Cr 量増加による Co-Cr 単層垂直媒体の低ノイズ化

Low-Noise Co-Cr Perpendicular Medium with High Cr Content

池田圭宏・園部義明・内田 博・豊岡孝資・筒井長徳*

日本 IBM 東京基礎研究所, 神奈川県大和市下鶴間 1623-14 (☎242)

*(株)アイテス, 滋賀県野洲郡野州町大字市三宅 800 (☎520-23)

Y. Ikeda, Y. Sonobe, H. Uchida, T. Toyooka, and N. Tsutsui*

IBM Research, Tokyo Research Laboratory, IBM Japan, 1623-14 Shimotsuruma,
Yamato-shi, Kanagawa 242

*ITES Co., Ltd., 800, Ichimiyake, Yasu-cho, Yasu-gun, Shiga 520-23

We investigated the noise reduction mechanism of a Cr-rich $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ perpendicular magnetic recording medium. By increasing the Cr content from 22 at% to 28 at%, the signal-to-noise ratio at a recording density of 70 kFCI was increased from 25 dB to 31 dB. The medium noise was reduced more than the magnetic parameters, such as M_s and $H_{c\perp}$. When the average crystalline diameter of the media increases, the medium noise of the Cr 28 at% medium does not increase, whereas that of a Cr 22 at% medium increases. Analysis of a medium with a Ti underlayer shows that the $\Delta\theta_{50}$ does not have any significant effect on the medium noise. To analyze the noise of these media, we introduced $\Delta M_{\perp}$ measurement method that takes account of the demagnetization field. The $\Delta M_{\perp}$ value is related to the medium noise. The relation is different from that of longitudinal medium. Analysis of the minor loops showed that the Cr 28 at% medium has low noise due to its highly stable dc-erased state. MFM observation for 4- μm -wide dc-erased tracks confirmed the mechanism for smaller reversed magnetic domains in a Cr 28 at% medium than in a Cr 22 at% medium. This mechanism contributes to the low noise of the Cr-rich Co-Cr single-layer perpendicular medium.

Key words: Co-Cr films, medium noise, signal-to-noise ratio, ΔM measurement, magnetic force microscope, medium thickness, crystalline orientation

1. はじめに

MR ヘッドなどの技術の進歩により、磁気記録装置の記録密度は年率 60% の割合で増加している。我々は、垂直記録媒体と MR ヘッドを組み合わせた系が、磁気記録の高密度化に有用な技術の一つであることを報告した¹⁾。この系における問題点の一つは媒体ノイズが面内媒体より大きいことである。面内記録媒体のノイズについては、多くの研究^{2), 3)}により、低ノイズ化に必要な条件が解明されてきている。これに対して、垂直媒体でのノイズ低減方法については、具体的な研究が開始されたばかりであり、明確な指針が与えられているとは言えない。

我々は、Co-Cr 単層垂直媒体の Cr 量を従来より増加させることにより、MR ヘッドと組み合わせた系の S/N 比が向上することを示した⁴⁾。本研究では、従来の $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ (at%) 媒体と Cr 量を 6 at% 増加した $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ 媒体について静磁気特性、結

晶粒径、結晶配向度、および粒子間の磁氣的相互作用 $\Delta M_{\perp}$ などのパラメータがノイズに与える影響について調べた。この結果から Cr 量増加によるノイズ低減のメカニズムを明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

実験に用いた媒体は、対向ターゲット式スパッタ装置により、2.5 インチ・ガラスディスク基板上および、結晶配向度制御のための Ti 下地層 25 nm 上に作製した。膜作製時の基板温度は 200°C である。合金ターゲットの組成比を変えて、Cr 量が 22 および 28 at% 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。磁性膜の上にカーボン保護膜 22 nm を形成し、潤滑層 1 nm を塗布した。

記録再生特性の測定に用いたヘッドは、Read トラック幅 2.5 μm 、シールドギャップ幅 0.3 μm 、write トラック幅 3 μm 、write ギャップ幅 0.6 μm 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、それぞれの線記録密度における信号の大きさ (V_{pp}) を、40 MHz のバンド幅で積分したノイズ (V_{rms}) からシステムノイズを差し引いた値で割って求めた。このときのシステムノイズは MR バイアス電流を 0 としたときの値を用いた。ノイズ評価では、その値を Isolate Pulse の大きさ (V_{op}) で規格化した値を用いた。飽和磁化 M_s 、垂直方向の保磁力 $H_{c\perp}$ 、異方性磁界 H_k 、および $\Delta M_{\perp}$ は VSM を用いて測定した。また、X 線回折装置を用いて、Co hcp (002) ピークのロッキング・カーブを測定し、その半値幅 $\Delta\theta_{50}$ を求めた。膜の平均粒径は TEM 像中の任意の粒子 15 個の平均値から求めた。

