

# 薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドのオフトラックオーバーライト特性

## Off-Track Overwrite Characteristics of a Single-Pole Flying Head

山田 洋・村岡裕明・杉田 恒・中村慶久

東北大学電気通信研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (☎980-8577)

H. Yamada, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ., 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577

A submicron track width of  $0.4\ \mu\text{m}$  was observed by measuring an MFM image with a combination of a single-pole head and a perpendicular double-layered medium. Because of its sharp head field distribution, this combination is considered capable of obtaining a very narrow track-pitch. By measuring the off-track overwrite profiles with a thin-film single-pole flying head, we found that the erase band width was around  $25\ \text{nm}$ , which was acceptable for merged MR head and perpendicular double-layered medium.

**Key words:** thin-film single-pole flying head, perpendicular double-layered medium, off-track overwrite, erase band

### 1. はじめに

これまで主磁極膜厚をトラック幅としたディープサブミクロントラック幅単磁極ヘッド記録と垂直二層膜媒体による高トラック密度の可能性がMFM像観察などにより示されてきたが<sup>1)</sup>, 実際の記録性能であるオフトラック特性を通じた検証は必ずしも多くない。特に, MRヘッドに適合する浮上スライダに搭載した薄膜単磁極ヘッド<sup>2)</sup>での検討は, 今後の高密度記録ヘッドの実現に重要な意味をもつと考えられる。

本研究では, 薄膜導体励磁型の単磁極ヘッド<sup>3)</sup>を, 約  $50\ \text{nm}$  の比較的低浮上量の浮上スライダに搭載して試作した<sup>2)</sup>。このヘッドの記録再生系で得られているオフトラック特性から, 記録にじみ, イレージバンド幅を調べ, 高トラック密度化の可能性を検討したので, その結果を以下に述べる。

### 2. ヘッド, ディスクの諸元, および実験条件

実験に用いた薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッド<sup>3)</sup>の概形を Fig. 1 に示す。主磁極は膜厚  $0.4\ \mu\text{m}$  の Co-Zr-Nb 膜で, 光学顕微鏡観察より得られたトラック幅は  $5.1\ \mu\text{m}$  である。薄膜リターンパスは膜厚  $3\ \mu\text{m}$  の Co-Zr-Nb 膜で, 薄膜コイルは Cr/Cu/Cr (膜厚  $25/150/25\ \text{nm}$ ) で, ABS 面に露出している。浮上量は設計値で約  $50\ \text{nm}$  である。実験に用いたピンニング層を有する垂直二層膜媒体の記録層は Co-Cr-Ta (膜厚  $50\ \text{nm}$ )、裏打ち軟磁性層は Co-Zr-Nb (膜厚  $600\ \text{nm}$ )、ピンニング層は Co-Sm (膜厚  $150\ \text{nm}$ ) である。再生には, トラック幅  $3.1\ \mu\text{m}$  の浮上型 MR ヘッドを用い, 線速度  $5\ \text{m/s}$  で測定を行った。

オフトラック特性における出力は, スペクトラムアナライザより読みとった信号の基本波成分とし, 記録トラック幅はオフ

トラック特性曲線における最大出力の半分となる点の間隔 (半値幅) とした。

イレージバンド幅を見積るためのオフトラックオーバーライト特性の測定方法を Fig. 2 に示す。Track-1 に  $98\ \text{kFRPI}$  の信号を記録し,  $3.3\ \mu\text{m}$  シフトした後 Track-2 に  $100\ \text{kFRPI}$  の信号を重ね書きする。これらのトラック全体にわたるオフトラック特性曲線より各々の半値幅を求める。(1)と(2), (3)と(4)の間隔が各々のトラックの半値幅に相当するが, イレージバンドが存在しなければ(2)と(3)の位置が一致する。したがってこれらの間隔を測定することにより, イレージバンド幅を見積ることができる。

