磁気転写特性のマスター磁性層厚依存性

Dependence of Magnetic Contact Duplication Properties on Magnetic Layer Thicknesses of Master Media

杉田龍二・小峰啓史・村野井徹夫・西川正一*・安永正*・長尾信*

茨城大学工学部, 茨城県日立市中成沢町 4-12-1(〒316-8511)

*富士写真フイルム(株), 神奈川県小田原市扇町 2-12-1(〒250-0001)

R. Sugita, T. Komine, T. Muranoi, M. Nishikawa*, T. Yasunaga*, and M. Nagao*

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

*Recording Media Products Div., Fuji Photo Film Co., Ltd., 2-12-1 Ogicho, Odawara 250-0001

Dependence of magnetic contact duplication properties on magnetic layer thicknesses of master media was studied. We found from experiments that for a master medium with a bit length of 2.5 μm , sufficient duplication was attained if the thickness was 1 μm , whereas for a bit length of 10 μm , a thickness of 1 μm or more was necessary to obtain sufficient duplication. We simulated duplication properties for bit lengths of 2.5 and 10 μm using the finite element method, in addition to performing the experiments. The simulated results agreed well with the experimental ones. Because of this agreement, simulations were carried out to study shorter bit lengths; these simulations showed that for master media with bit lengths of 0.1 and 0.5 μm , duplication properties are unchanged over thicknesses of 0.04 and 0.1 μm , respectively.

Key words: magnetic contact duplication, servo-writing, hard disk, floppy disk

1. はじめに

パターンマスター磁気転写法は、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有力な手段である^{1)~8)}。この方法により、マスター媒体の凹凸パターンに対応した磁化パターンをスレーブ媒体に形成(磁氣的に転写)することができ、磁気ヘッドで記録した場合と同等品質の信号が記録できることが確認されている。磁気転写特性には、マスター媒体の構造や磁気特性が大きな影響を及ぼす。マスター媒体の磁性層厚の影響について多少の検討はなされているが³⁾、まだ十分には明らかになっていない。

本研究では、マスター媒体の磁性層厚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 $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ の軟磁性膜(飽和磁化 $M_s = 1900 \text{ emu/cm}^3$, 保磁力 $H_c = 70 \text{ Oe}$, 透磁率 $\mu = 100$ (直流))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(以下パターン幅 L と記す)は 2.5 及び 10 μm 、ストライプの長さはパターン幅に比べて十分に長い 7 mm である。また隣接ストライプ間の間隔は L と同じ長さにしてある。またストライプパターンの厚み(マスターの磁性層厚 t)は 0.2 及び 1 μm とした。スレーブ媒体としては、DVC (Digital Video Cassette)用蒸着テープ(ME テープ)を使用した。ME テープの膜厚、飽和磁化、保磁力は、それぞれ 0.2 μm , 500 emu/cm^3 , 1.5 kOe である。

パターンニングされたマスター媒体を用いた磁気転写法においては、通常、まずスレーブ媒体を一方向に初期磁化し、次に、このスレーブ媒体にパターン幅方向を初期磁化方向と一致させてマスター媒体を接触させ、初期磁化と反対向きに直流転写磁界 H_a を印加する。しかし本研究においては、転写磁化状態の解明のために、初期磁化は行わずに、DVC レコーダでビデオ信号が記録されたテープにマスター媒体を接触させ、 H_a を印加し転写を行った⁷⁾。 H_a の印加方向はマスターパターン幅方向及びスレーブテープのテープ走行方向に一致させている。転写された磁化状態の観察はビッター現象法により行った。その際、テープに記録されているビデオ信号の消去状態に着目して磁化状態を解析した。

また、マスター媒体が単独に存在し、スレーブ媒体が近傍に存在しない状態で直流磁界 H_a を印加したときのマスター媒体近傍の磁界分布を有限要素法により求め、転写特性を推定した。ここでは直流磁界 H_a はマスターパターン幅の方向に印加し、マスターストライプパターン長さはパターン幅 L よりも十分に長いと仮定して 2 次元近似計算を行った。また隣接ストライプ間隔はパターン幅 L と同じにした。パターン幅 L は 2.5 μm , 10 μm とし、さらに短いサーボ信号ビット長(パターン幅)を想定して、 $L = 0.5 \mu\text{m}$ 及び 0.1 μm についても計算した。