3. M_s , $H_{c\perp}$, 結晶粒径, 結晶配向度とノイズの関係

3.1 媒体の M_s および $H_{c\perp}$ とノイズの関係

Table 1 に今回用いた $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ および $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ 媒体の M_s , H_c , H_k および $\Delta\theta_{50}$ を示す。ガラス基板上に形成した膜厚 300 nm の媒体について評価した。 M_s および $H_{c\perp}$ は Cr 量を 6 at% を増加させることにより、ほぼ半分の値になっている。一方、 H_k は若干増加している。また、 $\Delta\theta_{50}$ は 9.0° から 4.0° に減少している。

この二つの媒体と MR ヘッドを用いて評価したときの 70

Table 1. M_s , H_{c1} , H_k , and $\Delta\theta_{50}$ for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media with 300-nm thickness on glass substrate

Medium (at%)	M_s (emu/cc)	H_{c1} (Oe)	H_k (kOe)	$\Delta\theta_{50}$ (°)
$\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$	380	1620	5.5	9.0
$\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$	205	840	6.0	4.0

Fig. 1 Noise spectra for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media at a linear density of 70 kFCL.

kFCL 記録時の信号とノイズのスペクトラムを Fig. 1 に示す。Cr 22 at% 媒体の出力 $690 \mu\text{V}_{pp}$ に対し Cr 28 at% 媒体の出力は $350 \mu\text{V}_{pp}$ であった。出力は M_s および H_{c1} と同様に、約半分に低下 (-6 dB) している。これに対し、ノイズは波長全域について低下しており、に $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の波長を持つノイズ成分が約 12 dB 程度減少している。このため、S/N 比も Cr 量が 22 at% で 25 dB に対して 28 at% で 31 dB に向上した。このように 6 at% の Cr 量増加により出力が約 1/2 になるのに対し、ノイズは約 1/4 となる。これは、Cr-rich 媒体のノイズ低下のメカニズムが M_s や H_{c1} の低下などだけでは説明できないことを示している。

3.2 媒体の結晶粒径のノイズの関係

Co-Cr 垂直媒体の結晶粒径を微小化することにより、ノイズが低下することが報告されている⁵⁾。一般に媒体の膜厚を大きくすると粒径は増大し、これに伴いノイズも増大する。Cr-rich 媒体におけるノイズの結晶粒径依存性を調べるため、膜厚を変化させてノイズを測定した。Cr 22 at% 媒体および Cr 28 at% 媒体におけるノイズの膜厚依存性を Fig. 2 に示す。70 kFCL 記録時のノイズを孤立再生波の大きさ (V_{op}) で規格化した値を示した。Cr 22 at% 媒体では、膜厚の増加とともに媒体ノイズが増加しているのに対し、Cr 28 at% 媒体では、膜厚の増加に伴う顕著なノイズの増加は見られない。膜厚 100~200 nm で Cr 22 at% 媒体より規格化ノイズが大きいのは、ノイズの絶対量が小さく、それに含まれる MR ヘッド動作時に発生するノイズなどによる誤差が大きいと考えられる。この結果から、Cr 量増加によるノイズ低減効果は、膜厚が 300 nm 以上の比較の厚い媒体において有効であると言える。

一方、膜厚による結晶粒径の変化を調べるため、TEM を用いて、膜厚 100 nm と 300 nm の媒体について粒径を測定し

Fig. 2 Medium thickness dependence of the medium noise for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media.

Fig. 3 TEM images of $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media with thickness of 100 nm and 300 nm for grain-size analysis.

た。この結果を Fig. 3 に示す。Cr 22 at% および Cr 28 at% 媒体のいずれも、膜厚 100 nm で平均粒径が約 15 nm であったものが膜厚 300 nm では約 40 nm まで拡大しており、Cr 量による差はほとんど見られなかった。Cr 量増加による媒体の低ノイズ化が、結晶粒径の微小化によるものではないことを示している。

3.3 媒体の結晶配向性とノイズの関係

次に結晶配向性がノイズに与える影響を調べるため、Cr 22 at% および Cr 28 at% それぞれの媒体について、配向制御層として Ti 下地層を設けたときのノイズを測定した。Fig. 4 に $\Delta\theta_{50}$ とノイズの関係を示した。媒体膜厚は 300 nm である。どちらの媒体でも Ti 下地層により、 $\Delta\theta_{50}$ は減少しており、特に Cr 22 at% 媒体における減少が顕著である。ところが、ノイズに大きな変化は見られず、若干増加している程度である。Ti 下地層の上に形成した Cr 22 at% 媒体はガラス上に形成した Cr 28 at% とほぼ同等の $\Delta\theta_{50}$ の値を持ちながら、ノイズが大きく異なっている。これは、3.1 項で示した Cr 量増加による結晶配向度の向上が、ノイズ低減の要因ではないことを示している。

Fig. 4 $\Delta\theta_{50}$ dependence of the medium noise for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media.

