Perpendicular Magnetic Printing Characteristics along Cross-track Direction on ECC Media

T. Kawamae, T. Komine, and R. Sugita

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

Magnetic printing characteristics along the cross-track direction on ECC media were investigated by using micromagnetic simulation. There is an optimum printing field in which the difference between ideal and calculated magnetization distributions is minimum except for checker patterns in edge printing. It was clarified that the difference in bit printing was smaller than that in edge printing. When the bit size becomes smaller, the ratio of the difference to the track pitch became larger. The difference in dot patterns was smaller than that in checker patterns for bit printing, whereas the difference in checker patterns was smaller than that in dot patterns for edge printing.

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

ECC 媒体におけるクロストラック方向の磁気転写特性

川前武士・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

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書き込む方法として期待されている^{1)~3)}。垂直記録媒体（スレーブ媒体）に対する磁気転写法には、スレーブ媒体に対し垂直に外部磁場を印加して転写するビット転写（Bit Printing, BP）と、水平に外部磁場を印加して転写するエッジ転写（Edge Printing, EP）がある^{4),5)}。サーボ信号書き込み時にクロストラック方向における磁化状態の乱れが存在すると、再生時にエラーの原因になると考えられる。しかし、クロストラック方向に着目した磁気転写特性の検討は十分でない。本研究では、マイクロマグネティックシミュレーションを用いて、ECC媒体におけるBP及びEPのクロストラック方向の磁気転写特性を解析した。

2. シミュレーション方法

BP では、マスター磁性膜として垂直磁気異方性を有するCoPtを想定した⁶⁾。飽和磁化 M_s を 1300 emu/cm^3 とし、異方性磁場 H_k を 15 kOe 、正規分布を用いて与えた異方性磁場分散 σ_{H_k} を H_k の10%とした。BPでは、初めに、スレーブ媒体垂直方向に初期磁場を印加し、記録層をDC消磁する。次にマスター磁性膜をスレーブ媒体に接触させ、初期磁場と逆向きに転写磁場 H_a を印加する。転写磁場 H_a によって、マスター磁性膜部に接触している記録層磁化が反転し、サーボ信号が記録される。

EPでは、マスター磁性膜としてFeCoを想定した⁶⁾。 M_s を 1900 emu/cm^3 とし、 $H_k = 0 \text{ Oe}$ とした。EPでは、BPと同様にスレーブ媒体を初期磁化し、マスター磁性膜をスレーブ媒体に接触させる。その後、ダウントラック方向に転写磁場 H_a を印加する。転写磁場 H_a を印加すると、マスター磁性膜のエッジ部に磁場の垂直成分が発生する。記録磁場の垂直成分により、記録層磁化が反転し、サーボ信号

が記録される。

計算領域を1辺5 nmの立方体で離散化し、Landau-Lifshitz-Gilbert方程式を用いてマスター媒体磁性膜磁化及び記録層に生じる記録磁場を計算した。求めた記録磁場を用いて記録層の磁化状態を計算した。シミュレーションモデルをFig. 1に示す。転写磁場印加時における立ち上がり時間を0 secとして計算した。サーボパターンとしてDotパターン及びCheckerパターンを想定した。各々のマスター磁性膜の形状をFig. 1(a)及び(b)に示す。マスター磁性膜及びスレーブ媒体の側面図をFig. 1(c)に示す。マスター磁性層及び記録層間の磁気スペーシングを5 nmとし、記録層は硬磁性層と軟磁性層で構成されたECC媒体⁷⁾を想定した。ECC媒体は粒径5 nmの磁性粒子で構成されているとした。硬磁性層、及び軟磁性層の異方性磁場 H_k を 15 kOe および 5 kOe とした。いずれの層においても、 M_s を 400 emu/cm^3 、 σ_{H_k} を H_k の10%、配向角度分散 $\Delta\theta_0$ を 10 deg. とした。硬磁性層の粒子内交換結合定数を $1.0 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$ 、両磁性層の粒子間交換結合定数を $1.0 \times 10^{-7} \text{ erg/cm}$ 、層間交換結合定数を $3.0 \times 10^{-7} \text{ erg/cm}$ とした⁷⁾。以前の研究^{7),8)}によりマスター磁性膜のサイズを所望のビットサイズよりも小さくすると転写特性が向上するため、本研究でもマスター磁性膜サイズを所望のビットサイズよりも小さく設定した。

初めに、理想的に転写されたサーボ信号のビットサイズとしてビット長 $BL = 35 \text{ nm}$ 、トラックピッチ $T_p = 50 \text{ nm}$ を想定し、マスター媒体の磁性膜サイズを $L \text{ nm} \times W \text{ nm}$ として、転写特性の転写磁場依存性を調べた。

次に、ビットサイズを $25 \text{ nm} \times 35 \text{ nm}$ 及び $50 \text{ nm} \times 70 \text{ nm}$ と変えて、転写特性のビットサイズ依存性を調べた。ビットサイズに対するBP及びEPのマスター磁性膜サイズをTable 1に示す。

Fig. 1 Simulation model.

