磁気転写特性に及ぼすマスター媒体構造の影響

Influence of Master Medium Structure on Magnetic Contact Duplication Performance

杉田龍二, 村野井徹夫, 西川正一*, 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. Muranoi, M. Nishikawa*, and M. Nagao*

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

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

In the magnetic contact duplication technique using lithographically patterned master media, when the master media have magnetic films not only in protruding parts but also in dented parts, the depth of the dented parts affects the duplication performance. For master media with a pattern width L of $2.5\ \mu\text{m}$, both experimental and simulation results show that the magnetization duplicated by using the master medium without magnetic films at the dented parts is reversed at transitions and is almost uniform between transitions, and that the magnetization duplicated by using the master medium with magnetic films at $0.5\ \mu\text{m}$ -deep dented parts is not only reversed at transitions but also changes between transitions. It is inferred from simulation that for master media with L of 0.1 and $0.4\ \mu\text{m}$, if d is 0.1 and $0.2\ \mu\text{m}$, respectively, magnetic films at the dented parts have no influence on the duplication performance.

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

1. はじめに

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転写ができ、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。マスター媒体の作製方法には、大きく分類して2種類ある。その一つは、非磁性基板上に磁性膜を形成し、この磁性膜をフォトリソグラフィ技術によりパターンニングするものであり、この場合凸部にのみ磁性膜が残る。もう一つの作製方法は、非磁性基板をパターンニングした後に、この上に磁性膜を形成するものであり、この場合には凹部にも磁性膜が存在する。後者の方法の方がマスター媒体製造コストが低いため、このような構造における転写特性を明らかにすることは有用である。

そこで本研究では、凹部にも磁性膜が存在するマスター媒体について、その深さと転写特性との関連を調べ、凹部に磁性膜がない場合の転写特性と比較する。

2. 実験方法及びシミュレーション方法

Si基板上に膜厚 $0.2\ \mu\text{m}$ の $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜が形成された、3種類の構造のマスター媒体について検討した。第1及び第2の構造のマスター媒体は、Si基板をフォトリソグラフィーによりパターンニングし、その後に $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜を形成したものである。パターンニングの際の凹部の深さは、それぞれ 0.2 及び $0.5\ \mu\text{m}$ とした。これらの構造のマスター媒体は、凸部のみでなく、凹部にも $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜が存在する。第3の構造は、Si基板上に $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜を形成した後、フォトリソグラフィーにより $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜をパターンニングしたものである。凸部にのみ $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜を残し、凹部は $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ 膜を完全に除去した。これ以降、第1、第2、第3の構造を、それぞれ凹部の深さ d が 0.2 、 $0.5\ \mu\text{m}$ 、及び ∞ と称する。パターン幅は $2.5\ \mu\text{m}$ とした。

スレーブ媒体としては、Hi8方式VTR用金属粉末塗布型テープ(MPテープ)とDVC(Digital Video Cassette)用蒸着テープ(MEテープ)を使用した。MPテープの膜厚 t 、飽和磁化 M_s 、保磁力 H_c は、それぞれ $0.3\ \mu\text{m}$ 、 $300\ \text{emu/cm}^3$ 、 $2\ \text{kOe}$ である。MEテープの t 、 M_s 、 H_c は、それぞれ $0.2\ \mu\text{m}$ 、 $500\ \text{emu/cm}^3$ 、 $1.5\ \text{kOe}$ 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、まずスレーブ媒体を一方方向に初期磁化し、次に、このスレーブ媒体にマスター媒体を接触させて、初期磁化と反対向きに直流転写磁界 H_a を印加する。本研究においては、MPテープに対しては、このような方法で転写を行った。一方、MEテープに対しては、転写磁化状態を明らかにするために、初期磁化は行わずに、DVCデッキ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⁹⁾。

転写された磁化状態の観察はビッター現像法により行った。その際、ME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。

実験と対比させるために、上記マスター媒体と同様の構造を有する磁性層に磁界を印加した際の、磁性層近傍の磁界分布を有限要素法により検討した。なお、トラック幅はビット長に比べて十分広いと仮定し、2次元近似計算を行った。磁性層の M_s は $1900\ \text{emu/cm}^3$ とした。また、パターン幅としては、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以外に、より短いビット長に対応する、 0.4 及び $0.1\ \mu\text{m}$ についてもシミュレーションを行った。

3. 結果及び考察

3.1 初期磁化されたスレーブ媒体への転写結果

Fig. 1に、最適転写磁界で転写されたMPテープのビッター現像写真を示す。ここで最適転写磁界とは、スレーブ媒体に転写された磁化の、磁化遷移領域における変化量が最も大きくなるような転写磁界のことであり¹⁰⁾、いずれの d のマスター媒体に対しても2 kOeである。MPテープに対しては、初期磁化後、転写を行った。Fig. 1 (a), (b), (c)は、それぞれ d が0.2, 0.5 μm 及び ∞ のマスター媒体を用いた場合の転写パターンである。いずれの構造においても、マスター媒体の凹凸境界に対応する部分のみに磁性粒子が付着している⁴⁾。これらの写真からは、マスター媒体の凹凸境界部で磁化が反転しており、それ以外では磁化が一樣になっていることが推定される。さらに、Fig. 1における磁性粒子の付着量から、 $d=0.5 \mu\text{m}$ で $d=\infty$ とほぼ同等の転写特性が得られ、 $d=0.2 \mu\text{m}$ では、これらに比べ転写特性が低いことが推定される。