Fig. 5 $\Delta M_{\perp}$ measurement method for perpendicular media that takes account of the demagnetization filed.

Fig. 6 Effect of the Ti underlayer on the $\Delta M_{\perp}$ curves.

4. $\Delta M_{\perp}$ とノイズ低減メカニズム

4.1 Co-Cr 垂直媒体の $\Delta M_{\perp}$ 測定

以上, Cr 量を増加した場合に Co-Cr 媒体の M_s および $H_{c\perp}$, 結晶粒径, 結晶配向度がノイズに与える影響について述べてきた。いずれのパラメータも Cr 28 at% 媒体のノイズ低減効果を説明することはできない。そこで我々は, 面内媒体のノイズ評価に広く用いられている³⁾, 粒子間の磁氣的相互作用 ΔM に注

目した。Co-Cr 垂直媒体は反磁界によって, MH ループが大きく傾いているため, 通常の面内媒体で用いられている ΔM 測定法をそのまま適用することはできない。今回用いた垂直方向の ΔM ($\Delta M_{\perp}$) の測定では, Fig. 5 に示すように反磁界の影響が残留磁化の測定時にもあることを考慮した。すなわち, $H_{c\perp}$ 付近のメジャーループの傾きを持ち, 原点を通過する直線 $M=H/N_d$ 上において, 実効磁界 H_{eff} が 0 になるとした⁶⁾。この直線上における, DC 消磁状態から逆方向に H_{eff} を加えて取り去ったときの規格化残留磁化 I_d と, AC 消磁状態から H_{eff} を加えて取り去ったときの規格化残留磁化 I_r を測定し, その値から Wohlfarth の関係式⁷⁾, $I_d=1-2I_r$ からのずれ $\Delta M_{\perp}=I_d-(1-2I_r)$ を計算した⁸⁾。

Cr 量を変化させた Co-Cr 媒体において, このようにして求めた $\Delta M_{\perp}$ と媒体ノイズの間には, 相関がある⁴⁾。この相関は, 面内媒体とは逆で, $\Delta M_{\perp}$ の値が大きいほどノイズが減少している。また, Ti 下地層の有無による, $\Delta M_{\perp}$ 曲線の変化を調べた。この結果を Fig. 6 に示す。媒体膜厚はいずれも 300 nm である。Cr 28 at% の媒体では, $\Delta M_{\perp}$ の値は大きく, Cr 22 at% では小さい。また, Ti 下地層の有無による大きな差は見られない。これは, Fig. 4 に示したノイズの変化と一致している。 $\Delta M_{\perp}$ を媒体ノイズの評価に用いる妥当性が検証されたと言える。

4.2 Cr 28 at% 媒体におけるノイズ低減のメカニズム

このように $\Delta M_{\perp}$ の値が, Co-Cr 単層垂直媒体のノイズと相関を持つ理由を考察した。 $\Delta M_{\perp}$ 測定では, DC 消磁状態と AC 消磁状態から出発してそれぞれの残留磁化を求め, その差を計算している。別の視点から見ると, 媒体の DC 消磁状態と AC 消磁状態の外部磁場に対する安定性の差を求めていると考えられる。つまり, 周囲の粒子が一方に磁化されているときに一粒子だけ反転させるのに必要な磁場が, 周囲がランダムに磁化しているときに一粒子だけ反転させるのに必要な磁場に比べて大きいとき, $\Delta M_{\perp}$ は正值となり, 小さいとき, 負値をとる。したがって $\Delta M_{\perp}$ の正值が大きいほど DC 消磁状態が安定であり, 粒子の磁化は一方にそりやすい。

これらは, Fig. 7 に示す残留磁化測定時のマイナーループの形からも推測できる。上段の I_d 測定時には, 第 1 小限でのマイナーループの傾きに大きな違いが見られる。正の傾きが大きい Cr 28 at% の媒体では, DC 消磁状態から若干の逆向き外部磁場を加えても DC 消磁状態に戻ろうとする傾向が強い。横軸にほぼ平行な Cr 22 at% 媒体では, 磁化の変化量が磁場を取り去った後も保持される。下段の I_r 測定時には, 初期磁化曲線の傾きに大きな違いが見られ, Cr 28 at% 媒体では, わずかの磁場で AC 消磁状態から磁化を持つ状態に移行している。一方, Cr 22 at% 媒体では, 大きな磁場を加えないと残留磁化を持つようにならず, AC 消磁状態が安定であることを示している。

DC 消磁状態での膜面内の磁化の分布状態を調べるために, 磁気力顕微鏡 (MFM) を用いて両媒体の観察を行った。結果を Fig. 8 に示す。媒体膜厚はいずれも 300 nm である。トラック幅 $4\mu\text{m}$ の write ヘッドを用い, 1 トラックごとに極性を反転させ, $4\mu\text{m}$ ピッチで DC 消磁を行った。 M_s による磁束量の違

Fig. 7 DC demagnetization remanence curves and isothermal remanence curves for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media.

