらに増加させると出力は低下した。ところが、S/N 比は 22 at.% から Cr 量を増加させるとさらに向上し、28 at.% で最大値 31dB が得られた。MR ヘッドなどの高感度ヘッドを用いるときには、従来より 6 at.% 程度 Cr 量を増加させた媒体を用いる方が、S/N を改善できる。

面内媒体で用いられたノイズの分析手法の一つとして、粒子間の磁氣的相互作用 ΔM の評価がある。 ΔM の有効印加磁界に対する傾き

($d(\Delta M)/dH$) の最大値と媒体ノイズには相関がある。傾きの最大値が大きい場合には、粒子間の磁氣的相互作用が大きく、ノイズが大きくなる[5]。ところが、垂直媒体の場合には、Fig. 7 に示すように、70 kFCI 記録時のノイズは ($d(\Delta M)/dH$) の最大値が大きくなると小さくなる。これは ΔM が大きい Cr-rich 媒体では、粒子の膜面内の孤立化により、膜面に垂直方向の相互作用が相対的に大きくなり、一つのコラム内の磁化が同一方向にそろえられ、コラム一つが単粒子のようにふるまうためと考えられるが更なる考察が必要である。

膜厚およびそれに伴う粒径の変化がノイズに与える影響について調べた。70 kFCI 記録時のノイズを孤立再生波高で規格化した値、N/S 比の膜厚依存性を、Cr 22 at.% および 28 at.% の媒体について測定した。この結果を Fig. 8 に示す。300 nm より膜厚を薄くすると、N/S 比は、22 at.% より 28 at.% の方が低い。膜厚の薄い領域では Isolate Pulse の大きさも同時に小さくなるので、規格化ノイズに顕著な差は見られない。300 nm より厚い 22 at.% の媒体では膜厚に比例して N/S 比が増大している。これに対して 28 at.% では、膜厚による変化は極めて少ない。このことは、先に述べた、膜厚方向の単粒子化によって、膜厚が増加しても粒子数が増加しないことで説明づけられる。

TEM による観察からそれぞれの平均粒径を測定したところ、22 at.% および 28 at.% とともに膜厚に比例して粒径が大きくなっており、大きな差異は見られなかった。Cr-rich の媒体のノイズ発生メカニズムが、従来の媒体とは異なっていることを示唆している。

3-4. Ti 下地層による効果

垂直媒体の結晶配向性を向上させることにより、高い線記録密度を得られることが報告されている[6]。単層膜媒体に配向制御層として 25 nm の Ti 下地層を用いたときの D_{50} の媒体膜厚依存性を Fig. 9 に示す。図には、Cr 22% および Cr 28% の膜を Ti 下地層上に形成した場合と、ガラス基板上に直接形成した場合について示

Fig. 9 Ti 下地層の有無による D_{50} の膜厚依存性の違い

Fig. 10 結晶配向度と媒体ノイズの関係

した。Ti 下地層を用いた場合には、特に 200 nm 以下の媒体膜厚において D_{50} が向上している。この効果は、Cr 28% の媒体の方がより大きい。この効果は主に、低密度記録領域での絶対的出力が Cr 28% の薄い媒体で低下しているためであり、高密度領域での絶対的出力に膜厚による大きな違いは見られなかった。Ti 下地層は、200 nm 以下の薄い媒体で分解能を向上させる効果がある。200 nm 以上の膜厚では、ほとんど効果がみられない。

結晶配向度とノイズとの関係を調べるため、Ti 下地層を用いた膜と下地層の無い膜のノイズを Cr 22 at.% および 28 at.% について測定した。Fig. 10 にそれぞれの膜の結晶配向度 $\Delta\theta_{50}$ と 70k FCI 記録時のノイズとの関係を示す。22 at.% および 28 at.% の膜の両者とも、Ti 下地層を用いることにより、結晶配向度は向上しているが、ノイズは若干増加している。すなわち、結晶配

向度を向上することが必ずしも S/N 向上につながらない。Cr 22 at.% および 28 at.% の膜を用いて前述の ΔM 測定を行ったところ、Ti 下地層の有無に関わらず、ほぼ同じ $(d(\Delta M)/dH)_{\max}$ の値が得られた。このことから、媒体の S/N 比は結晶配向度よりも、磁性層の磁氣的相互作用に依存しているということができる。

4. まとめ

以上、面内記録用 MR ヘッドを様々な垂直媒体と組み合わせたときの特性について述べた。二層膜媒体は出力が大きい、実用化のためにはヘッドの大幅な変更が必要となる。単層膜は、面内膜に近い特性を示し、比較的厚い膜厚でも高線密度記録が可能である。Cr 量を従来の 22% から 28% 程度まで増加させることにより、膜厚の大きな媒体でもノイズを下げる事ができた。Ti 下地層は線記録密度向上には役立つが、ノイズ低下にはあまり効果がない。

面内磁気記録媒体では記録密度向上とノイズ低減のために、膜厚を 15 nm 程度まで下げる必要がある。このように薄い媒体をディスク全面に均一に形成し、かつ欠陥密度を下げるのは極めて困難になる。また、1 ビットの体積が減少し、熱的擾乱によるデータ消失の問題が発生するおそれがある。

垂直記録媒体が、これらの問題を解決する手段の一つになるためには、膜厚の大きい単層垂直媒体についてさらに検討を進める必要がある。Cr-rich Co-Cr 垂直媒体は、面内媒体を置き換える有望な候補の一つであると言える。

5. 参考文献

- [1] S. Yamamoto, Y. Nakamura, and S. Iwasaki, IEEE Trans. Magn. Vol.23-5, 2070(1987)
- [2] Y. Sonobe, Y. Ikeda, H. Uchida, and T. Toyooka, IEEE Trans. Magn., Vol. 31, No. 6, 2681(1995)
- [3] 池田圭宏、園部義明、内田 博、豊岡孝資、日本応用磁気学会誌 Vol. 19, suppl. No. S2, 126 (1995)
- [4] Y. Ikeda, Y. Sonobe, H. Uchida, and T.

Toyooka, IEEE Trans. Magn., to be published.
(INTERMAG96 CQ-3)

[5] K. O'Grady, R.W. Chantrell, and I. L. Sanders,
IEEE Trans. Magn., Vol. 29, No. 1 (1993) 286.

[6] M. Futamoto et al., IEEE Trans. Magn., Vol. 21
1426 (1985)