MIG ヘッドによるハードディスク垂直磁気記録媒体の記録再生特性

Recording Characteristics of Perpendicular Hard Disk Media Measured by MIG Head

小野寺誠一・大内一弘・中村慶久・岩崎俊一*

東北大学電気通信研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (〒980)

*東北工業大学, 仙台市太白区八木山香澄町 35-1 (〒982)

S. Onodera, K. Ouchi, Y. Nakamura and S. Iwasaki*

Res. Inst. of Electrical Communication, Tohoku Univ., 1-1, Katahira 2-chome, Aoba-ku, Sendai 980

*Tohoku Inst. of Tech., 35-1, Yagiyama Kasumi-cho, Taihaku-ku, Sendai 980

Recording and reproducing characteristics of a Co-Cr perpendicular magnetic hard disk with a thin Fe-Co back layer were investigated by non-flying type MIG head. The Co-Cr/Fe-Co composite media were made by R.F. sputtering on glass substrate with Cr underlayer. Results show that a reproduced isolated pulse of the medium has a single peak with a large amplitude. The head gap length was a dominant factor to the upper limit of the recording density. Using a MIG head whose gap length is $0.15\mu\text{m}$, D_{50} of 120 kFRPI and normalized output of $95\text{ nV}_{0-p}/\mu\text{m}\cdot\text{turn}\cdot\text{m/s}$ can be achieved. Furthermore, when the thickness of Co-Cr layers was increased, the output voltage became larger, but Over-Write characteristics deteriorated.

Key words: perpendicular magnetic recording, hard disk, ring head, MIG head, non-flying head, Co-Cr/Fe-Co composite media

1. はじめに

リングヘッドと単層の Co-Cr 垂直磁化媒体による準垂直磁気記録は、高い再生感度を得られ、媒体の構成が簡単であることから多くの研究がなされている^{1)~3)}。しかし、再生波形がダイパルスあり、また、リングヘッドの磁界の垂直成分が、単磁極ヘッドに比べて小さく、かつ分布も大きいと、例えばスペーシングが大きなハードディスクへの応用については、十分な記録特性が得られなかった。一方、Co-Cr 層の裏打ちに薄い Ni-Fe などを成膜することによって、再生出力が大きくなるという報告もある^{4), 5)}。これに対し筆者らは、Co-Cr 層の裏側に約 $100\text{\AA}$ の薄い Fe-Co 層を設けることにより、記録時に、Co-Cr 層内の反磁界が低減され大きな残留磁化を形成し、再生出力が増加すること、また、再生波形も単峰性になることを確認している⁶⁾。一方で、非浮上形単磁極ヘッドと垂直磁気ハードディスクにおいて低スペーシ

ング接触状態で安定した記録再生が行えることを確かめている⁷⁾。ここでは、狭ギャップ、高 B_s の MIG ヘッドを非浮上形支持機構に取り付け、低スペーシング状態での Co-Cr/Fe-Co 媒体の電磁変換特性を調べ、高密度記録の条件を検討したので、その結果を述べる。

2. 実験方法

媒体は、テクスチャーのない 3.5 インチのガラス基板 ($R_s \sim 25\text{\AA}$) の上に R.F. スパッタ法により Cr 層、Fe-Co 層、Co-Cr 層、 SiO_2 層の順に成膜した。Cr 下地層は、ガラス基板と Fe-Co 層の付着力を強くし、また Fe-Co 層の面内 H_c を大きくするためのもので、厚さは約 $250\text{\AA}$ である。保護層の SiO_2 は、約 $60\text{\AA}$ で液体潤滑剤を塗布して測定を行った。使用した MIG ヘッドは、飽和磁束密度 B_s が 14.5 kG ⁸⁾、巻線数 44 T、トラック幅 $20\mu\text{m}$ である。ヘッドの支持は、ディスク面に対して上下方向のみに可動しディスクの面振れを吸収する構造の自重式とし⁷⁾、ヘッドの荷重は 0.8 g である。ヘッドと媒体の相対速度は 2 m/s で測定した。Table 1 に使用した媒体の諸元を示す。Co-Cr の膜厚を $800\text{\AA}$, $1600\text{\AA}$, $2400\text{\AA}$ と変化させている。Fe-Co の裏打ち層の膜厚は $120\text{\AA}$ 、面内方向の H_c は 200 Oe 、飽和磁化 M_s は、 1600 emu/cc で