いを補正するため、Cr 28 at% 媒体では、MFM の感度を倍にして示している。いずれの媒体においても、トラック中心付近の反磁界による総磁化量の減衰がみられる。図の左側の Cr 22 at% 媒体では、 $0.5\ \mu\text{m}$ 程度の反転領域を多く形成して総磁化量を減衰させている。この反転領域の大きさは、Fig. 1 に示したノイズの大きい領域の波長とほぼ一致する。一方、右側の Cr 28 at% 媒体においては、明瞭な反転領域は観測できず、トラック中心付近の磁化量全体を減衰させている。 $\Delta M_{\perp}$ 測定時のマイナーループの傾きはこのトラック中の逆磁化領域の安定性を示していると考えられる。つまり、反転した領域を持つ媒体は、外部磁界を取り去ってもその状態を保つのに対し、全体として磁化量を減衰させている媒体は、外部磁界を取り去ることにより、元の磁化を回復すると考えられる。これらの考察から、 $\Delta M_{\perp}$ が大きい媒体では、トラック中に逆磁化領域を形成しにくいとすることができる。これと、Cr 量増加による膜面内の磁氣的孤立化によって、逆磁化領域が減少し、ノイズが低減していると考えられる。この結果を磁氣的相互作用によって説明付けるには、さらなる検証が必要であるが、この $\Delta M_{\perp}$ 測定法は、低ノイズ垂直メディアを開発する上で、有力な手段となる。

5. ま と め

Cr 22 at% および Cr 28 at% の Co-Cr 単層垂直媒体の M_s , $H_{c\perp}$, 結晶粒径, 結晶配向度, $\Delta M_{\perp}$ などの諸特性がノイズに与

Fig. 8 MFM images for $4\text{-}\mu\text{m}$ -wide dc-erased tracks for $\text{Co}_{78}\text{Cr}_{22}$ and $\text{Co}_{72}\text{Cr}_{28}$ media.

える影響について検討した。Cr 量増加によるノイズの低下は M_s , $H_{c\perp}$ の低下より大きい。また、Cr 28 at% 媒体では、膜厚の増加に伴う粒径の増加によるノイズの増加がみられない。Ti 下地層付き媒体の測定から、結晶配向度の向上がノイズ低減の原因ではないことがわかった。反磁界を考慮した $\Delta M_{\perp}$ 測定法を Co-Cr 媒体のノイズ評価に用いた。 $\Delta M_{\perp}$ の値は媒体ノイズと相関を持ち、その関係は面内媒体の場合と逆で、ノイズが小さい媒体ほど $\Delta M_{\perp}$ の値は大きい。マイナーループおよび MFM 測定の結果から、Cr 28 at% 媒体では、トラック中の逆磁化領域が形成されにくく、DC 消磁状態が安定であるため、ノイズが低減されていると考えられる。また、DC 消磁状態の安定性を表すパラメータである $\Delta M_{\perp}$ はノイズ評価に有用である。高感度 MR ヘッドを用いた垂直記録の実用化のためには、これらの知見をもとにさらなる低ノイズ媒体の開発が重要である。

文 献

- 1) 池田圭宏, 園部義明, 内田 博, 豊岡孝資: 日本応用磁気学会誌, **19** (Suppl. No. S2), 126 (1995).
- 2) M. F. Doerner, T. Yogi, and D. S. Parker: *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 3667 (1993).
- 3) K. O'Grady, R. W. Chantrell, and I. L. Sanders: *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 286 (1993).
- 4) Y. Ikeda, Y. Sonobe, H. Uchida, and T. Toyooka: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3828 (1996).
- 5) 平山義幸, 二本正昭: 日本応用磁気学会誌, **19** (Suppl. No. S2), 14 (1995).
- 6) I. Tagawa and Y. Nakamura: *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 3981 (1993).
- 7) E. P. Wohlfarth: *J. Appl. Phys.*, **29**, 595 (1958).
- 8) P. E. Kelly, K. O'Grady, P. I. Mayo, and R. W. Chantrell: *IEEE Trans. Magn.*, **25**, 3881 (1989).

1996 年 10 月 16 日受理, 1997 年 1 月 16 日採録)