垂直二層膜媒体における再生出力のスペーシング依存性

Dependence of Output on Spacing in Perpendicular Double-Layer Disks

岩船仁美・菊池 暁*・若松弘晃・篠原正喜

(株)富士通研究所, 神奈川県厚木市森の里若宮 10-1 (☎243-1)

* (株)山形県東根市大字東根甲 5400-2 (☎999-37)

H. Iwafune, A. Kikuchi*, H. Wakamatsu and M. Shinohara

Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1 Morinosatowakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-1

*Yamagata Fujitsu Ltd., 5400-2 Lou Higashine, Higashine, Yamagata 999-37

An operating point model has been proposed to determine dependence of output on the head-to-medium spacing in a single-pole head and CoCr/NiFe double-layer medium system. We studied this dependence for various CoCr thicknesses and compared the experimental results with the analysis using this model. For each medium, the linear dependence changed at a specific spacing. Magnetic flux density at the operating point is proportional to permeance factor, P_r and $P_r/(1+P_r)$ as the spacing changes. The theoretical values agreed well with experiments.

Key words: perpendicular recording, single-pole head, double-layer medium, permeance factor, CoCr, spacing, reproduced output, operating point model

1. はじめに

近年、磁気ディスク装置の高密度化に伴い、これを実現する方法として垂直磁気記録方式が盛んに研究されている。また、この方式の再生過程に関する解析が種々なされている^{1)~3)}。小林は垂直二層膜媒体と単磁極型ヘッドの組み合わせにおいて、ヘッドと媒体で構成される磁気回路を想定した動作点モデルを提案している⁴⁾。またこのモデルを用いて媒体のパラメータの一つであるCoCr膜の磁気特性を変化させ、再生出力と磁気特性の関係を解析した結果、スペーシングの低下に伴い出力が $H_{c\perp}$ 比例から B_s 比例に移行することが予想され、実験結果と良く一致することを報告した⁵⁾。今回はこのモデルのパラメータの一つであるCoCrの膜厚を変化させることにより再生出力のスペーシング依存性を調査し、動作点モデルによる解析と比較した。

2. 実験方法

実験に使用した垂直二層膜媒体および単磁極型ヘッドの断面構造図をFig. 1に示す。二層膜媒体はガラス基板

上にメッキ法によりNiFe膜を $1\mu\text{m}$ 形成し、その上にCoCr膜をDCマグネトロンスパッタ装置により膜厚 $0.10\sim 0.30\mu\text{m}$ と変化させて成膜した。CoCr膜の $H_{c\perp}$ は、CoCr成膜時の基板温度を変化させることにより $700\sim 2000\text{ Oe}$ を得た。この時の磁気特性をTable 1に示す。

ヘッドは主磁極材CoZrCr、主磁極厚 T_m $0.4\mu\text{m}$ 、主磁極幅 T_w $9.4\mu\text{m}$ 、コイル巻数33 turnのものを使用した。記録・再生出力の測定は、周速を変えることによりスペーシングを $0.07\sim 0.14\mu\text{m}$ と変化させて行った。

3. 実験結果

$H_{c\perp}1600\text{ Oe}$ において、CoCr膜厚を変化させた場合の再生出力のスペーシング依存性を調べた。このときの記録密度は 1.95 kFCI とした。結果をFig. 2に示す。縦軸は種々のCoCr膜厚について、それぞれのスペーシングにおける再生出力をスペーシング $0.14\mu\text{m}$ のときの再生出力で規格化して示した。Fig. 2より、膜厚 $0.10\mu\text{m}$ の場合スペーシングの低下に伴い出力は一様に増加することがわかった。しかし、膜厚 $0.15\mu\text{m}$ の場合には

Fig. 1 Structure of CoCr/NiFe double-layer medium and single-pole head.

Table 1 Magnetic properties of CoCr

Hc ⊥ (Oe)	700~2000
Bs (Gauss)	4500~6500

Fig. 2 Spacing dependence of output for various CoCr thickness (Experiment).

スペーシング $0.08 \mu\text{m}$, また膜厚 $0.20 \mu\text{m}$ の場合にはスペーシング $0.10 \mu\text{m}$ より小さくなると出力増加の傾きが緩やかになった。また膜厚 $0.25 \mu\text{m}$ の場合、出力はスペーシングが低下するに従い増加するが、出力増加の傾きは膜厚 $0.10 \mu\text{m}$ と比較して緩やかだった。この実験結果を動作点モデルによる解析と比較した。

4. 動作点モデルによる解析

4.1 動作点モデル

小林⁴⁾による磁気回路モデルを用いて解析を行った。Fig. 3 にヘッドと媒体で構成される磁気回路を示す。この磁気回路における合成リラクタンス R_{total} は

$$R_{\text{total}} = R_{\text{top-CoCr}} + R_{\text{top}} + R_{\text{return-CoCr}} + R_{\text{NiFe}} + \frac{1}{\{1/(R_{\text{main}} + R_{\text{return}})\} + (1/R_{\text{return-main}})} \quad (1)$$

