Effect of Pattern Shape of Master Medium on Bit Printing Characteristics

M. Onose, R. Kawasaki, Y. Tanaka, Y. Kawada, T. Komine, and R. Sugita

Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

In this study, the bit printing characteristics of line and space (L/S), checkerboard, and dot patterns were compared in experiments. The results indicated that the peak-to-peak values of the MFM output of L/S, checkerboard, and dot patterns were almost the same. The optimum printing field for the L/S pattern was the same as that for the checkerboard pattern, whereas the optimum printing field for the dot pattern was lower than those of the L/S and checkerboard patterns. This is because the maximum value of the recording field in the dot pattern was larger than those of the L/S and checkerboard patterns.

Key words: magnetic printing, perpendicular magnetic recording media, bit printing, master pattern

マスター媒体のパターン形状がビット転写特性に及ぼす影響

小野瀬勝・川崎龍太・田中康貴・川田裕介・小峰啓史・杉田龍二

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 (HD) の高記録密度化, 大容量化が進んでおり, サーボ信号の高速, 高精度かつ安価な形成方法が課題となっている。これらの課題を解決すべく磁気転写法が検討されている^{1)~3)}。

田中らはマスターの形状, 特にパターン形状の違いがビット転写特性に及ぼす影響をシミュレーションにより明らかにした⁴⁾。しかし, 実験による評価はまだ行われていない。本研究では, マスター媒体のパターン形状の違いがビット転写特性に及ぼす影響を実験により検討した。

2. 実験方法

本研究では, ライン状 (L/S), チェッカー状及びドット状のパタ

Fig. 1 Schematic diagram of master media with various patterns: (a) line and space (L/S) pattern, (b) checkerboard pattern, and (c) dot pattern.

ーン形状を有するマスター媒体を用いて, 各々のパターンのビット転写特性を比較した。実験に用いたマスター媒体の模式図を Fig. 1 に示す。マスター媒体は, 基板上に FeCo 膜 (Co 30 at.%, 飽和磁化 $M_s = 1900 \text{ emu/cm}^3$) をライン状, チェッカー状及びドット状に形成したものを用いた。FeCo の膜厚を 30 nm, ビット長 L を 100 及び 200 nm とし, チェッカー及びドットのトラック幅 W は, ビット長と等しくした。スレーブ媒体として, 保磁力が約 4.5 kOe の市販 HD を用いた。転写されたスレーブ媒体の磁化状態は, 磁気力顕微鏡 (MFM, PNI 社製 Nano R) を用いて評価した。MFM 探針は, 標準探針 (MFMR) と高分解能探針 (SSS-MFMR) を用いた。いずれも, Si に Co 合金が被膜されている NanoWorld 社製である。標準探針は, Co 合金膜厚が 40 nm, 保磁力 H_c が 300 Oe 及び探針先端曲率半径が約 50 nm である。高分解能探針は, Co 合金膜厚が 20 nm, H_c が 125 Oe 及び探針先端曲率半径が 15 nm 以下である。なお, 探針試料間距離は 10 nm とした。

ビット転写では, Fig. 2 に示すようにスレーブ媒体の膜面垂直方向に初期磁化磁場 H_i を印加し, 記録層を H_i の向きに初期磁化した後, スレーブ媒体にマスター媒体を接触させ, H_i とは逆向きに転写磁場 H_a を印加する。

Fig. 2 Schematic diagram of bit printing process. (a) Initial magnetization process. (b) Printing process.

3. 実験結果

3.1 パターン形状の違いがMFM出力に及ぼす影響

ビット長 100 nm 及び 200 nm の L/S, チェッカー及びドットパターンが転写されたスレーブ媒体の MFM 像及び MFM 出力波形を, Fig. 3 及び Fig. 4 にそれぞれ示す. また, MFM 像に対応したマ

(a) L/S pattern

(b) Checkerboard pattern

(c) Dot pattern

Fig. 3 Plan view of master media, MFM images and waveform of (a) L/S, (b) checkerboard, and (c) dot patterns in the bit-printed media with bit length of 100 nm.

スター媒体の平面図を Figs. 3, 4 に示す. なお, MFM 探針は標準探針を用いた. 出力波形は MFM 像中の白線部を抽出した. 図中に示されるマスター媒体の平面図において, グレー部は磁性膜がある部分, 白色部は磁性膜がない部分である. また, MFM 像中において, 明部が上向き磁場, 暗部が下向き磁場である. スレーブ媒体は上向きに初期磁化しており, マスター磁性膜接触部で磁化が下向

(a) L/S pattern

(b) Checkerboard pattern

(c) Dot pattern

Fig. 4 Plan view of master media, MFM images and waveform of (a) L/S, (b) checkerboard, and (c) dot patterns in the bit-printed media with bit length of 200 nm.

