Influence of Oblique Magnetic Field from Duplication Magnet on Magnetic Duplication Characteristics

S. Tomikawa, N. Inaba, T. Komine, R. Sugita, and T. Murano

Dept. of Media and Telecomm. Eng., Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

The magnetic duplication technique using patterned master media is a promising means of writing servo signals onto hard disks at high speed and low cost. It is expected that the direction of the applied magnetic field in the duplication process significantly influences the duplication characteristics. The objective of this paper is to clarify the influence of the oblique magnetic field out of the master plane. Experiments showed that the reproduced waveform from a slave duplicated with an oblique field is asymmetric near both edges of the protrusion of the master. The asymmetric waveform is improved by increasing the field, but the duplication characteristics with an oblique field are still inferior to those with an in-plane field. Computer simulation of the magnetization distribution of the slave duplicated with an oblique field shows that the distribution is asymmetric near both edges of the protrusion of the master, coinciding with the experimental results.

Key words: oblique magnetic field, duplicating field, servo-writing, hard disk

磁気転写用磁石の斜め方向磁場が転写特性に及ぼす影響

富川智史, 稲葉望, 小峰啓史, 杉田龍二, 村野井徹夫

茨城大学工学部, 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 (〒316-8511)

1. はじめに

ハードディスクにサーボ信号を高速かつ安価に形成する方法として、磁気転写法が注目されている^{1)~7)}。現在、転写磁場は電磁石や永久磁石で印加しており、これらはギャップ部から磁場が円弧状に発生する⁸⁾。磁気転写法においては、転写磁場はスレーブの膜面内方向に印加することが基本であるが、このように膜面に対して斜め方向の磁場(以下、斜め方向磁場と記す)が印加される場合が起こりうる。実際に使われている磁石において、斜め方向磁場は $35^\circ \sim 45^\circ$ の傾きを持っている。従来の研究においては、転写磁場の理想的な印加方法であるスレーブの膜面内方向に印加されたときのみで検討されており、斜め方向磁場が転写特性に及ぼす影響についてはまだ明らかになっていない。

本研究では、斜め方向磁場が、転写特性に及ぼす影響について、実験とコンピュータシミュレーションにより明らかにする。

2. 実験方法及びシミュレーション方法

実験に用いたマスター媒体は、Si 基板上に膜厚 $1\ \mu\text{m}$ の $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜(飽和磁化 $M_s = 1900\ \text{emu/cm}^3$, 保磁力 $H_c \approx 70\ \text{Oe}$, 透磁率 $\mu = 100$)をストライプ状に形成したものであり、ストライプパターンの幅及び隣接ストライプの間隔は $2.5\ \mu\text{m}$, ストライプの長さは $6\ \text{mm}$ である⁴⁾。スレーブ媒体としては、薄層メタル塗布型テープ(飽和磁化 $M_s = 300\ \text{emu/cm}^3$, 保磁力 $H_c = 2.0\ \text{kOe}$, 磁性膜厚 $0.3\ \mu\text{m}$)を用いた⁵⁾。転写されたスレーブの再生には、誘導型磁気ヘッドである DVC 方式 VTR 用メタルイン・ギャップ(MIG)ヘッ

ド(ギャップ長 $0.3\ \mu\text{m}$, トラック幅 $13\ \mu\text{m}$)を用いた。Fig. 1 に転写方法の概略図を示す。まず、Fig. 1(a)に示されるように、スレーブ膜面に対して水平方向に磁場を印加し初期

Fig. 1 Schematic diagram of the (a) initial magnetization process and (b) duplication process.

磁化を行う。次に Fig. 1(b)に示されるように、初期磁化されたスレーブにマスターを接触させ、転写磁場を膜面と磁場方向とのなす角を θ として印加し磁気転写を行った。転写されたスレーブをビッター現像法により観察し、ドラムテストを用いて再生波形を検討した。

また、転写磁場を印加したときのマスター近傍の磁場分布を有限要素法によって求めた。本計算におけるマスターの飽和磁化 M_s 、保磁力 H_c 、透磁率 μ はそれぞれ、1900 emu/cm³, 0 Oe, 100 とした。計算により求めた磁場分布と、実験に用いたスレーブの MH 曲線(飽和磁化 $M_s = 300$ emu/cm³, 保磁力 $H_c = 2.0$ kOe)から、転写されたスレーブの磁化分布を推定した⁷⁾。

Fig. 2 に 本研究で使した薄層メタル塗布型テープの、長手方向(x 方向)及び膜面に垂直方向(y 方向)の MH 曲線を示す。Fig 2(a)と Fig.2 (b)に示すように、それぞれの角型比は 0.84 及び 0.2 である。また、本研究では、記録ビット長 L を 2.5 μm 、スレーブ膜厚を 0.3 μm として実験を行ったので、膜厚方向の反磁場が大きく、スレーブは MH 曲線のように振る舞うと考えられる。従ってスレーブに記録される磁化の y 成分 M_y は x 成分 M_x に比べて小さいと推定され、第一次近似的に M_x 分布のみを考慮した。

Fig. 2 Hysteresis loops of the slave disk, (a) longitudinal machine direction (b) perpendicular to plane.

