塗布型垂直磁気記録媒体の記録状態についての一検討

A Study on Recorded Transitions in Particulate Perpendicular Recording Media

末岡邦昭・K. Abkemeier*・K. G. Ashar**

日本アイ・ビー・エム(株), 東京基礎研究所, 東京都千代田区三番町 5-19 (●102)

*プリンストン大学, プリンストン, ニュージャージー 08544, アメリカ合衆国

**アイ・ビー・エム・コーポレーション, 5600 カトルロード, サンノゼ, カリフォルニア 95193, アメリカ合衆国

K. Sueoka, K. Abkemeier and K. G. Ashar

IBM Research, Tokyo Research Laboratory, 5-19, Sanbancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102

*Princeton Univ., Princeton, NJ 08544, U.S.A.

**IBM Corp. GPD, 5600 Cottle Road, San Jose, CA 95193, U.S.A.

The shapes of recorded transitions in a perpendicular recording medium were studied experimentally, using a large-scale model consisting of a single pole head and a particulate recording layer with an underlayer. Magnetization distributions were obtained from the measured magnetic field distributions at the medium surface. The results show that the shapes of the transitions strongly depend on the write current values and the initial erasing conditions. The optimum write current for the large-scale medium corresponds to the value that generates a field 2.6 times larger than the coercivity at the center of the medium.

1. はじめに

垂直磁気記録方式は、高密度の磁気記録を達成するための方式として盛んに研究が進められている。この方式のうちでも、単磁極ヘッドと二層媒体の組合せはその優れた特性から、実用化が有望視されている。この方式において、記録媒体に書き込まれる磁化形状について調べることは、その記録特性を把握する上で重要である。これまでの垂直媒体の磁化形状の研究としてはビッター法によるもの^{1),2)}、再生電圧からの逆算によるもの³⁾、数値シミュレーションによるもの⁴⁾などが挙げられる。

我々は 5000 倍の垂直磁気記録の拡大モデルを作成し、これを用いて種々の特性を調べて来た⁵⁾。今回は拡大モデル媒体からの漏れ磁界分布を測定し、この分布から媒体中の磁化分布を算出した。この結果により二層媒体に書き込まれる磁化形状について検討を行った。本論文では、その実験および磁化の算出法について述べ、さらに、記録された磁化形状の記録電流および初期消磁状態依存性について得られた結果を報告する。

2. 実験方法

Fig. 1 に、媒体の磁化分布を算出するために必要な媒体からの漏れ磁界の分布を測定する装置構成を示す。単磁極ヘッドと二層媒体の組合せのシステムの 5000 倍の拡大モデルである。ヘッドは補助磁極を持ち、トラック幅 50[mm]、主磁極厚 4[mm] である。二層媒体の記録層は Ba-ferrite 磁性粒子を NBR 樹脂で厚さ 1[mm] の板状に成形したものであり、垂直方向の磁気異方性は作成時に膜厚方向に加压することで磁性粒子を配向させることにより得ている。Fig. 2 にカーブ・トレースで測定した記録層の垂直方向の磁気特性を示す。保磁力 875[Oe]、飽和磁化 134[emu/cc] であり、角形比のよい ($S=0.95$) 良好な特性を示していることがわかる。実験においては、この記録層を主磁極のトラック幅よりも狭くしたものを用意し (47[mm])、媒体からの漏れ磁界測定時にトラック外からの影響をなくすようにした。また、裏打ち層は 5[mm] 厚の PB パーマロイ ($B_s > 1.4[T]$) を用いており、透磁率は 3000 程度である。

Fig. 1 Experimental setup.

Fig. 2 B-H loop of recording layer.

Fig. 3 Model of calculation.

磁化遷移の書き込みの際には、まず最初に媒体を一方方向に直流消磁した。この直流消磁の際の印加磁界は記録層中央部の値にして、7500[Oe]である。孤立磁化遷移書き込み時の印加磁界反転時には媒体は停止した。また、書き込み時におけるヘッド/媒体スペーシングは0.5[mm]とした。

媒体からの漏れ磁界分布は書き込みのヘッドを取り去った後に、ホール・プローブで測定した。ホール・プローブをトラック中央部の媒体上に置き、媒体表面に沿って動かし、磁界を測定する。このホール・プローブのセンス部の大きさは $50 \times 50[\mu\text{m}^2]$ であり、媒体表面から0.5[mm]離れた位置の磁界のy方向成分を測定している。また、測定間隔は0.25[mm]とした。