で計算される。ここで各リラクタンス R

- $R_{\text{top-CoCr}}$: 主磁極面と CoCr 二層膜媒体間
- R_{top} : 主磁極先端部
- $R_{\text{return-CoCr}}$: リターンパス部と CoCr 二層膜媒体間
- R_{NiFe} : 裏打ち層
- R_{main} : 主磁極ヨーク部
- R_{return} : リターンパス部
- $R_{\text{return-main}}$: リターンパス部と主磁極ヨーク間

である。各 R は磁路長/(透磁率・断面積)で求めた。計算に用いたヘッド諸元としては、透磁率 $\mu_{\text{Head}} = 1000$,

Fig. 3 Magnetic circuit model consisting of head and medium.

主磁極厚 $T_m = 0.4 \mu\text{m}$, 主磁極幅 $T_w = 9.4 \mu\text{m}$, 主磁極深さ $D_p = 10 \mu\text{m}$, ヨーク長 $L = 120 \mu\text{m}$, ヨーク厚 $T_b = 6 \mu\text{m}$ である。これらのリラクタンス R の中で $R_{\text{top-CoCr}}$ が最も大きく、今回測定を行ったスペーシング領域において R_{total} の 78~85% を占めている。また、今回はスペーシングを変化させているため $R_{\text{top-CoCr}}$ のみ変化する。 $R_{\text{top-CoCr}}$ は

$$R_{\text{top-CoCr}} = \frac{1}{(\mu_0 \cdot T_m \cdot T_w / S) + A} \quad (2)$$

で与えられる。ここで A は主磁極と CoCr 二層膜媒体間の漏れ磁束を考慮した値であり、

$$A = \mu_0 \cdot \left[\left\{ 1.07 + \frac{4 \ln(n+1)}{\pi} \right\} (T_m + T_w) + \left\{ 1.43 + \frac{16n}{\pi} \right\} S \right] \quad (3)$$

で求められる。(2) (3) に $\mu_0 = 1$, $T_m = 0.4 \mu\text{m}$, $T_w = 9.4 \mu\text{m}$, 漏れ磁束の広がり性を示すパラメータ n (ここでは $n = 1$ とした), スペーシング S を代入することにより $R_{\text{top-CoCr}}$ が求まる。

Fig. 3 の磁気回路において、磁束 Φ が主磁極先端対向部の CoCr 層より発生すると仮定する。CoCr 層内の磁束密度 B および減磁界 H を一様とし、全磁気回路に Ampere の法則を適用すると

$$\delta_{\text{CoCr}} \cdot H + \Phi \cdot R_{\text{total}} = 0 \quad (4)$$

となる。ここで、 δ_{CoCr} は CoCr 膜厚、 Φ は主磁極に流れ込む全外部磁束である。この磁束は CoCr 層内の磁束に等しいので (4) 式は

$$\delta_{\text{CoCr}} \cdot H + B \cdot T_m \cdot T_w \cdot R_{\text{total}} = 0 \quad (5)$$

となり、これよりパーミアンス係数 P_r は

$$P_r = -B/H = \delta_{\text{CoCr}} / (T_m \cdot T_w \cdot R_{\text{total}}) \quad (6)$$

で与えられる。このパーミアンス係数を傾きに持つ直線と CoCr 膜の減磁曲線との交点から動作点が決定される。

Fig. 4 Relationship between permeance factor and spacing.

Fig. 5 Operating point model of various CoCr thickness.

(6) 式より求めた各 CoCr 膜厚におけるパーミアンス係数とスペーシングの関係を Fig. 4 に示す。この値を用いて各 CoCr 膜厚における動作点を求める。Fig. 5 に各 CoCr 膜厚における動作点を示す。ここで CoCr 膜の減磁曲線の肩より下の領域内の磁束密度は $P_r \cdot H_{c\perp}$ で求められる。この実験では $H_{c\perp} 1600 \text{ Oe}$ と一定であるためこの領域内の動作点の磁束密度は P_r に比例した領域であると言える。また減磁曲線の肩より上の領域内の磁束密度は $4\pi M_s \cdot P_r / (1 + P_r)$ で表され、 $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域となる。Fig. 5 より膜厚 $0.10 \mu\text{m}$ の場合、動作点は P_r に比例した領域内のみを移動することが予想される。膜厚 $0.20 \mu\text{m}$ の場合、動作点は P_r に比例した領域から CoCr 減磁曲線の肩を通り、 $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域へ移行する。また膜厚 $0.25 \mu\text{m}$ の場合、動作点は $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域内のみを移動する。

そこで、各膜厚において、減磁曲線の肩を通過するスペーシングを $0.07 \sim 0.14 \mu\text{m}$ の領域内で求めたところ、膜厚 $0.15 \mu\text{m}$ のときスペーシング $0.08 \mu\text{m}$ 、膜厚 0.20

Fig. 6 Comparison with analysis results and experimental results.

