3次元 VSM による斜方異方性媒体の磁化解析

Magnetization Analysis in Obliquely Anisotropic Media with a 3-D VSM

松原暢也

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

N. Matsubara

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

The behavior of magnetization vectors in films that are obliquely anisotropic with respect to the film normal, such as ME, MP, and NT tapes, is analyzed by using a vibrating sample magnetometer (VSM) that can detect three-dimensional components of magnetization. The films are asymmetric about the easy or hard direction, and this asymmetry is caused by a shift of the easy direction with a decrease in the macroscopic magnetization. The M - H loops of various applied field directions are qualitatively explained on the basis of the symmetry.

Key words: obliquely deposited film, ME tape, MP tape, NT tape, vectorial magnetization measurement

1. はじめに

斜め蒸着膜をはじめとした膜面方向と膜法線方向の間に容易方向を向けた媒体はその高密度記録の可能性のために注目されている^{1)~4)}。我々は先に斜め蒸着テープでは、薄膜である事による形状異方性と付与された異方性が平行でも直交でもない形で共存しており、面内記録媒体や垂直記録媒体とは異なる磁気特性を示すことを磁化ベクトルの挙動を3次元的に検出できる試料振動型磁力計(VSM)を用いて示した⁵⁾。本稿では、斜め蒸着テープだけでなく、斜めに粒子を配向した状態で塗布されたMPテープ、2方向の斜め蒸着が連続的になされたテープ、および、比較のため一軸異方性を示す塗布型の面内磁気記録媒体の磁化挙動を調べた結果を報告する。

2. 実験方法

試料は斜め蒸着膜として市販されているHi-8用MEテープ*, メタル微粒子を斜めに配向分散した膜としてHi-8用MPテープ*を8mm×8mm角に切ったもの、2方向の斜め蒸着が連続的になされたテープとしてNT(Non-Tracking)テープ*を8mm×2.5mm角に切ったもの、面内磁気記録媒体として $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 塗布型ディスク**

* Sony 社製; ** IBM3390 用ディスク

の中央トラック部を8mm×8mm角に切り出した片面を用いた。

VSMには印加磁界方向(以後 x 方向とする)、試料振動方向(z 方向とする)、および、両者に垂直な方向(y 方向とする)の各磁気モーメント成分を検出する3対の独立した検出コイルが電磁石の極の部分に取り付けられており、電磁石は試料に対し z 軸を軸にして回転する(Fig. 1参照)。試料方位を示す座標系としてテープ走行方向(ディスクの場合は周方向)を r 軸、テープ幅方向(ディスクの場合は半径方向)を w 軸、膜法線方向で磁性層側から非磁性層側へ向かう方向を p 軸とする。本実験ではFig. 2に示す w 軸が z 軸となるように試料を取り付けた場合と r 軸が z 軸となるように取り付けた場合を議論し、 z 軸に垂直な試料の膜面方向(r 軸および w 軸)と印加磁界のなす角を θ とし、 $+x$ 方向にあった磁気モーメントを $+90^\circ$ 回転させた時、 $+y$ 方向の磁気モーメントとなる方向を θ の $+$ 方向とする。

3. 実験結果と考察

はじめにFig. 2に示すように w 軸が z 軸となるように試料を取り付ける。Fig. 3にME(a), MP(b), NTテープ(c)の $\theta=0^\circ$ の時の磁化曲線を示す。面内異方性を持つ媒体では磁化の印加磁界成分(M_x)のみが現れる条件であるが、 y 成分(M_y)がすべての媒体で現れている。

Fig. 1 Coordinate system of VSM.

Fig. 2 A configuration of the samples relative to the VSM. In this configuration, the w axis of the sample coordinate system is taken as the z axis of the VSM coordinate system.

Fig. 3 M - H loops of various media with fields applied in the tape's running direction. Dashed lines correspond to M_x , solid lines to M_y , and dot-dashed lines to M_z .