3. 磁化の導出

Fig. 3に媒体の磁化を算出するための座標系とパラメータを示す。y軸の原点は記録層表面にとっている。算出においては記録層をトラック方向に幅 Δx のn個の領域に分割し、さらに以下のように仮定する。

(1) 分割された領域内で磁化は一定であり、y方向成分のみを持つ。

(2) 裏打ち層の透磁率は無限大とする。

このような仮定を置くと、測定した漏れ磁界 $h_{y,i}$ と記録層中の磁化 $m_{y,j}$ との関係は、以下のように書き表すことができる。

$$h_{y,i} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \sum_j \int_{x_i-\Delta x/2}^{x_i+\Delta x/2} d\xi \int_{-2t-\epsilon}^{0+\epsilon} d\eta \int_{-w/2}^{w/2} d\zeta \frac{m_{y,j} \{\delta(\eta) - \delta(\eta+2t)\} (y_i - \eta)}{\{(x_i - \xi)^2 + (y_i - \eta)^2 + (z_i - \zeta)^2\}^{3/2}} \quad (\epsilon > 0) \quad (1)$$

ここで、 $\delta(x)$ はDiracのデルタ関数である。さらに形式的に行列Aを用いて次のように書き表せる。

$$\{h_{y,i}\} = A \{m_{y,j}\} \quad (2)$$

ただし、行列 $A = \{a_{ij}\}$ の第1, n列の要素については、測定範囲外の磁化の値は測定した領域の端の値を持つ($m_y = m_{y,1}$: $x < 0$, $m_y = m_{y,n}$: $x > n \cdot \Delta x$)として、以下のようにその寄与を取り込んでいる。

$$a_{ij} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \int_{-\infty}^{x_i+\Delta x/2} d\xi \int_{-2t-\epsilon}^{0+\epsilon} d\eta \int_{-w/2}^{w/2} d\zeta \frac{\{\delta(\eta) - \delta(\eta+2t)\} (y_i - \eta)}{\{(x_i - \xi)^2 + (y_i - \eta)^2 + (z_i - \zeta)^2\}^{3/2}} \quad (j=1) \\ = \frac{1}{4\pi\mu_0} \int_{x_i-\Delta x/2}^{\infty} d\xi \int_{-2t-\epsilon}^{0+\epsilon} d\eta \int_{-w/2}^{w/2} d\zeta \frac{\{\delta(\eta) - \delta(\eta+2t)\} (y_i - \eta)}{\{(x_i - \xi)^2 + (y_i - \eta)^2 + (z_i - \zeta)^2\}^{3/2}} \quad (j=n) \quad (3)$$

さらに、この行列Aの逆行列を求め、測定された磁界分布 $\{h_{y,i}\}$ に乗ずることにより、記録層中の磁化分布 $\{m_{y,i}\}$ が求まる。

4. 実験結果

Fig. 4に測定した磁界分布とそれから算出した媒体の磁化分布を示す。x軸はトラック方向にとった距離であり、実際の磁気記録装置の5000倍の値に相当する。書き込みヘッド進行方向はx軸の正の向きである。また、 $\Delta x = 0.25[\text{mm}]$ としている。この結果は書き込み電流 $I_w = 0.3[\text{A}]$ の場合のものである。図に示されるように垂直磁気記録の孤立磁化遷移の磁化は、磁気ヘッドの進行方向側で急激に、反対側で緩やかに変化する非対称な形状となっている。以下では、この磁化形状の記録電流と初期消磁状態に対する依存性について述べる。

条件(1)

Fig. 5(a)に示すように媒体を一方方向に直流消磁した後、記録層の磁化と逆方向の書き込み磁界を印加し磁化反転書き込み位置で印加磁界を反転させる場合に、書き込み電流 I_w を0.1, 0.5[A]と変化させた場合の媒体中の磁化分布をFig. 6に示す。書き込み電流が小さな場合

Fig. 4 Measured magnetic field distribution and magnetization distribution calculated from the field distribution.

Fig. 5 Conditions of writing.