μm のときスペーシング $0.10 \mu\text{m}$ で P_r に比例した領域から $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域に移行すると予想される。

4.2 実験結果との比較

以上の解析結果を実験結果と比較する。Fig. 6 に解析結果を曲線で示す。また、実験結果はプロット点で示した。解析結果より、膜厚 $0.10 \mu\text{m}$ の場合動作点は P_r に比例した領域内のみを移動するため、出力は一樣に増加すると考えられる。これを実験結果と比較すると、膜厚 $0.10 \mu\text{m}$ において出力は一樣に増加し、良く一致することがわかった。一方、解析結果では膜厚 $0.15 \mu\text{m}$ の場合スペーシング $0.08 \mu\text{m}$ 、膜厚 $0.20 \mu\text{m}$ の場合スペーシング $0.10 \mu\text{m}$ で動作点が P_r に比例した領域から $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域を移動するため、出力増加の傾きは上記スペーシングで変化すると予想される。実験結果においても、上記スペーシングにおいて出力増加の傾きが変わっている。また、膜厚 $0.25 \mu\text{m}$ の場合動作点は $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域内のみを移動するため出力は一樣に増加する。しかし、 P_r に比例した領域と $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域では、 $P_r / (1 + P_r)$ に比例した領域の方がスペーシングの低下に伴う磁束密度の増加が緩やかであるため出力増加の傾きが膜厚 $0.10 \mu\text{m}$ と比較して緩やかになると予想される。これは、実験結果と良く一致している。以上の結果より、再生出力のスペーシング依存性がこのモデルにより説明できることを確認した。

4.3 再生出力の $H_{c\perp}$ 依存性

上述した媒体は $H_{c\perp} 1600 \text{ Oe}$ と一定であるため、次に膜厚 $0.20 \mu\text{m}$ に着目し、 $H_{c\perp}$ を変化させた場合の再生出力のスペーシング依存性を調査し、動作点モデルによる解析結果と比較した。結果を Fig. 7 に示す。縦軸は種々の $H_{c\perp}$ を持つ媒体について、それぞれのスペーシングにおける再生出力をスペーシング $0.14 \mu\text{m}$ のときの

Fig. 7 Spacing dependence of output for various coercivity.

再生出力で規格化して示してある。図中の曲線は解析結果、プロット点は実験結果である。実験結果より、 $H_{c\perp}$ 700 Oe の場合出力はスペーシングの低下とともに様に増加することがわかった。動作点モデルより、動作点が P_r に比例する領域内のみを移動するため出力は様に増加すると予想される。 $H_{c\perp}$ 1600 Oe の場合はスペーシング 0.10 μm より出力増加の傾きが変化した。これは上述したように P_r に比例した領域から $P_r/(1+P_r)$ に比例した領域に移行すると予想される。また、 $H_{c\perp}$ 2000 Oe ではスペーシング 0.09 μm 付近から出力増加の傾きが変化することがわかった。モデルより動作点を求めると、スペーシング 0.11 μm より P_r から $P_r/(1+P_r)$ に比例した領域に移行すると予想され、実験結果と良く一致することがわかった。

5. ま と め

垂直二層膜媒体と単磁極型ヘッドの組み合わせにおいて CoCr 膜厚を変化させた場合の再生出力のスペーシング依存性を調査し、動作点モデルによる解析と比較した。その結果、各 CoCr 膜厚において再生出力はスペーシングの低下とともに増加するが、各膜厚において増加傾向が変化するスペーシングが存在することがわかった。動作点モデルより、スペーシングが大きい場合には P_r に比例した領域にあった動作点が上記スペーシングで CoCr 膜の減磁曲線の肩を通過し、さらに小さいスペーシングでは $P_r/(1+P_r)$ に比例した領域へ移行することが予想され、実験結果と良く一致することがわかった。また、 $H_{c\perp}$ を変化させた場合、 $H_{c\perp}$ が低い方が出力値は小さいもののスペーシングの効果が大きいことが動作点モデルより予想される。これより、再生出力のスペーシング依存性がこのモデルにより説明できることを確認した。

文 献

- 1) O. Lopez: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-19**, 1614 (1983).
- 2) 山本節夫, 中村慶久, 岩崎俊一: 電子通信学会技術研究報告, **MR84-27**, 1 (1984).
- 3) 末岡邦昭, K. G. Ashar: 日本応用磁気学会誌, **12**, 155 (1988).
- 4) 小林和雄: 日本応用磁気学会誌, **12**, 479 (1988).
- 5) H. Wakamatsu, K. Kiuchi, M. Shinohara and U. Miura: The 5th MMM-Intermag Joint Conf., EB-3 (1991).

1991 年 11 月 12 日受理, 1992 年 1 月 30 日採録