ホール効果法による光磁気ディスク膜の 磁気異方性分布測定

Measurement of Magnetic Anisotropy Distribution in a Magneto-Optical Disk Film by the Hall Method

岡本研正・戸上雄司*

K. Okamoto, and Y. Togami*

香川大学教育学部, 高松市幸町 1-1 (〒760)

*NHK放送技術研究所, 東京都世田谷区砧 1-10-11 (〒157)

Faculty of Education, Kagawa Univ.,
1-1, Saiwai-cho, Takamatsu, Kagawa, 760

*NHK Sci. and Tech. Res. Laboratories,
10-11, Kinuta 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo, 157

The homogeneity of magnetic anisotropy of a GdTbFe magneto-optical disk film prepared by rf-sputtering method was investigated by measurement of the oblique Hall effect. Hall samples were cut from the disk along its radius in a size of 7 mm×7 mm. The magnetic field H was applied obliquely to each sample, and the dependences of the Hall loop upon the azimuthal angle γ and the inclination angle α of the field H were studied in detail.

The experimental results showed that the disk film is of an oblique magnetic anisotropy in which the in-plane magnetic easy axes lie radially from the center of the disk. It was also found that the inclination angle of the magnetization measured from the film normal increases continuously from the inner side toward the outer side along the radius of the disk.

1. はじめに

筆者らは、高周波スパッタリング法によって作製した GdTbFe 光磁気ディスク膜の磁化特性を、ホール効果とポーラ・カー効果を用いて調べているうちに、磁化の傾き角がディスクの半径方向において連続的に変化していることを見出した¹⁾。今回は、同じ試料ディスク膜について傾斜磁場中ホール・ループ測定法^{2)~5)}を用いて磁気異方性の分布を詳しく調べた。

2. 実験

試料として用いた GdTbFe ディスク膜は、複合ターゲットを用い高周波スパッタリング法により作製したものである。この複合ターゲットは、直径 200 mm の Fe 円板上に Gd と Tb のチップを均等に配置させたものから成っていた。

各元素の面積比から求めたターゲットの等価組成比は、 $(\text{Gd}_{0.5}\text{Tb}_{0.5})_{0.26}\text{Fe}_{0.74}$ であった。ディスク基板は、直径 200 mm (中心孔径 35 mm)、厚み約 1.5 mm の円形ガラス製で、ターゲットと基板の距離は約 5 cm であった。スパッタ中はディスク基板をその中心を軸として 4 rpm で回転させた。作製膜の平均膜厚は約 2,000 Å で

Fig. 1 (a) The original positions of the Hall samples (No. 1~No. 9) in the disk. (b) Transverse Hall loop (V_H - H loop) of each Hall sample.

あった。

ホール特性の測定用試料として、Fig. 1 (a) のように、ディスク板の中心から半径方向に沿って 7 mm×7 mm

Fig. 2 Application of oblique magnetic field H to a Hall sample.

の大きさの正方形小片を9個切り出した。これらの各試料について、Fig. 2 のように斜め方向 (γ , α) から磁場を印加した場合のホール・ループ (V_H - H ループ) を測定し、その γ および α 依存性を調べた。ただし、 γ はホール電流 I を基準とした H の方位角であり、 α は膜法線 (z 軸) を基準とした H の傾き角である。この際、まず最初に、 H を膜面と平行に加えた状態 ($|\alpha|=90^\circ$) でその方位角 γ を変化させ、面内異方性の有無を確かめた、なお、どの試料膜に対しても、ホール電流 I はディスクの半径方向 (x 軸方向) に流した。

3. 結果および考察

Fig. 1 (b) は、Fig. 1 (a) の試料 No. 1~No. 9 の垂直ホール特性 ($\alpha=0$) であるが、これらのループの形状 (飽和特性) から、このディスク膜は完全な垂直磁化膜ではなく磁化が傾いていること、また、ディスクの中心から端へ行くほど磁化の傾き角が大きくなることが推定される。