きに反転する。すなわち、MFM 像中において、明部は初期磁化部、暗部は転写による磁化反転部を示している。L/S 及びチェッカーパターンは、ビット長 100 nm の場合転写磁場を 4 kOe とし、ビット長 200 nm の場合転写磁場を 5 kOe とした。ドットパターンは、いずれのビット長においても転写磁場を 3 kOe とした。これらは、各々のパターンに対して MFM 出力が最大となる転写磁場である(以下、この転写磁場を最適転写磁場と称する)。Fig. 3 及び Fig. 4 に示されるように、ビット長 100 nm 及び 200 nm のいずれのパターンにおいても、マスターパターン形状を反映した MFM 像が得られた。また、いずれの再生波形もほぼ正弦波となっており、マスター磁性膜接触部で下向きに、非接触部で上向きに磁化されていることがわかる。Fig. 4 より、ビット長 200 nm では、L/S、チェッカー及びドットでほぼ同等の出力が得られていることがわかる。この結果は、以前のシミュレーション⁹⁾とも一致している。一方、ビット長が 100 nm の場合には、Fig. 3 からわかるように、チェッカー及びドットに比べて L/S の出力の方が高くなり、以前のシミュレーションとは一致していない。

3.2 転写特性の転写磁場依存性

ビット長 100 nm 及び 200 nm の L/S、チェッカー及びドットパターンにおける MFM 出力の転写磁場依存性を Fig. 5 に示す。いずれのビット長でも、ドットの最適転写磁場は L/S 及びチェッカーに比べて低くなっていることがわかる。この原因は、ドットパターンを用いた場合に記録層に印加される磁場の最大値が L/S 及び

(a) 100 nm

(b) 200 nm

Fig. 5 Printing field dependence of peak-to-peak value of MFM output in the L/S, checkerboard, and dot patterns of bit-printed media with bit lengths of (a) 100 nm and (b) 200 nm.

チェッカーに比べて大きいためであると推察される⁹⁾。ビット長 200 nm のとき、最適転写磁場における MFM 出力が、いずれのパターンにおいても同等であるのに対し、ビット長 100 nm のとき、最適転写磁場における MFM 出力が、L/S に比べてチェッカー及びドットで低くなっている原因は、MFM 探針先端の曲率半径によるものと推察される。そこで、高分解能探針を用いた測定を行ったので、その結果を次節で説明する。

3.3 高分解能探針を用いた測定及び考察

3.1 節及び 3.2 節の結果で用いた MFM 標準探針の曲率半径は約 50 nm である。ビット長が短い場合、L/S パターンではクロストラック方向の隣接ビットは MFM 出力に影響を及ぼさない。一方、チェッカーやドットパターンではクロストラック方向の隣接ビットからの漏れ磁場が出力を低下させる可能性がある。そこで、高分解能探針を用いて、MFM 出力を測定し、隣接ビットの影響について検討した。ビット長 100 nm の L/S 及びチェッカーにおける MFM 像、MFM 出力波形及びマスター媒体の平面図を Fig. 6 に示す。出力波形は MFM 像中の白線部を抽出した。転写磁場は 4 kOe とし

Fig. 6 (a) Plan view of master media. (b) MFM images of L/S and checkerboard patterns of bit-printed media with bit length of 100 nm. (c) MFM output waveform in the L/S and checkerboard patterns.

Table 1 Peak-to-peak values of the MFM output in the L/S and checkerboard patterns of bit-printed media with bit length of 100 nm obtained by normal and super sharp probes.

	MFM output [a.u.]	
	Normal probe	Super sharp probe
L/S pattern	154	49
Checkerboard pattern	131	53

た. 標準探針及び高分解能探針で測定した場合の L/S とチェッカーの平均出力を Table 1 に示す. 標準探針を用いた場合は, チェッカーに比べて L/S の方が出力が高いが, 高分解能探針を用いた場合, L/S とチェッカーでほぼ同等の出力となっている. これは, MFM 測定時に, 探針の曲率半径の減少に伴い, クロストラック方向のビット間干渉が起こらなくなったためと推察される. 従って, 前節の MFM 出力の相違は MFM 探針の分解能によるものであり, 転写された磁化強度に相違はなく, ビット長 100 nm の場合においても, L/S , チェッカー及びドットでほぼ同等の出力が得られると推察される. これは以前のシミュレーション⁶⁾とも一致している.

4. まとめ

本研究では, マスター媒体のパターン形状の違いがビット転写特性に及ぼす影響を, 実験により検討した. その結果, 次のことが明らかになった.

- (1) ビット転写されたスレーブ媒体からの再生波形は, L/S , チェッカー及びドットパターンともに相違はない.
- (2) L/S とチェッカーのビット転写特性はほぼ同等である.
- (3) ドットの最適転写磁場は L/S 及びチェッカーに比べて低い.

謝辞 本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) No.21360159 の支援により行われました. 富士フイルム (株) の皆様にご協力, ご議論を頂きました. 東陽テクニカ (株) 様には MFM 測定に関してご指導を頂きました. ここに深謝致します.

References

- 1) R. Sugita, T. Kinoshita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa, and M. Nagao: *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 2285 (2000).
- 2) R. Sugita, O. Saito, T. Muranoi, M. Nishikawa, and M. Nagao: *J. Appl. Phys.*, **91**, 8694 (2002).
- 3) A. Saito, T. Hamada, T. Ishida, Y. Takano, and E. Yonezawa: *IEEE Trans. Magn.*, **38**, 2195 (2002).
- 4) A. Saito, T. Ono, and S. Takenoiri: *IEEE Trans. Magn.*, **39**, 2234 (2003).
- 5) M. Nishikawa, S. Wakamatsu, K. Ichikawa, T. Usa, M. Nagao, T. Ishioka, T. Yasunaga, T. Komine, and R. Sugita: *IEEE Trans. Magn.*, **42**, 2612 (2006).
- 6) Y. Tanaka, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **34**, 59 (2010).

2010 年 10 月 20 日受理, 2011 年 03 月 24 日採録