3. 結果及び考察

3.1 転写実験結果

DVC レコーダでビデオ信号が記録された ME テープにマスター媒体を接触させ、2 kOe の直流転写磁界を印加して転写を行った。今回使用した ME テープに対して 2 kOe は最も優れた転写が行われる磁界である。一般に、転写磁界をスレーブ媒

体の保磁力よりも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¹⁾。ビデオ信号の記録はトラックピッチ $6.7\ \mu\text{m}$ の LP モードで行った。転写を行う前の状態のビッター現像写真を Fig. 1 に示す。

Fig. 2 は、パターン幅 L が $2.5\ \mu\text{m}$ のマスター媒体を接触させて転写した場合のビッター現像写真である。Fig. 2 (a), (b) は、それぞれマスター媒体の磁性膜厚 t が $0.2\ \mu\text{m}$ 及び $1\ \mu\text{m}$ の場合である。Fig. 2 (b) から、 t が $1\ \mu\text{m}$ の場合は、マスター媒体の磁性膜と接触している部分は、磁気ヘッドによって記録された信号が一樣に残っており、磁性膜と接触していない部分はほぼ一樣に消去されていることがわかる。このことから、マスター媒体の磁性膜と接触している領域では磁化は転写磁界の影響を受けずに、磁界印加前の状態を保っており、接触していない部分は転写磁界の向きに一樣に磁化が向いていることがわかる。

Fig. 1 Bitter pattern of an ME tape recorded on a DVC deck.

Fig. 2 Bitter patterns of the ME tape duplicated after DVC deck recording by using master media with L of $2.5\ \mu\text{m}$ and t of: (a) $0.2\ \mu\text{m}$, (b) $1\ \mu\text{m}$.

Fig. 2 (a) より、 t が $0.2\ \mu\text{m}$ の場合は、 $1\ \mu\text{m}$ に比べると、転写特性が劣っており、マスター媒体の磁性膜と接触している領域において、ヘッドで記録された信号がやや弱くなり、磁性膜と接触していない領域においては、ヘッドで記録された信号がわずかではあるが残っているのが認められる。

Fig. 3 は、DVC レコーダで記録した ME テープに、 L が $10\ \mu\text{m}$ のマスター媒体を接触させて転写した場合のビッター現像写真である。Fig. 3 (a), (b) は、それぞれ t が 0.2 及び $1\ \mu\text{m}$ の場合である。Fig. 3 (b) から、 L が $10\ \mu\text{m}$ の場合は、 t が $1\ \mu\text{m}$ あっても、転写時にマスター媒体の磁性膜と接触しなかった部分は、磁気ヘッドによって記録された信号がわずかに残っていることがわかる。また、Fig. 3 (a) より、 t が $0.2\ \mu\text{m}$ の場合は、明らかに転写特性が劣っており、マスター媒体の磁性膜と接触している部分の特に磁性膜エッジ近傍以外において、ビデオ信号が弱くなり、磁性膜と接触していない部分においては、ビデオ信号がかなり残っていることがわかる。

3.2 シミュレーションにより求めた磁界分布

Fig. 4 にシミュレーションの際のマスター媒体の磁性層の構成を示す。 L がパターン幅であり、紙面に対して垂直方向に、無限に長い磁性膜が図のように配置されている(すなわち、ストライプ長さが無限に長い 2 次元問題として考える)。 t が磁性膜の膜厚である。計算では $M_s = 1900\ \text{emu/cm}^3$, $H_c = 0\ \text{Oe}$, $\mu = 100$ とした。

Fig. 5 に、シミュレーションにより求めた、 L が $2.5\ \mu\text{m}$, t が 0.2 及び $1\ \mu\text{m}$ のマスター媒体近傍の磁界分布を示す。この計算において $2\ \text{kOe}$ の一様磁界 H_a を Fig. 4 の左から右の向き

Fig. 3 Bitter patterns of the ME tape duplicated after DVC deck recording by using master media with L of $10\ \mu\text{m}$ and t of: (a) $0.2\ \mu\text{m}$, (b) $1\ \mu\text{m}$.

Fig. 4 Magnetic film configuration of master media used in the simulation.

Fig. 5 Simulated magnetic field H_{totalx} near master media with L of $2.5 \mu\text{m}$ and t of $0.2, 1 \mu\text{m}$.