しかし、Fig. 1の結果だけから、上記のような結論を出すことはできない。なぜならば、ビッター現像法は感度があまり高くないからである。すなわち、磁化変化の大きい部分には磁性粉末が明瞭に付着するが、磁化変化の緩やかな部分には磁性粉末の付着が少なく、確認が困難なためである。そこで、マスター媒体の磁性膜エッジ部以外で、転写された磁化がどのようなになっているかを、シミュレーション及びDVCデッキで記録されたME

Fig. 1 Bitter patterns of an initially magnetized MP tape duplicated by using a master medium with L of 2.5 μm and d of (a) 0.2 μm , (b) 0.5 μm , and (c) ∞ .

テープを用いる転写方法によって検討した。なお、以下では、Fig. 1において、磁性粒子が付着している部分、すなわちマスター媒体の磁性膜エッジ部に対応する部分を磁化遷移領域、それ以外の部分を磁化遷移領域間と呼ぶ。

3.2 シミュレーションにより求めた磁界分布

Fig. 2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。 t が磁性膜の膜厚、 d が凹部の深さ、上側に並んでいる磁性膜が凸部の磁性膜、下側に並んでいる磁性膜が凹部の磁性膜である。スレーブ媒体を上側の磁性膜の上部に接触させて転写する。

Fig. 3は、 $L=2.5 \mu\text{m}$, $t=0.2 \mu\text{m}$, $d=0.2, 0.5 \mu\text{m}$ 及び ∞ として、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である。この計算において、2 kOeの磁界をダウントラック方向に印加した。Fig. 3の縦軸は、Fig. 2の上側の磁性膜表面から約0.03 μm 離れた要素における磁界のマスター磁性膜の長さ方向成分(ダウントラック方向成分)、横軸は位置であり、同図の上部に磁性膜の位置を示してある。このような位置の磁界に着目したのは、スレーブ媒体表面近傍の磁界が転写にとって重要だからである。

Fig. 2 Magnetic film configuration of the master medium used in the simulation.

Fig. 3 Simulated magnetic field near the master medium with L of 2.5 μm .

最適転写磁界で転写されたスレーブ媒体の磁化分布は、近似的に Fig. 3 で示される磁界分布に近いので^{5), 9)}、以下、Fig. 3 に基づいて考察を行う。転写されたスレーブ媒体をビッター現像した際に、磁化遷移領域に付着する磁性粒子の量は、その部分の磁化の変化量に対応する。すなわち、Fig. 3 において、凸部の磁性膜と凹部の磁性膜の境界部の磁界の変化量が、スレーブ媒体に付着する磁性粒子量に対応する。そこで、この部分の磁界の変化量と Fig. 1 の写真を比較する。この変化量は、例えば $d = \infty$ の場合には、Fig. 3 の曲線において、p 点の磁界から q 点の磁界を差し引いた値である。このような比較を行うと、Fig. 3 において、 $d = \infty$ と $d = 0.5 \mu\text{m}$ の変化量はほぼ等しく、 $d = 0.2 \mu\text{m}$ の場合は明らかに変化量が小さい。従って、磁化遷移領域に関しては、シミュレーション結果と実験結果が良く一致していると言える。

一方、Fig. 3 において、磁性膜エッジから離れた領域における磁界分布を見ると、 $d = 0.5 \mu\text{m}$ の場合は、 $d = \infty$ とかなり異なっている。従って、転写された磁化に、この磁界分布が反映されているものと推定されるが、Fig. 1 からは、それが全く不明である。

3.3 DVC で記録された ME テープを用いた場合の転写結果

磁化遷移領域間の転写磁化状態を明らかにするために、初期磁化するかわりに、磁気ヘッドでビデオ信号を記録したテープをスレーブ媒体として使用した。すなわち、ビデオ信号の記録された ME テープをマスター媒体と接触させて、転写を行った。なお、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. 4 に示す。

Fig. 5 は、DVC デッキで記録した ME テープにマスター媒体を接触させて、最適転写磁界 1.8 kOe で転写した場合のビッター現像写真である。Fig. 5 (a), (b), (c) は、それぞれ d が $0.2 \mu\text{m}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ 及び ∞ の場合である。なお、転写磁界方向はテープ走行方向とした。Fig. 5 (c) で示される $d = \infty$ 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様に残っており、磁性膜と接触していない部分はほぼ一様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 H_a 印加前の状態を保っており、接触していない部分は、 H_a の向きに一様に磁化が向いていることがわかる。これ

Fig. 4 Bitter pattern of an ME tape recorded on a DVC deck.