Table 1 Magnetic properties of Co-Cr layers having different thickness

$\delta\text{ (\AA)}$	$P. I. / \delta\text{ (cps/\mu m)}$	$\Delta\theta_{50}\text{ (deg)}$
800	2250	13.1
1600	2688	12.2
2400	6417	9.0

$H_{c\perp}: 12500\text{e}$, $H_{c//}: 3100\text{e}$
 $M_s: 510\text{ emu/cc}$, $H_k: 41000\text{e}$

Fig. 1 Models for (a) recording process, (b) remanent magnetization mode, (c) reproduced waveform in Co-Cr single layer and Co-Cr/Fe-Co composite layer.

ある。磁気特性の測定には VSM を用いており、膜厚は、触針式の表面粗さ計で測定した。Co-Cr 膜の結晶配向は X 線回折による hcp(002) 面のロッキングカーブの半幅幅 ($\Delta\theta_{50}$) で評価した。

3. 磁化モードのモデル

Fig. 1 に Co-Cr 単層膜と、Co-Cr/Fe-Co 2 層媒体の簡単な磁化モードのモデル図を示す。リングヘッドによる垂直記録の場合、残留磁化はヘッドのトレーリングエッジの垂直磁界成分により決定される。Co-Cr 単層膜の場合 Fig. 1(a) 左図のように Co-Cr 層の裏面に磁荷が残って反磁界が大きくなり、実効磁界が小さくなるため残留磁化は小さくなる。これに対し、Co-Cr/Fe-Co 2 層媒体の場合は、Co-Cr 層が垂直磁化されると同時に Fe-Co 層が面内磁化され、Fig. 1(b) のような馬蹄形磁化モードが形成される。すなわち、Fe-Co 層の磁化に伴い Co-Cr 層裏面に磁荷が発生せず、記録時の反磁界が低減される。その結果、残留磁化が大きくなり、Co-Cr 単層膜に比べて大きな再生出力が得られるばかりでなく、記録感度、オーバーライトも改善されると予想される⁹⁾。これらのことは、Co-Cr 層の H_c が異なる媒体でも同様に高い再生出力が得られることから検証されている¹⁰⁾。また、Fe-Co 層の H_c が大きくなると、馬蹄形磁化モードがより強められ再生出力も大きくなる傾向にある⁹⁾。

単層の Co-Cr の場合、磁化転移の直後では反磁界の

Fig. 2 Reproduced voltages versus recording magneto-motive-forces for composite media with various Co-Cr layer thickness.

影響が弱くなるため磁化が大きくなり、Fig. 1(c) のような非対称のダイパルス波形が再生される。これに対して、Co-Cr/Fe-Co 2 層媒体の場合、Co-Cr 層の垂直磁化が Fe-Co 層の面内磁化と同極性で連続に馬蹄形磁化モードを形成し、それと隣接する逆極性の垂直磁化を弱めるため、パルス幅の狭い単峰波形が得られると考えられる。

4. 実験結果

4.1 入出力特性

Fig. 2 にヘッドギャップ長が $0.15 \mu\text{m}$ 、記録密度が 254 kFRPI での各媒体の入出力特性を示す。Co-Cr 層が $800 \text{ \AA}$ と薄い媒体では、ヘッドの起磁力を大きくしていくと、図のように出力がいったん低下した後、再び上昇してピークをとる。これは、起磁力が大きくなると、Co-Cr 垂直層と Fe-Co 面内裏打ち層の磁化転移の位置がずれて、再生パルスがそれぞれの層からのものにスプリットし⁹⁾、それぞれの波形が干渉して出力が変化するためである。同図に見られるように、Co-Cr 層が厚くなると、あるいは記録密度が高くなっても、2 次ピークの振幅が小さくなる。前者の場合はヘッドと Fe-Co 層との相対距離が大きくなることにより、後者では Fe-Co 層の高密度記録による反磁界の増大によって、Fe-Co 層の磁化の再生に与える影響が小さくなるためである。したがって、サブパルスの影響のない高い再生出力を得るには、Co-Cr 垂直膜の転移と Fe-Co 面内膜の転移が同じ位置で起こり、強い馬蹄形磁化モードを形成するように記録することが重要である。