($I_w = 0.1$ [A]), 磁化反転領域の幅が大きくなっている。この原因として、この場合媒体に印加される書き込み磁界は媒体中央部で 800 [Oe] 程度であり、この値は記録層の保磁力と同程度である。このため、印加磁界反転直前の媒体の状態は消磁状態に近い状態となっている。この状態の媒体に、記録電流を反転して逆方向の保磁力程度の書き込み磁界を加えると、印加磁界の分布に従って消磁状態からの磁化曲線の上に磁化の値が分布する状態を経て、媒体の磁化が書き込まれる。このため、磁化遷移の傾きの鈍りが生じているものと思われる。さらに書き込み電流を増加していくと、本来の急峻な磁化遷移の形状となる。

Fig. 6 Magnetization distributions. (case-1), (a) $I_w = 0.5$ [A], (b) $I_w = 0.1$ [A].

Fig. 7 Magnetization distributions. (case-2), (a) $I_w = 0.5$ [A], (b) $I_w = 0.1$ [A].

条件 (2)

Fig. 5(b) に示すように、最初に直流消磁された向きと同一方向に書き込み磁界を加え、その後に反転させた場合の書き込み電流値による媒体の磁化分布の変化を Fig. 7 に示す。この場合、書き込み電流の小さな場合には、図に示されるように磁化反転位置で磁化分布にオーバーシュートが生ずる。これは直流消磁された記録層の磁化の生ずる反転界が書き込み磁界に加算される形で書き込み磁界反転時に働くために生ずる。さらに、書き込み電流を増加させると条件 (1) の場合と同様な遷移形状に変化する。

これらの結果をまとめて整理するために Fig. 8 に示すような磁化遷移形状の特徴を表すパラメーターを定義する。磁化遷移距離 L_t は磁化が反転始めて全体の変

Fig. 8 Definition of parameters which describe characteristics of transitions.

化の 10% から 90% まで変化するために必要な距離である。 p は磁化遷移のオーバershootに関連するパラメータである。 Fig. 9 にこれらのパラメータの記録電流依存性を示す。 図の x 軸には記録電流の値と、それぞれの電流値に対応する記録層中央部の印加磁界の値を示している。 条件 (1) の場合、磁化遷移距離 L_t は記録電流の増加とともにいったん減少し、さらに電流を増加すると増加を始める。 この L_t が極小値をとる時の印加磁界の値は 2300[G] 程度であり、これは記録層の保磁力の 2.6 倍の値である。 この場合、 p は記録電流の小さな領域で増大傾向を示すが変化は小さい。 条件 (2) の場合には磁化遷移距離 L_t は記録電流の増加とともに単調に増大する。 また、この場合の p は書き込みの十分さの指標となるが、その依存性は、記録電流の増加とともに増大し、ある値以上で飽和する。 この飽和時の印加磁界の値は記録層の保磁力の 2.2 倍程度である。

以上の結果により磁化遷移の急峻さと書き込みの十分さを考慮すると、この拡大媒体に対しては媒体保磁力の 2.6 倍程度の印加磁界を生ずる書き込み電流値が最適である。 また、印加磁界が媒体の保磁力の 5~10 倍の領域においても条件 (1), (2) の磁化遷移距離 L_t に差が生じているが、条件 (1) の場合には印加磁界反転直前の媒体はヘッドのリーディングエッジ側に既に磁化遷移が書き込

Fig. 9 Write current dependence of the characteristic parameters, $\circ$: case-1, $\square$: case-2.

まれた状態にあり、この磁化遷移により、これから書き込まれる磁化遷移の形状が影響を受けているものと思われる。

5. まとめ

拡大モデルを用いて塗布型の垂直磁気記録媒体に記録された磁化遷移形状について検討を行った。 磁化遷移形状は消磁状態および記録電流値によって大きく変化することがわかった。 さらに、この磁化遷移形状の記録電流依存性を調べた。 また、実験で用いた拡大モデル媒体に対しては記録層保磁力の 2.6 倍程度の印加磁界を生ずる記録電流値が最適であった。

文 献

- 1) S. Iwasaki et al.: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-19**, No. 5, 1713 (1983).
- 2) 杉田他: 日本応用磁気学会学術講演会概要集 7aA-10 (1986).
- 3) M. J. Vos et al.: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-22**, No. 5, 373 (1986).
- 4) 山本他: 日本応用磁気学会誌, **12**(2), 147 (1988).
- 5) 末岡他: 日本応用磁気学会誌, **12**(2), 155 (1988).

1988 年 11 月 21 日受理, 1989 年 2 月 10 日採録