3. 実験結果

3.1 転写特性の θ 依存性

Fig. 3 に、 θ を 0°及び 45°、転写磁場 H_a を 2.0 kOe として磁気転写を行ったスレーブのビッター現像写真を示す。一般に、 H_a をスレーブ媒体の保磁力と同等あるいはやや高い値に設定したときに、最も優れた転写が行われる²⁾。 θ が 0°のときには、Fig. 3(a)に示されるように、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分にほぼ同量の磁性粒子が付着しているが、 θ が 45°の場合、Fig. 3 (b)に示されるように、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分の磁性粒子付着量に大きな相違が見られる。

Fig.4 は、 θ を 0°及び 45°として、2.0 kOe の H_a を印加して転写を行ったスレーブからの再生波形である。同図において、 θ が 0°の場合は、再生波形のプラスピーク $E_{0,+p}$ とマイナスピーク $E_{0,p}$ が同程度であるが、 θ が 45°では、 $E_{0,+p}$ が $E_{0,p}$ に比べかなり小さくなっていることがわかる。また、 θ が 0°の場合にはサブピーク³⁾は見られないが、45°ではサブピークが現れている。

Fig. 5 に再生出力の θ 依存性をまとめる。同図から、 θ が大きくなるに従い、 $E_{0,+p}$ と $E_{0,p}$ の差が大きくなっていることがわかる。この原因は、 H_a を斜め方向に印加すると、マスター磁性膜両側エッジ近傍の磁場分布が非対称となることにありとされる。この非対称磁場により、スレーブに転写された磁化が、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分で非対称性になっていると推定される。

Fig. 3 Bitter patterns of slaves duplicated with θ values of (a) 0° and (b) 45°.

Fig. 4 Reproduced waveforms from slaves duplicated with θ values of (a) 0° and (b) 45° .

Fig. 5 θ dependence of the signal output from a slave duplicated with an oblique magnetic field.

Fig. 6 Bitter patterns of slaves duplicated with H_a of (a) 1.6 kOe, (b) 2.0 kOe and (c) 2.8 kOe, and with θ values of 0° and 45° .

3.2 転写特性の H_a 依存性

Fig. 6 は、 θ が 0° 及び 45° 、 H_a を 1.6 kOe, 2.0 kOe, 2.8 kOe として転写したスレーブのビッター現象写真である。同図より、 θ が 0° のときは磁性粒子付着状態に H_a 依存性はほとんど見られず、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分の付着量は同等である。一方、 θ が 45° の場合には、 H_a を 1.6 kOe 及び 2.0 kOe として転写すると、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分の磁性粒子付着量に明らかな相違が見られるのに対して、 H_a を 2.8 kOe とすると、この相違が見られなくなっている。すなわち、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分の磁性粒子付着量の差は、 H_a を強くすることで改善できる。

Fig. 7 は、 θ が 0° 及び 45° として、1.6 kOe, 2.0 kOe, 2.8 kOe の H_a で転写したスレーブからの再生波形である。Fig. 7 (a), (b) は、それぞれ θ が 0° 及び 45° の場合である。Fig. 7 (a) に示すように、 θ が 0° では H_a によらず高い再生出力を示している。 θ が 45° では Fig. 7 (b) に示されるように、 H_a を 2.8 kOe とすると、2.0 kOe と比べ、再生出力が大きくなり、 $E_{0,+p}$ と $E_{0,-p}$ の差が少なくなることがわかる。 θ が 45° の場合、 H_a を 2.8 kOe すると 2.0 kOe と比べ転写特性がかなり改善されるが、 $E_{0,+p}$ と $E_{0,-p}$ との間に差が存在する、半値幅が広い、サブピークが見られる等の点から、 θ が 0° のときの特性には及ばない。

Fig. 8 に、 θ が 0° 及び 45° として転写を行ったスレーブの再生出力 $E_{0,+p}$ 、 $E_{0,-p}$ 及び $E_{p,p}$ の H_a 依存性をまとめる。ここで、 $E_{p,p}$ は $E_{0,+p}$ と $E_{0,-p}$ の和である。Fig. 8 (a) からわかるように、 θ が 0° で転写を行った場合には、1.6 kOe～2.8 kOe の

範囲では、 $E_{0,+p}$, $E_{0,-p}$, $E_{p,-p}$ がほぼ一定値を示している。一方、Fig. 8 (b)に示すように、 θ を 45° として磁気転写を行った場合には、 H_a が小さいときには $E_{0,+p}$ が $E_{0,-p}$ に比べて小さくなっているが、 H_a が強くなるに従い、 $E_{0,+p}$ と $E_{0,-p}$ が増加すると同時に、両者の差が小さくなる。また、 H_a を 3.2 kOe に設定すると、 $E_{0,+p}$ と $E_{0,-p}$ は同程度となるが、 H_a を 2.8 kOe に設定した場合と比べ $E_{p,-p}$ は減少する。斜め方向に 2.8 kOe の磁場を印加したとき、面内方向に印加される磁場は $2.8 \text{ kOe} \times \cos 45^\circ = 2.0 \text{ kOe}$ に相当することから、このことが転写特性の向上に影響を及ぼしたと考えられる。

Fig. 7 Reproduced waveforms from slaves duplicated with H_a values of 1.6 kOe, 2.0 kOe and, 2.8 kOe, and with θ values of (a) 0° and (b) 45° .