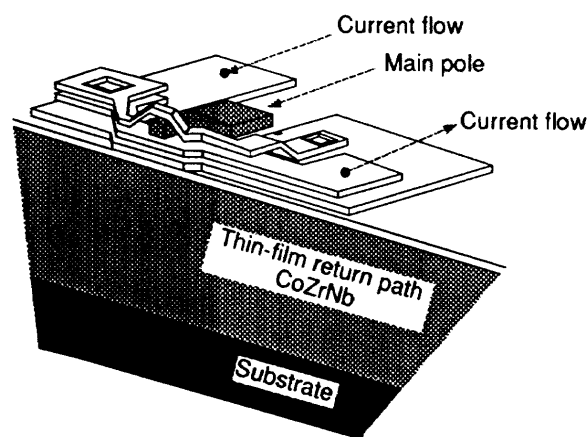
### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドの記録能力

本実験で用いた薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドの記録能力を調べるため, Fig. 3 に示す入出力特性およびオーバーライト特性を測定した。これらから  $0.15\ \text{AT}_{\text{p-p}}$  の比較的低い起磁力ではほぼ飽和し,  $-35\ \text{dB}$  を超えるオーバーライト値も確認できている。ここではこの起磁力を Optimum, 90% の出力になる未飽和時の起磁力を  $\text{NI}_{90}$  とした。過剰な記録起磁力での特性も興味深い, 本実験では測定装置の制限により行うことができなかった。

#### 3.2 オフトラック特性

使用した再生 MR ヘッドのトラック幅方向の感度分布を調べるため, マイクロトラック特性の測定を行った。マイクロト



Head structure

Fig. 1 Illustration of the thin-film single-pole flying head.

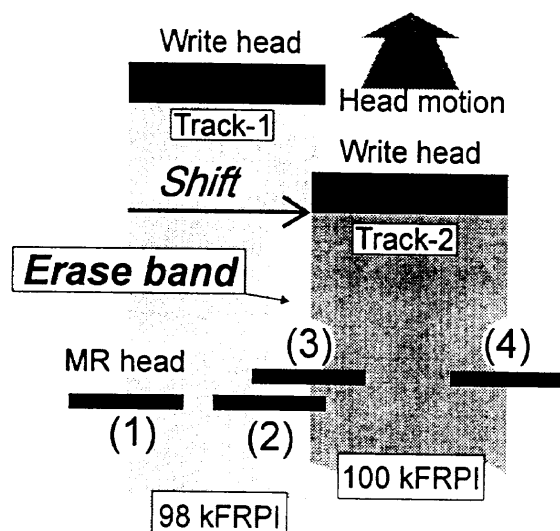


Fig. 2 Illustration of the measurement method used to estimate the erase band width.

トラック幅の記録を行うため、20 kFRPI の信号を記録した後、記録ヘッドを  $0.5\mu\text{m}$  オフトラックさせて DC イレーズすることにより  $0.5\mu\text{m}$  の記録トラックを残した。測定結果を Fig. 4 に示す。この面積を等分するオフトラック位置が記録トラックエッジ上にあるとき、再生 MR ヘッドの出力は半分であると考へ、オフトラック特性測定対象記録トラックの両エッジ間隔でオフトラック特性曲線の半値幅、すなわち記録トラック幅を規定できる。マイクロトラック特性は必ずしも理想的な対称性を示していないので、この半減する位置は完全に中央とはならないが、ここでの測定精度については十分とした。

記録トラック幅を見積るため、20 kFRPI および 100 kFRPI のオフトラック特性を測定した。Fig. 5(a), (b) に Optimum 時のオフトラック特性曲線を示す。(a) に示した 20 kFRPI では、ヘッドトラック幅とほぼ等しい記録トラック幅が得られ、測定誤差内で一致していることが確認できた。この結果より、トラック幅方向にもシャープなヘッド磁界分布であることがわかる。一方、(b) に示した 100 kFRPI では、20 kFRPI のときに比べて記録トラック幅が片側で約  $0.1\mu\text{m}$  狭くなっていることが観測された。このような記録密度依存性の原因は必ずしも明らかではないが、トラック端部におけるヘッド磁界勾配の急峻さの劣化が原因の一つと考えられ、ヘッドの加工プロセス精度の改善など検討の余地が残されている。ただし、より少ない記録起磁力である  $NI_{90}$  での同様の測定も行ったが、いずれの記録密度においても同様の結果が得られ、記録磁力依存性が少ないことが確認された。