は、Fig. 3 で示される $d = \infty$ のシミュレーション結果から予想される磁化状態と一致する。

Fig. 5 (b)より、 $d = 0.5 \mu\text{m}$ の場合は、マスター媒体の磁性膜と接触している領域、すなわちマスター媒体の凸部に対応する領域において、マスター媒体の磁性膜エッジに対応する部分はヘッドで記録された信号が強く残り、磁性膜中央近傍では、弱くなる傾向が認められる。また、マスター媒体の磁性膜と接触していない領域においては、磁性膜エッジに対応する部分では、ヘッドで記録された信号が消え、磁性膜間の中央近傍では、ヘッドで記録された信号が残る傾向が見られる。これは、Fig. 3 で示される $d = 0.5 \mu\text{m}$ のシミュレーション結果から予想される磁化状態と一致する。 $d = 0.2 \mu\text{m}$ においては、Fig. 5 (a)で示されるように、 $d = 0.5 \mu\text{m}$ の場合の傾向がより顕著である。

3.4 $L = 0.4, 0.1 \mu\text{m}$ の場合のシミュレーションによる推定

$L = 2.5 \mu\text{m}$ 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 d 依存性をシミュレーションにより明らかにする。

$L = 0.4 \mu\text{m}$ 、 $t = 0.2 \mu\text{m}$ とし、 d を $0.2, 0.5 \mu\text{m}$ 、 ∞ 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. 6 (a)に、 $L = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $t = 0.1 \mu\text{m}$ 、 d を $0.1, 0.5 \mu\text{m}$ 、 ∞ として計算を行った結果を Fig. 6 (b)に示す。Fig. 6 (a)から、 $L = 0.4 \mu\text{m}$

Fig. 5 Bitter patterns of the ME tape duplicated after recording on a DVC deck by using a master medium with L of $2.5 \mu\text{m}$ and d of (a) $0.2 \mu\text{m}$, (b) $0.5 \mu\text{m}$, and (c) ∞ .

の場合は、 d が $0.2 \mu\text{m}$ 程度でも $d=\infty$ とほぼ同等の転写特性が得られることが期待できる。Fig. 6 (b) から、 $L=0.1 \mu\text{m}$ の場合には、 $d=0.1 \mu\text{m}$ とすれば、凹部に磁性層があっても、凹部に磁性層がない場合と全く同等の転写特性が得られることがわかる。

4. まとめ

マスター媒体の凹部にも磁性膜がある場合の転写特性を検討し、次のことが明らかになった。

(1) パターン幅 L が $2.5 \mu\text{m}$ の場合、凹部に磁性膜のないマスター媒体によって転写されたスレーブ媒体の磁化は、磁化遷移

領域でのみ反転し、磁化遷移領域間ではほぼ一様になっている。しかし凹部にも磁性膜があると、凹部の深さが $0.5 \mu\text{m}$ 程度あっても、それが転写特性に影響を及ぼし、磁化遷移領域間でも磁化が変化する。

(2) $L=2.5 \mu\text{m}$ 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する。

(3) L が 0.4 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、 $0.4 \mu\text{m}$ の場合は、凹部に磁性膜があっても凹部の深さを $0.2 \mu\text{m}$ 程度にすれば、凹部に磁性膜がない場合と同等の転写特性が得られ、 L が $0.1 \mu\text{m}$ の場合は、凹部の深さが $0.1 \mu\text{m}$ 程度であっても、凹部の磁性膜の有無が転写特性に影響を及ぼさないことが明らかになった。

文 献

- 1) W. Bernard and W. Buslik, U. S. Patent 3869711 (1975).
- 2) R. Sugita, T. Kinoshita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, p.2285 (2000).
- 3) M. Nishikawa, K. Komatsu, M. Nagao, A. Kashiwagi and R. Sugita, *ibid.*, p.2288.
- 4) R. Sugita, O. Saito, Y. Nakamura, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **25**, p.643 (2001).
- 5) A. Saito, K. Sato, Y. Takano and E. Yonezawa, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, p.1369 (2001).
- 6) T. Ishida, K. Miyata, N. Komura and T. Takaoka, *ibid.*, 1412.
- 7) A. Saito, E. Yonezawa, Y. Takano and T. Watanabe, *J. Appl. Phys.*, **91**, p.8688 (2002).
- 8) B. R. Baker, *ibid.*, p.8691.
- 9) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *ibid.*, p.8694.
- 10) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa and M. Nagao, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **26**, p.289 (2002).

2002 年 9 月 26 日受理, 2003 年 1 月 17 日採録

Fig. 6 Simulated magnetic field near the master medium with L of (a) $0.4 \mu\text{m}$ and (b) $0.1 \mu\text{m}$.