Table 1 Bit size and master pattern size of patterned magnetic film.

Bit size, $BL \times T_p$ [nm ²]	Master pattern size, $L \times W$ [nm ²]	
	BP	EP
25 × 35	15 × 25	25 × 15
35 × 50	25 × 40	35 × 20
50 × 70	40 × 60	50 × 40

Fig. 2 Difference between ideal and calculated magnetizations, $|\Delta d|$, on center of bit length.

記録層に転写された磁化反転領域を評価するために、クロストラック方向(y方向)における理想的な磁化状態との差 $|\Delta d|$ をFig. 2のように定義した。 $|\Delta d|$ の算出には、記録層表面の磁化を用いた。Fig. 2の白い部分は磁化が+z方

向を向いていることを表し、黒い部分は磁化が-z方向を向いていることを表している。ビット長の中心線上における磁化反転領域の端と理想的磁化状態の磁化反転領域の端の差を各ビットにわたって平均した値を $|\Delta d|$ とした。ECC媒体における磁気特性の分散を考慮し、各箇所では理想状態との差を96箇所(Fig. 2のDotパターンにはドットが12個あり、磁気特性の分散を吸収するため、4回計算を行い、1個のドットにつき上部と下部の2箇所の値を求めたので、 $12 \times 2 \times 4 = 96$ 箇所)で調べ平均した値を $|\Delta d|$ とした。また、本研究では $|\Delta d|$ が最小となる転写磁場を最適転写磁場 H_a^{opt} とした。

3. シミュレーション結果

3.1 転写磁場依存性

転写磁場 H_a を変化させてスレーブ媒体にDotパターンをビット転写した記録層表面の磁化状態をFig. 3に示す。ビットサイズは $35 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$ とし、マスター磁性膜サイズを $25 \text{ nm} \times 40 \text{ nm}$ とした。図の横方向がダウントラック方向、縦方向がクロストラック方向である。記録層の初期磁化は $M_z/M_s = +1$ とし、 H_a を-z方向に印加した。Fig. 3より $H_a^{\text{opt}} = 4 \text{ kOe}$ で理想的な磁化状態と同等の転写が得られた。

Checkerパターンをビット転写した記録層の磁化状態をFig. 4に示す。 $|\Delta d|$ が最小となる転写磁場 H_a は 6 kOe であったが、いずれの磁化状態も、理想的な磁化状態に比べ、パターン形状が乱れていることがわかる。

ビット転写において H_a^{opt} を印加したときの、Dot及びCheckerパターンのクロストラック方向における記録磁場の垂直成分をFig. 5に示す。なお、記録磁場分布は、マスター磁性膜の中心線上の値をプロットした。転写状態の違いはCheckerパターン及びDotパターン周囲の磁性膜が占める面積に関係している。Checkerパターンは、Dotパター

Fig. 3 Magnetization distributions for printed recording layer with various printing fields H_a for BP.

Fig. 4 Magnetization distributions for printed recording layer with various printing fields H_a for BP.

Fig. 5 Perpendicular component of recording field at center of bit length with BP.

ンに比べてパターンが密集しているため、Fig. 5 に示すように、磁性膜に吸い込まれる磁束が減少し、転写磁場の垂直成分が減少する。その結果、転写されたパターンの形状が乱れたと考えられる。

次に、転写磁場 H_a を変化させてスレーブ媒体にエッジ転写を行った。マスター磁性膜サイズを $35 \text{ nm} \times 20 \text{ nm}$ とした。転写磁場 H_a をダウントラック (x 方向) に印加した。Dot パターンをエッジ転写した記録層表面の磁化状態を Fig. 6 に示す。Fig. 6 より $H_a^{\text{opt}} = 5 \text{ kOe}$ であったが、理想的な磁化状態と比較すると、クロストラック方向において磁化転移ラインにばらつきがあることがわかる。Checker パターンをエッジ転写した記録層表面の磁化状態を Fig. 7 に示す。Fig. 7 より、Checker パターンは Dot パターンよりクロストラック方向の磁化転移ラインの乱れが少ないことがわかる。

エッジ転写において H_a^{opt} を印加したときの、Dot 及び

Fig. 6 Magnetization distributions for printed recording layer with various printing fields H_a for EP.