今回の実験で得られたオフトラック特性について (1) 式に示す arctangent 近似の記録磁化  $M_y$  と、(2) 式に示すトラック幅方向に拡張した Karlqvist のヘッド磁界分布  $H_z$  についてたみ込み積分を行うことで、オフトラックプロファイルを簡易的に解析した。用いた近似関数を以下に示す。

$$M_y: \arctan \{(z+W/2)/a\} - \arctan \{(z-W/2)/a\} \quad (1)$$

$$H_z: \arctan \{(z+T/2)/y\} - \arctan \{(z-T/2)/y\} \\ + \arctan \{(z+T/2)/(2\delta+2d-y)\}$$

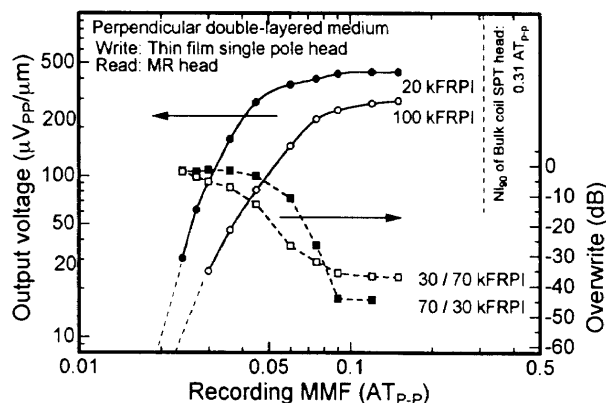


Fig. 3 Dependence of the output voltage and overwrite on the recording magneto-motive force.

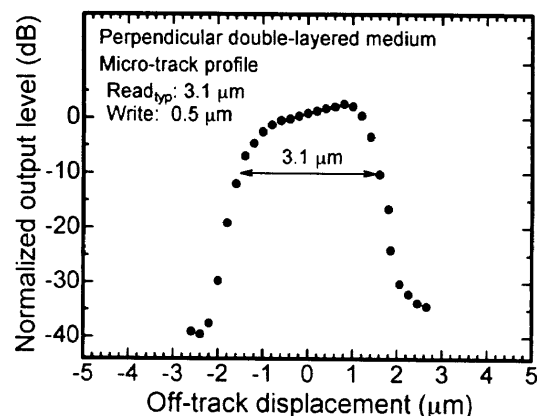


Fig. 4 Microtrack profile of the MR head. The written track width and recording density were  $0.5\mu\text{m}$  and 20 kFRPI, respectively.

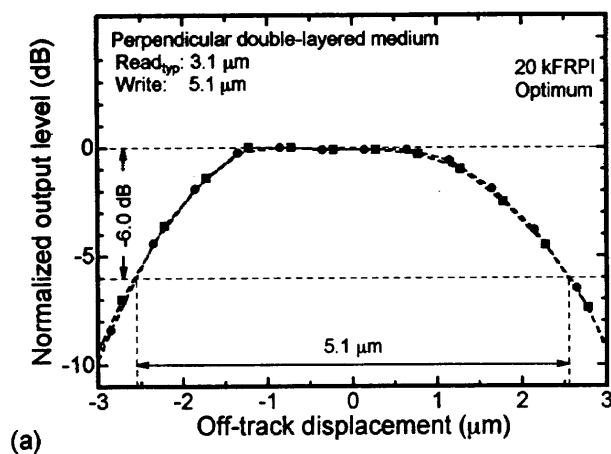
$$-\arctan \{(z-T/2)/(2\delta+2d-y)\} \quad (2)$$