Fig. 3 は、ディスク面の外周に近い部分から切り出した試料 No. 9 において観察されたホール・ループの、面内磁界に対する γ 依存性である。Fig. 3 においてループの向きが $\gamma=90^\circ$ を境として逆転すること、しかも、その近傍においては、ループの形状が γ のわずかな変化にも敏感に反応することから、この試料膜は、 $\gamma=90^\circ$ の方向に明確な面内の磁化困難軸を持つこと、つまり、この方向と直角な $\gamma=0^\circ$ の方向にかなりシャープな磁化容易軸を有すること (Fig. 2 において $\phi_0=0^\circ$) が分かる。

Fig. 1 と Fig. 3 のデータは、試料膜 No. 9 が $\gamma=0^\circ$ の方向 (ディスクの半径方向) に面内磁化成分を有する斜め磁化膜であることを示している。さらに、No. 1 か

Fig. 3 γ -dependence of the Hall loop in the film plane of the sample No. 9.

ら No. 9 までのすべての試料について調べた結果、いずれの膜も $\gamma=0^\circ$ の方向に面内磁化容易軸を持つことが分かった。しかし、 $\gamma=90^\circ$ 付近におけるホール・ループの γ の変化に対する敏感性は、外側の試料 (No. 9) から内側の試料 (No. 1) に向かって次第に小さくなっていった。一方、試料群 No. 1~No. 9 と直交するような方向に切り出した別の試料群においても全く同様の結果が得られた。

一軸性の斜め磁化膜の磁気異方性を詳しく調べるには、Okamoto^{2)~4)} が提案したように、膜面内の磁化容易軸と膜法線とを含む面 (以後、磁化容易面と仮称する) とそれに直角な面 (すなわち、膜面内の磁化困難軸と膜法線とを含む面、以後、磁化困難面と仮称する) の二つの面内においてホール・ループの α 依存性を調べるのが効果的である。これらのデータから磁化容易軸の傾き角 θ_0 を精密に求めたり、容易軸の分散の程度を知ることが可能である。本研究においてもこの方法を用いて磁気異方性を調べた。

Fig. 4 は、試料 No. 9 における磁化困難面内でのホール・ループの α 依存性である。この場合には、ホール・ループは磁界 H の傾き角 α の符号 ($\pm$) に対して対称

Fig. 4 α -dependence of the Hall loop in the magnetic hard plane of the sample No. 9.

Fig. 5 α -dependence of the Hall loop in the magnetic easy plane of the sample No. 9.

となっており、一見この膜が完全垂直磁化膜であるかのように見える。ところが、磁化容易面内では Fig. 5 のように、ホール・ループの形状は α によって著しく変化するとともに、 α の符号に対して全く対称性を示さない。これは、斜め磁気異方性膜に特徴的な性質である²³⁻²⁴⁾。なお、 α の符号の定め方は任意であるが、ここでは Fig. 2 において、 $x > 0$ または $y > 0$ の側から H を印加する場合を正、 $x < 0$ または $y < 0$ の側から H を印加する場合を負とする。

一軸性の斜め磁気異方性膜の場合、磁化容易面内のある一方向（実はこの面内での磁化困難軸方向） $\alpha = \alpha_h$ （ただし、 $|\alpha_h| < 90^\circ$ ）に H を印加すると、ヒステリシスのない V_H - H 特性が得られ、この方向を境としてホール・ループの向きが逆転する。このとき真の磁化容易軸の方向 θ_0 は、 $\theta_0 = \alpha_h \pm 90^\circ$ として求められる²⁵⁾。

分散の小さい一軸性の膜では臨界方向 $\alpha = \alpha_h$ は非常に明確であり、ヒステリシス消失現象は、 α_h を中心として $\pm 0.1^\circ$ ないしはそれ以内の範囲においてしか見ることができず、その上下でのループの逆転もシャープである。しかし、Fig. 5 では $|\alpha| < 90^\circ$ の範囲内でホール・ループの逆転現象は見られるが、その遷移領域はかなり広く、ループの変化の様子も複雑である。また、ヒステリシス極小化は見られるが、完全消失点は存在しない。これらの事実は、No. 9 の膜ではその磁化容易面内において、磁化容易軸が分散していることを示している。