4.2 記録密度特性

次に Fig. 3 に各媒体の記録密度特性を示す。Table 1 に示したように Co-Cr 層が $800 \text{ \AA}$ から $1600 \text{ \AA}$, $2400 \text{ \AA}$

Fig. 3 Bit-density responses for various Co-Cr layer thickness.

Fig. 4 Comparison of bit-density response curves of Co-Cr single layer and Co-Cr/Fe-Co composite media.

と厚くなるに従って、X線回折による(002)面のピーク相対強度が大きくなり、 $\Delta\theta_{50}$ も小さくなって配向度もよくなる。その結果、Co-Cr層が厚くなると、再生出力が大きくなるばかりでなく記録密度特性も向上する。また、前述のCo-Cr/Fe-Co 2層媒体の磁化モードにおいてCo-Cr層が薄い場合は裏面磁荷による反磁界が大きくなり、大きな再生出力が得られないが、逆にCo-Cr層が厚すぎても裏打ち層の効果が小さくなるため最適な膜厚が存在する。ここでは、Co-Cr層2400Åにおいて、ヘッドギャップ長0.15μmでの規格化出力が95 nV_{0-p}/μm·turn·m/s、 D_{50} が120 kFRPIと高い値が得られた。

Fig. 4は、Co-Cr単層媒体とCo-Cr/Fe-Co 2層媒体について、再生出力の基本波スペクトラムの記録密度特性と孤立再生波形を比較したものである。Fe-Co裏打ち層を設けた場合、Co-Cr層の結晶配向性が悪くなるが、比較のため、ここでは膜厚、垂直方向の H_c 、 H_k 、X線回折のピーク相対強度、 $\Delta\theta_{50}$ が膜厚1600Åの2層媒体の

Fig. 5 Effects of gap length and CoCr thickness on normalized output and half amplitude density.

Co-Cr層とほぼ等しいCo-Cr単層膜を作成し媒体として用いた。

Co-Cr/Fe-Co 2層媒体の再生出力は、高密度ではCo-Cr単層媒体と変わらないが、低密度領域において、裏打ち層の効果が大きくなっている。一方、一般に、単層Co-Cr媒体では、結晶配向性が悪い場合や異方性磁界 H_k が小さい場合、磁化が長手方向に傾き、単峰性の再生波形になる。しかしここで用いたCo-Cr単層媒体の再生波形は、垂直配向性を2層媒体なみに劣化させたにも関わらず、ダイパルスになっている。したがって、Co-Cr/Fe-Co 2層媒体の単峰波形は、Co-Cr層の結晶配向が悪いためではなく、Fe-Co層とCo-Cr層の間で馬蹄形磁化モードが形成されたためであるといえる。

Fig. 5に、ヘッドギャップ長を0.15μm、0.2μm、0.5μmと変化させた時の各媒体に対する、 D_{50} と254 kFRPIでの規格化出力を示す。Co-Cr層が800Åの場合、ギャップ長を0.5μmから0.15μmにしても、 D_{50} は52 kFRPIから74 kFRPIになる程度である。しかし、膜厚を2400Åに厚くし、結晶性、配向度を高めることにより D_{50} が54 kFRPIから120 kFRPIまで飛躍的に伸び、狭ギャップ化の効果が極めて大きくなる。リングヘッドを用いる準垂直記録でも、記録密度を上げるには、ある程度膜厚を厚くして、Co-Cr層の結晶性、配向度をよくする必要がある。この図より再生分解能を制限しているヘッドギャップ長をさらに狭ギャップ化することにより、記録密度の向上が期待される。

4.3 オーバーライト特性、ノイズ

オーバーライトは、1Fを最適電流で記録し、2Fを重ね書きした時の1Fの減衰量で定義している。Fig. 6に、ギャップ長0.15μmのフェライトヘッドとMIGヘッドでのオーバーライト特性の結果を示した。▲、●は最初

Fig. 6 Comparison of Over-Write characteristics measured by ferrite and MIG heads.