ここで  $z$  はトラックを横切る位置、 $y$  はヘッドから媒体表面への垂直方向に向かう距離、 $W$  は記録トラック幅で  $5.1\mu\text{m}$ 、 $T$  は再生ヘッドトラック幅で  $3.1\mu\text{m}$ 、 $\delta$  は媒体膜厚で  $50\text{nm}$ 、 $d$  はヘッド媒体間のスペーシング、そして  $a$  は記録磁化転移幅で  $1\text{nm}$  と急峻な転移を仮定した。計算結果と Fig. 5 の測定結果を併せて Fig. 6 に示す。ただし、図に示した  $M_{\text{atan}}$  は、arctangent 近似で表した記録磁化分布を表す。計算結果および測定結果の特性曲線はほぼ一致しているため、本測定結果が妥当であり、トラックエッジが急峻な転移を形成しているといえる。

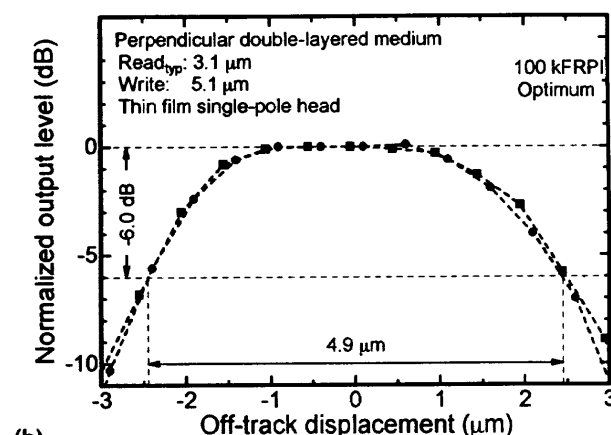
### 3.3 イレーズバンド幅の見積り

オフトラックオーバーライト特性の Optimum および  $NI_{90}$  における測定結果を Fig. 7(a), (b) に示す。同図は Fig. 2 に示す Track-1 および Track-2 が重ね書きされている部分を拡大したもので、各々のトラックの出力が 50% になる点、すなわち  $-6\text{dB}$  をよぎる点の間隔からイレーズバンド幅を見積ったものである。Optimum における測定結果は約  $25\text{nm}$ 、 $NI_{90}$  は約  $30\text{nm}$  とかなり狭い幅が得られており、しかも記録起磁力依存性も少ないことが確認できた。

この結果、ガードバンドを設けないブミクロントラックピッチを考慮することが可能になるため、高トラック密度化を図る

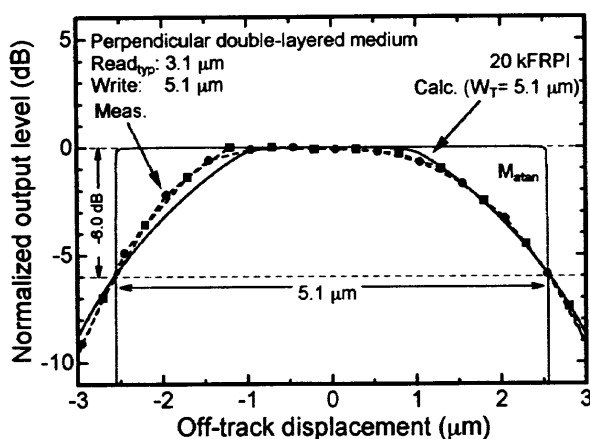


(a)



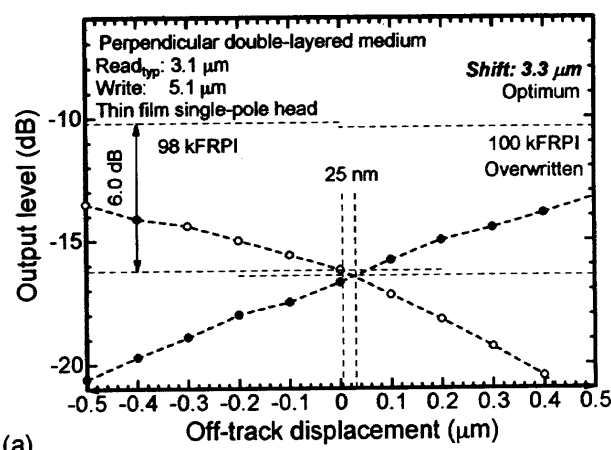
(b)

**Fig. 5** Off-track profiles for the thin-film single-pole flying head at the optimum magneto-motive force. ●, and ■ were measured under the same conditions. Top: 20 kFRPI, Bottom: 100 kFRPI.