に印加している。Fig. 5 の縦軸は、磁性膜表面から約 $0.02 \mu\text{m}$ 離れた面上における H_{total} のマスター磁性膜の幅方向(ストライプパターン幅方向(x 方向と記す))の成分 H_{totalx} を示している。ここで H_{total} は印加磁界 H_a によって磁化されたマスター磁化によって生ずる磁界 H_{master} と H_a との和 $H_{total} (= H_a + H_{master})$ である。横軸は位置であり、図の上部に磁性膜の位置を示している。なお後から示す Fig. 7, Fig. 8 の縦軸もすべてマスター面から約 $0.02 \mu\text{m}$ 離れた面上における H_{totalx} を示している。

Fig. 5 に示される分布を有する磁界で転写されたスレーブ媒体の磁化分布は、近似的に以下のように推定される。ME テープのヒステリシス曲線を Fig. 6 に示す。スレーブ媒体の磁化は、Fig. 5 の磁界が印加された際に、Fig. 6 に示されるヒステリシス曲線に従って決定される。なお、今回は、スレーブ媒体(ME テープ)の反磁界を無視して考察する。ME テープの膜厚は $0.2 \mu\text{m}$ であり、記録されるビット長は 2.5 あるいは $10 \mu\text{m}$ であるので、第 1 次近似的には反磁界を無視しても差し支えないと考えられる。

まず、 t が $1 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用いた場合について、マスター媒体の磁性膜と接触した状態で転写が行われた部分について、Figs. 5, 6 を用いて考察する。この部分では、Fig. 5 からわかるように、スレーブ媒体には数 100 Oe 以下の磁界しか印加されない。Fig. 6 から、数 100 Oe 以下の磁界が ME テープに印加されても、その磁化状態はほとんど変わらないことが推

Fig. 6 Hysteresis curve of ME tape.

Fig. 7 Simulated magnetic field H_{totalx} near the master media with L of $10 \mu\text{m}$ and t of $0.2, 1 \mu\text{m}$.

定される。一方、マスター媒体と接触しない部分には、約 3 kOe 以上の磁界が印加されるので、ME テープは、印加磁界方向に、ほぼ飽和の状態まで磁化されることがわかる。以上の推定は、Fig. 2 (b)の実験結果とよく一致している。

次に、 t が $0.2 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用いた場合について、マスター媒体の磁性膜と接触した状態で転写が行われた部分について考察する。この部分では、Fig. 5 からわかるように、磁性膜の中央付近で、磁界強度が 800 Oe 程度になっている。この程度の磁界が ME テープに印加されると、Fig. 6 から、磁化はわずかにその影響を受け変化することが推定される。一方、マスター媒体と接触しない部分に印加される磁界は 3 kOe 弱であるため、ME テープの磁化は、印加磁界方向には完全には向わずに、磁界印加前の状態をわずかに保つことが予想される。以上の推定は、Fig. 2 (a)の実験結果とよく一致している。

次に、 L が $10 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用いた転写についても、上記と同様の考察を行う。Fig. 7 に、シミュレーションにより求めた、 L が $10 \mu\text{m}$ 、 t が 0.2 及び $1 \mu\text{m}$ のマスター媒体近傍の磁界分布を示す。この計算においても、 2 kOe の一様磁界を Fig. 4 の左右方向に印加している。

まず、 t が $1 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用いた場合について、マスター媒体の磁性膜と接触した状態で転写が行われた部分につ

Fig. 8 Simulated magnetic field H_{totalx} near master media with L of: (a) $0.5 \mu\text{m}$, and (b) $0.1 \mu\text{m}$.

いて, Figs. 6, 7を用いて考察する. この部分では, Fig. 7からわかるように, スレーブ媒体には数 100 Oe 以下の磁界しか印加されない. 従って, L , t が, それぞれ 2.5 及び $1 \mu\text{m}$ の場合と同様に, ME テープの磁化状態はほとんど変わらないことが推定される. 一方, マスター媒体と接触しない部分に印加される磁界は 3 kOe 弱であるため, ME テープの磁化は, 印加磁界方向には完全には向かず, 磁界印加前の状態をわずかに保つことが予想される. 以上の推定は, Fig. 3 (b)の実験結果とよく一致している.