に 20 kFRPI を記録してから 50 kFRPI を重ね書きした値で、 Δ , $\circ$ は最初に 50 kFRPI を書いてから 20 kFRPI を重ね書きした値である。高 B_s の MIG ヘッドを用いることによって、フェライトヘッドに比べて 6~10 dB オーバーライトを改善することができた。しかし、Co-Cr 層が厚くなるとオーバーライトも悪くなる傾向にあり、起磁力 $0.5AT_{0-p}$ において、Co-Cr 層の厚さが $800\text{\AA}$ で -33 dB, $1600\text{\AA}$ で -32 dB, $2400\text{\AA}$ で -27 dB となる (2F: 50 kFRPI / 1F: 20 kFRPI)。

Fig. 7 に 80 kFRPI での各媒体の再生スペクトラムを示す。下の線は、DC イレズレベルである。Co-Cr 層が $800\text{\AA}$ と薄い媒体では、低域での Fe-Co 裏打ち層からのノイズが大きい、厚くなるに連れて、Fe-Co 裏打ち層からのノイズが減少している。変調ノイズも非常に小さいので、Co-Cr 層 $2400\text{\AA}$ の媒体とギャップ長 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ のヘッドとを組み合わせたの場合に、100 kFRPI において、約 50 dB の高い C/N が得られた (RBW: 10 kHz)。

5. まとめ

Co-Cr 単層膜の裏側に面内磁化容易な薄い Fe-Co 層を設けることにより、リングヘッドを用いた準垂直磁気記録においても、再生波形が単峰で、高密度記録再生が可能であることが確かめられた。単峰波形は、Fe-Co 裏打ち層の面内磁化によって、Co-Cr 垂直磁化と馬蹄形磁化モードを形成することに起因している。また、高 B_s の MIG ヘッドを非浮上形とすることによって小スペーシングでの記録再生を実現し、 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ の狭ギャップにお

Fig. 7 Noise spectrums for various Co-Cr layer thickness at 80 kFRPI.

いても、優れた記録再生特性、オーバーライト特性を実現することができた。

最後に MIG ヘッドをご提供いただいたソニー・マグネ・プロダクツ(株)、実験に協力された大学院生の大木島君に感謝します。

文 献

- 1) T. Suzuki, S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-18**, 769 (1982).
- 2) R. I. Potter, I. A. Beardsley: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-16**, 967 (1980).
- 3) N. Watanabe, Y. Ishizuka, K. Kimura and E. Imaoka: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 1368 (1985).
- 4) 鈴木幹夫, 針屋文雄, 吉田和悦, 北上 修: 電子情報通信学会技術報告, MR88-6 (1988).
- 5) 那須昌吾, 松本賢次, 中島昭彦, 石動正和, 齊木幸治: 第 12 回応用磁気学会学術講演概要集, 2PC-7, 271 (1988).
- 6) S. Iwasaki, K. Ouchi: *Proc. PMRC '89*, 21 (1989).
- 7) 中村慶久, 大内一弘, 渡辺 功: 日本応用磁気学会誌, **14**, 135 (1990).
- 8) 小形誠一, 内山 浩, 本多直樹, 早川正俊: 電子情報通信学会春季全国大会, SC-5-5, 5-289 (1990).
- 9) S. Iwasaki, K. Ouchi: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-26**, 97 (1990).
- 10) 大内一弘, 大木島 真, 中村慶久, 岩崎俊一: 電子情報通信学会春季全国大会, C-481, 5-45 (1990).

1990 年 12 月 3 日受理, 1991 年 2 月 28 日採録