ME, NT テープでは z 成分 (M_z) はほぼ 0 であるが MP テープでは飽和磁化のほぼ 5% 程度現れている。磁界が形状異方性の軸である膜法線方向と付与された異方性の軸を含む面内に印加された場合、この面外の磁化成分は対称性から現れないので、MP テープでは粒子が r - p 面内ではなく実際のヘッド走行方向に合わせてトラック幅方向にずらして配向されていると考えられる。ME, MP テープの場合強磁界印加状態から印加磁界を減少させると M_y は + 方向に増加しており容易方向が θ 方向、つまり磁化遷移を形成するヘッド後端部の磁界の向きは困難方向に近い事、また、NT テープでは逆向きになっていることがわかる。斜め蒸着テープでは、一般にヘッドが逆向き走行した時に書かれた磁化遷移状態は順方向走行時に書かれたものより再生時の S/N 比が悪い。しかし、NT テープは音情報を対象とし、応用上両方向の記

Fig. 4 M - H loops of various media with fields applied near the hard directions.

録再生が必須なため、逆方向に記録再生した時に十分な信号を得られるように表層の磁性層と膜法線に対して逆向きの異方性を持ち厚みが 2 倍の磁性層が下層としてつけられている^{6), 7)}。このような系でも 2 層の磁化はほ

ば一体となって変化し、逆向きの異方性を持つ層の体積が倍あるために全体の容易方向がMEやMPの場合と膜法線に関して逆になっている。

Fig. 4に各媒体の困難方向付近の磁化曲線を示す。MPテープでも M_z の値は小さいため図では M_z を省き、 M_x 曲線もこの範囲で印加磁界の向きを変えても大きな変化がないので1例のみを示し、 M_y の変化のようすのみを示している。通常の一軸異方性を持つ系は容易方向や困難方向に関して対称となっており、(p)に示す γ -Fe₂O₃塗布型ディスク媒体の場合、困難方向に磁界を印加した場合 M_y は恒等的に0となり、困難方向から傾いた磁界を印加した場合の磁化曲線も困難方向に関して対称となっている。しかし、ME、MP、NTテープの場合はすべて M_y が恒等的に0となる向きはなく、困難方向に関して対称ではない。

この性質を説明するため以下のようなモデルを考える。付与された異方性を一次の一軸異方性とし、異方性定数を K 、容易軸が r 軸から p 軸側に ε 傾いた向きにあるとする。磁化ベクトルは r - p 面内にあるので、磁化ベクトルと r 軸のなす角を η とすると、系の異方性エネルギーは、

Fig. 5 Schematic view of the coordinate system.

Fig. 6 Torque curves with fields of various magnitudes applied in the r - p plane.

$$K \sin^2(\varepsilon - \eta) + 2\pi M^2 \sin^2 \eta = A \sin^2(\eta - \alpha) + C \quad (1)$$

ただし、

$$A = \sqrt{K^2 + 4\pi M^2 K \cos 2\varepsilon + (2\pi M^2)^2},$$

$$C = K + 2\pi M^2 - A,$$

$\sin 2\alpha = K \sin 2\varepsilon / A$, $\cos 2\alpha = (K \cos 2\varepsilon + 2\pi M^2) / A$ と表せ、磁化の大きさ M が飽和磁化で一定であれば、 α 方向を容易方向とする単純な一軸異方性と同じ性質を持つことになる。しかし、少なくともマクロスコピックな磁化の大きさは一定ではなく、印加磁界の減少とともに減少している。 M の減少により α は大きくなり、容易(困難)方向は外部磁界により変化することとなり、困難(容易)方向に関して対称にならない。比較的単純なFig. 4(c)の場合、Fig. 5に模式的に示すように磁化が飽和する状態での困難方向よりわずかに膜面側に傾いた方向に磁界を印加した状態に相当し、はじめは磁化はより近い膜面側の容易方向に傾き+方向の M_y が現れ、印加磁界が減少し α が増加すると困難方向が印加磁界方向をよぎることとなり、磁化が逆向きに傾き M_y は減少する。印加磁界がより膜面方向に近い方向にかけられた場合特にMP、NTテープに顕著に現れているが、ループが交差している。これは、磁化が反転する時には磁化の大きさが小さく α が大きくなり、この時の磁化は逆向きの磁界減少時に比べより印加磁界から離れた向きをとり結果としてより大きな M_y 成分が現れる。また、Fig. 6にMEテープの r - p 面に磁界を印加し磁界の大きさを変えた時のトルク曲線を示すが、容易方向と困難方向が印加磁界の大きさによりシフトしており、このモデルの妥当性を促している。しかし、このモデルでは飽和磁化状態の困難方向より膜法線側に磁界を印加した場合、磁化は単純に回転および反転するのでNTテープのFig. 4(n)のようなくびれのある挙動は説明できない。NTテープ