3.3 シミュレーション結果

Fig. 9に、 θ を 0° 及び 45° , H_a を 2.0 kOe として磁気転写を行ったスレーブの磁化分布のシミュレーション結果を示す。横軸は位置、縦軸は M_x/M_s を示している。ここで、 M_x は、スレーブの磁化のビット長方向成分、 M_s は飽和磁化である。同図から、 θ が 0° では、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分の磁化分布が対称になっているが、 θ が 45° の場合は非対称になっていることがわかる。この磁化分布の非対称性が、 θ を 45° として転写を行ったスレーブのビッター像及び再生波形の $E_{0,+p}$, $E_{0,-p}$ がマスター磁性膜両側エッジに対応する部分で非対称となる要因であると推定され、ピークの高さについては、Figs. 3, 4 の実験結果と一致する。

Fig. 10に、 θ を 45° とし、 H_a を 1.6 kOe, 2.0 kOe, 2.8 kOe として磁気転写を行ったスレーブ媒体の、磁化分布のシミュレーション結果を示す。スレーブ媒体の磁化分布は、マスター媒体磁性膜両側エッジに対応する部分で非対称になっているが、2.8 kOe では、その非対称性が緩和されていることがわかる。しかし、Fig. 9の θ を 0° とした磁化分布シミュレーション結果に比べ、マスター磁性膜エッジに対応する部分の磁化変化はなだらかになっている。このことから、再生出力については転写磁場が強いほど斜め方向磁場の影響は緩和されるが、水平に印加したときの特性には至らないことが推定される。この結果は Figs. 6, 7 及び 8 の実験結果と一致する。

Fig. 8 Duplication field H_a dependence of the signal output from slaves duplicated with θ values of (a) 0° and (b) 45° .

Fig. 9 Simulated magnetization distribution of slaves duplicated with θ values of 0° and 45° .

Fig. 10 Simulated magnetization distribution of slaves duplicated with a θ values of 45° , and with H_a values of 1.6 kOe, 2.0 kOe, and 2.8 kOe.

4. まとめ

スレーブ膜面に対して、斜め方向に印加される転写磁場 H_a が転写特性に及ぼす影響について検討し、次のことが明らかになった。

(1) 斜め方向磁場を印加して転写されたスレーブからの再生出力波形は、マスター磁性膜両側エッジに対応する部分で非対称になる。また、最適転写磁場が、面内印加の場合に比べて、高い側にシフトする。斜め方向磁場を強くすると、この非対称性が緩和されるが、 $E_{0,p}$ と $E_{0,p}$ との間に差が存在する、半値幅が広い、サブピークが見られる等の点から、水平に磁場を印加した場合の特性には及ばない。

(2) シミュレーションを用いて、斜め方向磁場により転写されたスレーブの磁化状態を計算したところ、ピークの非対称性を説明できる結果が得られた。

以上から、磁石により転写磁場を印加する過程において、斜め方向成分が転写特性を劣化させることが明らかになった。また、転写磁場が斜め方向磁場の場合、スレーブの膜面内方向成分が 2.0 kOe となる強度の磁場を印加することにより転写特性を改善できる。

謝辞 マスターを作製して頂いた富士写真フイルム(株)に深謝致します。また、本研究の一部は、日本学術振興会平成 17 年度科学研究費(基盤研究 C16560291)及び NEDO 産業技術研究助成事業の支援により行われました。

References

- 1) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Appl. Phys.*, **91**, 8694 (2002).
- 2) R. Sugita, T. Kinoshita, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 2285 (2000).
- 3) A. Saito, E. Yonezawa, Y. Takano, and T. Watanabe, *J. Appl. Phys.*, **91**, 8688 (2002).
- 4) R. Sugita, O. Saito, Y. Nakamura, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Japan.*, **25**, 289 (2001).
- 5) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Japan.*, **26**, 289 (2002).
- 6) T. Ishida, K. Miyata, N. Komura, and T. Takeoka, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, 1412 (2001).
- 7) R. Sugita, T. Komine, T. Muranoi, M. Nishikawa, T. Yasunaga and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Japan.*, **28**, 231 (2004).

2005年10月19日受理, 2005年12月15日再受理, 2006年1月16日採録