次に, t が $0.2 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用いた場合について, マスター媒体の磁性膜と接触した状態で転写が行われた部分について考察する. この部分では, Fig. 7からわかるように, ストライプパターンの中央部付近で, 磁界強度が 1700 Oe 程度になっている. この程度の磁界がMEテープに印加されると, Fig. 6から, 磁化はかなりその影響を受け変化することが推定される. 一方, マスター媒体と接触しない部分に印加される磁界は, 磁性膜エッジ近傍以外は 2 kOe 強程度であるため, ME テープの磁化は, 印加磁界方向には完全には向かず, 磁界印加前の状態をある程度保つことが予想される. 以上の推定は, Fig. 3(a)の実験結果とよく一致している.

3.3 $L=0.5, 0.1 \mu\text{m}$ の場合の推定

$L=2.5, 10 \mu\text{m}$ の実験結果及びシミュレーション結果から, シミュレーションにより求めたマスター媒体近傍の磁界分布から推

定した転写磁化状態が実験結果とほぼ一致することがわかった. そこで, より短い L について, 転写特性のマスター磁性層厚依存性をシミュレーションにより明らかにする. なお, ここでは, スレーブ媒体として磁性層の膜厚及び飽和磁化が, それぞれMEテープの $1/10$ 及び $1/2$ 程度のハードディスクを対象として考えるので, 前節と同様に第1次近似として反磁界を無視して考察する.

$L=0.5 \mu\text{m}$, $t=0.05, 0.1$ 及び $0.5 \mu\text{m}$ としてマスター媒体近傍の磁界分布について計算を行った結果を Fig. 8 (a)に, $L=0.1 \mu\text{m}$, $t=0.02, 0.04$ 及び $0.2 \mu\text{m}$ とした場合の計算結果を Fig. 8 (b)に示す. Fig. 8 (a)から, t が $0.5 \mu\text{m}$ の場合は, 磁性層厚が $0.1 \mu\text{m}$ 程度であればほぼ満足な転写特性が得られ, Fig. 8 (b)から, L が $0.1 \mu\text{m}$ の場合は, $0.04 \mu\text{m}$ 程度以上に厚くする必要のないことが推定される.

4. まとめ

マスター媒体の磁性層厚が磁気転写特性に及ぼす影響を検討し, 次のことが明らかになった.

- (1) ストライプパターン幅 L が $2.5 \mu\text{m}$ のマスター媒体を用い, ビデオ信号が記録されたスレーブ媒体に転写を行って, 転写の様子を詳細に検討すると, t が $1 \mu\text{m}$ の場合には十分な転写ができるが, $0.2 \mu\text{m}$ では不十分であることが明らかになった. また, L が $10 \mu\text{m}$ の場合は, $1 \mu\text{m}$ の膜厚があっても, 理想的な転写は困難であることが明らかになった.
- (2) $L=2.5$ 及び $10 \mu\text{m}$ のマスター媒体近傍の磁界分布をシミュレーションにより求め, これから, 転写されたスレーブ媒体の磁化分布を推定すると, 実験結果とほぼ一致した.
- (3) L が 0.5 及び $0.1 \mu\text{m}$ の場合についてシミュレーションにより検討した結果, $0.5 \mu\text{m}$ の場合は, 磁性層厚が $0.1 \mu\text{m}$ 程度であれば満足な転写特性が得られ, L が $0.1 \mu\text{m}$ の場合は, $0.04 \mu\text{m}$ 程度以上に厚くする必要のないことが推定された.

文 献

- 1) R. Sugita, T. Kinoshita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, p.2285 (2000).
- 2) M. Nishikawa, K. Komatsu, M. Nagao, A. Kashiwagi and R. Sugita, *ibid.*, p.2288.
- 3) R. Sugita, O. Saito, Y. Nakamura, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **25**, p.643 (2001).
- 4) A. Saito, K. Sato, Y. Takano and E. Yonezawa, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, p.1389 (2001).
- 5) T. Ishida, K. Miyata, N. Komura and T. Takaoka, *ibid.*, 1412.
- 6) A. Saito, E. Yonezawa, Y. Takano and T. Watanabe, *J. Appl. Phys.*, **91**, p.8688 (2002).
- 7) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *ibid.*, p.8694.
- 8) M. Nagao, T. Yasunaga and R. Sugita, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **27**, p.68 (2003).
- 9) R. Sugita, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **27**, p.241 (2003).

2003年10月10日受理, 2004年1月15日採録