Fig. 7 M - H loops of an NT tape. A field is applied in a direction symmetrical with the hard direction with respect to the film normal.

Fig. 8 M - H loops of an NT tape with fields applied in the w - p plane.

では、膜法線に関して困難方向とほぼ対称な方向に磁界を印加した Fig. 7 に示す磁化曲線でも、 M_y はメジャー・ループが交差する複雑な挙動を示す。これらは、2 層の磁化が完全には一体となっていないために生じていると考えられる。

次に、 r 軸が z 軸となるように試料を取り付ける。この時 $\theta=0^\circ$ の印加磁界方向はトラック幅方向となる。ME, NT テープでは、トラック幅方向と付与された異方性の軸が直交するため系はトラック幅方向に関して対称となり、Fig. 8(a) に NT テープについて示すとおりトラック幅方向の印加磁界では y, z 成分は誤差の範囲で十分小さくなっている。Fig. 8(b) の $\theta=45^\circ$ の場合は全成分が現れる。この場合付与された異方性と形状異方性の和は (1) 式のように一軸異方性の形にはそもそもならず、形状異方性のエネルギーを先に減らすよう、まず膜面方向に磁化が傾き、大きな膜法線成分が現れることなく容易方向へと傾いている。また、 $\theta=-45^\circ$ でほぼ対称な磁化曲線が得られており、対称性は充たしている。

4. ま と め

磁化を 3 次元のベクトルとして検出できる VSM を用いて斜めの異方性が付与されたテープ媒体の磁化挙動を調べた。ME, NT, MP のいずれのテープでも容易方向と膜法線を含む面内で、単純な一軸異方性を示さず、この性質は、膜の磁化が飽和磁化でなく磁界の減少とともに減少するものと仮定すれば、形状異方性の効果の減少により総和としての容易方向が動くこととすることで定性的に説明できた。また、異方性の軸と直交する膜面方向に磁界が印加された場合以外では、印加磁界方向に垂直な磁化成分が必ず現れ、印加磁界成分だけを取り扱う通常の磁化測定だけでは不十分で、磁化をベクトルとして取り扱う必要があり、その磁化ベクトルの挙動は対称性である程度定性的には説明できるが、定量的な取扱いは今後の課題である。

文 献

- 1) T. Tanaka, K. Yazawa and H. Masuya: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 2090 (1985).
- 2) J. S. Gau: *J. Magn. Magn. Mat.*, **80**, 290 (1989).
- 3) Y. Tateno, K. Iwasaki, H. Naruse and R. Chubachi: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-25**, 4186 (1989).
- 4) D. Spiliotis and J. P. Judge: *J. Appl. Phys.*, **69**, 515 (1991).
- 5) N. Matsubara and F. Sai: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-27**, 4748 (1991).
- 6) 田中正人, 家徳隆史, 姫野卓治: 日経エレクトロニクス No. 550, 143, (1992).
- 7) 姫野卓治, 田中正人, 家徳隆史: 応用磁気学会第 74 回研究会資料, p. 39 (1992).

1992 年 11 月 19 日受理, 1993 年 2 月 2 日採録