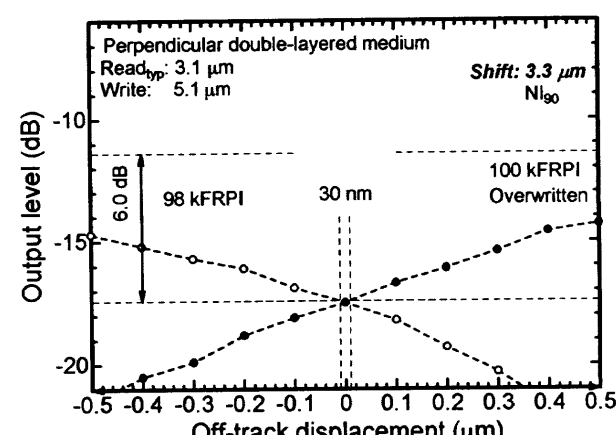


**Fig. 6** Off-track profiles for the results given by the reciprocity theorem and the measurements. ● and ■ were measured under the same conditions.  $M_{atan}$  shows the distribution of the magnetization when approximated by (Eq. 1).

上でこのヘッド媒体系は有利であるといえる。主磁極トラック幅を狭めても単磁極ヘッドではトラックエッジ部分のヘッド磁界分布は大きく変化しないことがコンピュータシミュレーションからわかっている<sup>1)</sup>。したがって垂直磁気記録における現状



(a)



(b)

**Fig. 7** Off-track overwrite profiles for the estimated erase band width. Top; optimum magneto-motive force; Bottom;  $Ni_{90}$ .

のヘッド媒体系において、主磁極厚みでトラック幅を規定するディープサブマイクロトラック幅記録の場合でも、ここで示したオフトラック性能が得られると期待される。

#### 4. まとめ

高トラック密度化を図る上での大きな障害の一つである記録にじみ、イレースバンドを、薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッド記録と垂直二層膜媒体の組み合わせについて、実際の記録性能であるオフトラック特性を通じた検証から求めた。本実験において記録にじみは測定誤差の範囲内で一致しており、イレースバンド幅も約 25 nm と極めて小さい値が得られた。この結果、すでに実証されているディープサブミクロン領域の記録トラック幅 0.4 μm に対して、記録にじみ、イレースバンド 25 nm を加えるとすれば、トラックピッチ 425 nm 程度が見込まれることになる。実際の系ではサーボ精度や信号 SN 比など複雑な要因を考慮する必要があるが、ヘッドメディア系など高トラック密度化を図る上でこの記録ヘッドと垂直二層膜媒体の優位性は示されたと考えている。

**謝 辞** 本実験に用いた垂直記録媒体をご提供頂いた日本ビクター(株)中央研究所 西原敏和氏、安藤敏男氏に深謝する。

また、本研究の一部は ASET, SRC, および文部省科研費の援助により行ったものである。

# 文 献

- 1) Y. Nakamura, H. Muraoka, Y. Shimizu, and T. Inaguma: *J. Magn. Soc. Jpn.*, 18(Suppl. No. S1), 583 (1994).

- 2) 佐藤, 村岡, 中村, 片倉, 佐藤, 矢沢: 第 21 回日本応用磁気学会学術講演会概要集, 名古屋, 1997, p. 3aB-4 (日本応用磁気学会, 東京, 1997).
- 3) N. Jiang, H. Muraoka, and Y. Nakamura: *IEEE Trans. Magn.*, 31, 2715 (1995).

1997 年 10 月 28 日受理, 1998 年 2 月 2 日採録