磁化容易面内におけるホール・ループの α の符号に対する非対称性は、ディスクの中心に近い試料ほど小さくなっていた（完全垂直磁化膜の場合、ループは α の符号に対して対称）。また、ループの逆転がおきる α の値（絶対値）は、内側の試料ほどより 90° に近くなっていた（完全垂直磁化膜の場合、 $|\alpha| = 90^\circ$ ）。この事実は、ディ

Fig. 6 α -dependence of the Hall loop in the magnetic easy plane of the sample No. 5.

Fig. 7 α -dependence of the Hall loop in the magnetic easy plane of the sample No. 1.

スク膜の内側ほど磁化の垂直性が良くなっていることを示している。Fig. 6 および Fig. 7 は、それぞれ、ディスク半径方向のほぼ中間点の試料 No. 5 および内側の試料 No. 1 における、磁化容易面内でのホール・ループの α 依存性である。Fig. 7 を見ればわかるように、No. 1 の試料はかなり垂直磁化膜に近くなっている。

Fig. 8 は、磁化容易面内でのホール・ループの α 依存

Fig. 8 Relationship between θ_0 (inclination angle of the average easy axis) and the sample position.

Fig. 9 Change of magnetic easy axis along the diametral direction of the disk.

性のデータから求めた試料 No. 1~No. 9 の平均的な磁化容易軸の傾き角 θ_0 と、ディスク中心からの距離との関係である。また、Fig. 9 は、ディスク直径方向での磁化容易軸分布と、スパッタ時のターゲットとの位置関係を模式的に示したものである。

ポーラ・カー偏光顕微鏡を用いて、膜の表裏両面から磁区観察を行なったが、ガラス基板側から見た場合、コントラストが非常に悪かった。膜の表側（空気側、保護膜なし）から眺めた場合、ディスクの外側から内側へ行くにつれて磁区のコントラストは良くなった。この事実、上述のホール効果の測定データならびに以前に測定したポーラ・カー回転角の測定結果¹⁾と一致した。

4. 結 論

以上の実験結果より、今回調べた GdTbFe 光磁気デ

Fig. 10 Distribution of magnetic anisotropy in the sample GdTbFe disk.

Fig. 11 Change of magnetic easy axis along the film thickness. ▲

ィスク膜中には、Fig. 10 に示したような磁気異方性分布が存在し、さらに膜厚方向においても、Fig. 11 のように磁化容易軸の傾斜角が連続的に変化しているという、注目すべき結論が得られた。Fig. 10 のような異方性分布の原因は、組成分布よりもむしろ、スパッタ原子の基板への斜め入射効果によって生じた、膜の特別な微細構造（例えば傾いた柱状粒構造）にあるのではないかと筆者らは考えている。

今回試料とした GdTbFe 膜は（おそらくは最適な条件下で作製されなかったことや、スパッタ中にパラメータの変動が生じたことなどにその原因があると考えられるが）、磁気特性からみて良い膜とは言いがたく、むしろ不良膜に近い。しかしながら、Fig. 10 および Fig. 11 のような磁気異方性分布は、より良い条件下で作製されたディスク膜においても、程度の差こそあれやはり存在する可能性があり、今後、大面積のディスク膜を開発していく上で解決していかなければならない問題となろう。

文 献

- 1) 戸上他：電子通信学会技術研究報告，CPM 84-118 (1985)。
- 2) K. Okamoto: *J. Appl. Phys.*, **53**, 601 (1982)。
- 3) 岡本：日本応用磁気学会誌，**6**, 83 (1982)。
- 4) K. Okamoto: *J. Magn. Magn. Mat.*, **35**, 353 (1983)。
- 5) 岡本：第 8 回日本応用磁気学会学術講演概要集，131 (1984)。

1986 年 1 月 9 日受理，1986 年 2 月 27 日採録