Fig. 7 Magnetization distributions for printed recording layer with various printing fields H_a for EP.

Checker パターンのクロストラック方向における記録磁場の垂直成分を Fig. 8 に示す。なお、記録磁場分布は、記録層表面の理想的な磁化反転領域の中心線上の値をプロットした。Fig. 8 より、Dot パターンでは、マスター磁性膜接触部でのみ記録磁場が負である。一方、Checker パターンでは、マスター磁性膜がある部分では記録磁場が負であり、無い部分では正である。また、Dot パターンにおける記録磁場は Checker パターンよりも低く、端部の磁場勾配が緩やかである。以上の理由から、Dot パターンにおいてクロストラック方向の磁化転移ラインが乱れたと推察される。

Fig. 8 Perpendicular component of recording field at center of bit length with EP.

Fig. 9 Dependence of $|\Delta d|$ on printing field for various printing methods and patterns.

転写方法及び各パターンに対する $|\Delta d|$ の転写磁場依存性を Fig. 9 に示す。Fig. 9 より、ビット転写では $|\Delta d|$ が最小となる最適転写磁場が各パターンで異なっている。また、エッジ転写の Checker パターンでは最適転写磁場が存在せず、転写磁場 H_a が高いほど優れた転写特性が得られることがわかる。Checker パターンでは、記録磁場の垂直成分により、記録層の磁化が飽和したため、 $|\Delta d|$ も飽和したと考えられる。

3.2 ビットサイズ依存性

ビットサイズ変化させてスレーブ媒体に転写した場合の $|\Delta d|$ の割合を Fig. 10 に示す。横軸はビットサイズの逆数を表し、縦軸はトラックピッチ T_p に対するクロストラック方向の上下の偏差を合わせた $2|\Delta d|$ の割合を示した。転写磁場はそれぞれの最適転写磁場 H_a^{opt} を印加した。Fig. 10 よりビットサイズが小さくなると $|\Delta d|$ の割合が大きくなる。これは、ビットサイズが小さくなると、転写磁場のクロストラック方向の磁場勾配が緩やかになったためである。Fig. 10 より、ビット転写では、Dot パターンより Checker パターンの方が $|\Delta d|$ が大きい、エッジ転写では Checker パターンより Dot パターンの方が $|\Delta d|$ が大きいことがわかる。Fig. 10 より、いずれのパターンに

Fig. 10 Dependence of ratio, $2|\Delta d|/T_p$, on bit size for various printing methods and patterns.

おいてもビット転写の方が $|\Delta d|$ が小さく、エッジ転写の方が磁化転写ラインの乱れが大きかったことがわかった。

4. まとめ

本研究では、マイクロマグネティックシミュレーションを用いて、ECC 媒体に転写された信号のクロストラック方向における磁気転写特性について検討した。エッジ転写の Checker パターン以外では理想的な磁化状態との差($|\Delta d|$)が最小となる転写磁場が存在し、エッジ転写よりビット転写のほうが $|\Delta d|$ が小さいことがわかった。また、ビットサイズを小さくすると、トラックピッチに対する $|\Delta d|$ の割合が大きくなる。ビット転写では Dot パターンの方が $|\Delta d|$ が小さく、エッジ転写では Checker パターンの方が $|\Delta d|$ が小さいことがわかった。また、ビット転写はエッジ転写に比べてより高密度でも十分なサーボ信号品質を有すると推察される。

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(21360159)の支援により行われました。また富士フイルム(株)の皆様にご協力、ご議論を頂きました。ここに深謝致します。

References

- 1) T. Komine, T. Murata, and R. Sugita: *IEEE Trans. Magn.*, **44**, 3416 (2008).
- 2) Y. Sakaguchi, T. Murata, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **32**, 221 (2008).
- 3) T. Murata, Y. Sakaguchi, A. Izumi, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **32**, 230 (2008).
- 4) K. Tanabe, T. Saito, N. Sheeda, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **34**, 173 (2010).
- 5) M. Onose, R. Kawasaki, Y. Tanaka, Y. Kawada, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **35**, 356 (2011).
- 6) M. Nakazawa, H. Konishi, N. Sheeda, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **33**, 64 (2009).
- 7) T. Murakoshi, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **34**, 200 (2010).
- 8) T. Kawamae, T. Komine, and R. Sugita: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **35**, 335 (2011).

2011年10月27日受理, 2012年3月16日採録