狭トラック記録におけるヘッドフリンジ磁界の影響

Head-Fringe-Field Effects in Narrow-Track Recording

田中輝光・若宮幸平・鈴木俊行

九州芸術工科大学, 福岡市南区塩原 4-9-1 (〒815-8540)

T. Tanaka, K. Wakamiya, and T. Suzuki

Kyushu Institute of Design, 4-9-1 Shiobaru, Minamiku, Fukuoka 815-8540

(1999年 10月 29日受理、2000年 1月 25日採録)

Side-fringe-field effects on track edge phenomena for heads with different pole shapes were evaluated. Written tracks were partially dc-erased from both track edges, and the changes in the residual track output were measured. The erased track widths were also observed by the Bitter method. It was found that the fringe field width of recording heads strongly depends on the pole shape and that the trimming of recording head poles is very effective for reducing head-fringe-field effects. Writing misregistration capability was also evaluated through off-track overwrite measurement.

Key words: pole shape, fringe field, misregistration, off-track overwrite

1. はじめに

近年、ハードディスクの容量は目覚ましい上昇をしており、すでに面記録密度 20GB/in^2 を超えるものが実現されている。この面記録密度上昇の要因の一つとして狭トラック化によるトラック密度の上昇が挙げられる。現在の記録・再生方式は広トラック記録・狭トラック再生が主流であり、現状の記録トラック幅とトラックピッチの関係を保ったままで狭トラックの記録・再生をした場合、記録ヘッドフリンジ磁界の影響により隣接するトラックの再生出力が低下し、トラック間干渉によるノイズの増加によって S/N 比が低下すると考えられる。さらにミスレジストレーション記録が起こった場合には、隣接トラックが大きな影響を受けるだけでなく、ミスレジストレーション記録したトラック自身の再生時にも信号出力の低下と、以前に記録した信号の消え残りによるノイズの増大により S/N 比が低下することが予想される。

本研究では、記録トラックの両端を DC 消去したマイクロトラッ

クを作成し、その再生出力の測定とビッター法によるマイクロトラック幅の顕微鏡観察により、記録ヘッドフリンジ磁界の磁極形状依存性を評価する。また、これまで MFM 画像で確認されてきた記録トラック幅を再生出力により求める新たな測定方法を提案する。さらに、狭トラック記録・再生方式を想定して、ミスレジストレーション記録が起こった場合に、隣接トラックが受ける影響について検討する。

2. 測定条件

使用したヘッドの諸元を Table 1 に示し、それらの ABS 面から顕微鏡観察した磁極形状の概要を Fig. 1 に示す。Head #1, #2 は薄膜ヘッドで Head #2 は上部ポールと下部ポールの幅が等しくなるようにトリミングが施されている。Head #3 はマージ型 MR ヘッドで、下部ポールにトリミングが施されているが上部ポールより幅が広がっている。なお MR ヘッドはマイクロトラックのオフトラック特性がほぼ左右対称となるものを用いた。測定に用いたディスクは面内記録媒体で、 $H_c = 2000\text{ Oe}$, $B_r \delta = 90\text{ G}\cdot\mu\text{m}$ である。使用したスピンドルは、送り精度 $0.04\text{ }\mu\text{m}$, 最大ポジショニング誤差 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ であり、コンピュータ制御されている。再生出力信号はその基本波成分をスペクトラムアナライザより読み取った。ヘッド-媒体の相対速度は 5 m/s とした。

3. ヘッドフリンジ磁界の磁極形状依存性

記録ヘッドの上下ポールの幅が等しいヘッドでは、フリンジ磁界の広がり小さいということが、一般に知られており記録トラックの MFM 画像によっても確認されている[1][2]。しかしフリンジ磁界の広がりを再生出力の測定から評価した報告は余りない。

本節ではフリンジ磁界の広がりの評価を再生出力測定とビッターパターン観察によって行う。測定方法を以下に述べる。Fig. 2 に示すように、信号を記録した後、記録トラックの両側を同一のヘッドで DC 消去して作ったマイクロトラックについて、その再生出力を測定すると同時にビッターパターンでトラック幅の測定を行う。同図に示すように、DC 消去するときのヘッド端の間隔 (Erasing head edge gap) を W_{eg} と定義し、 W_{eg} が記録ヘッド幅よりも広い場

Table 1 Head parameters.

Head	Head type	Track width (μm)	Gap length (μm)	$I_0 \times n$ (A-turn)	Flying height (nm)	Comment
Head #1	Thin film	4.2	0.27	0.25	70	Untrimmed pole
Head #2	Thin film	4.2	0.27	0.23	70	Trimmed pole
Head #3	Thin film / MR	2 / 1.4	0.3 / 0.21	0.17	31	Shielded MR

Fig. 1 Schematic ABS views of thin-film and merged heads.

The gap dimensions are exaggerated.

Fig. 2 Definitions of the erasing head edge gap W_{eg} .

Fig. 3 Definitions of magnetization spread and fringe field width.

合と狭い場合をそれぞれ状態(a), (b)とする。Fig.3 に記録ヘッド幅、ヘッドフリンジ磁界幅、記録トラック幅 (磁化された幅)の概念的な関係図を示す。

3.1 再生出力による測定

Fig.4 に Head #1, #2 についてフリンジ磁界の広がりや再生出力測定から評価した結果を示す。入出力特性で再生出力が再生飽和出力の90%となる記録電流を I_{90} として、DC 消去電流が $2 \times I_{90}$, $6 \times I_{90}$ の2つの場合について行った。また、Fig.5 に同様の測定を Head #3 について消去電流が $1.5 \times I_{90}$ の場合について行った結果を示す。記録信号の線密度は全て 10 kFRPI とした。両図において点線はフリンジ磁界が存在せず再生にじみもない理想の場合を示す。Head #1, #2 の測定では、記録、DC 消去、再生に同一の薄膜ヘッドを用いているため、測定結果はフリンジ磁界の広がり小さいものは点線に近く、大きいものは点線からより大きくずれて現れる。Fig.4 から Head #2 は、そのフリンジ磁界が小さく、その広がりは無視できる程度であり、DC 消去電流を大きくしてもフリンジ磁界はあまり広がらないことがわかる。一方、Head #1 はフリンジ磁界が大きく広がっているため (a) 領域で既に出力が低下している。電流を大きくするとフリンジ磁界がさらに広がり、出力の低下が大きくなっている。Fig.5 において、記録ヘッド幅は $2 \mu\text{m}$ であるが再生 MR ヘッド幅が $1.4 \mu\text{m}$ であるため、理想状態 (フリンジ零) を示す点線は W_{eg} が $1.4 \mu\text{m}$ で折れ曲がる。それに対し測定結果はフリンジ磁界の広がり大きいため W_{eg} がかなり大きい状態で出力が低下している。

3.2 ビッターパターンによる測定

上記と同様にフリンジ磁界の広がりをビッター法で評価した結果を Fig.6 の写真に示す。同図は (a) フルトラック、(b) $W_{eg} = (\text{記録ヘッド幅}) \times 0.8$ 及び (c) $W_{eg} = (\text{記録ヘッド幅}) \times 0.4$ の場合を示す。Head #1, #2 の (c) の写真から、Head #1 はフリンジ磁界が広いのでトラック端が大きく消されトラック幅が狭くなっていることがわかる。Head #3 では W_{eg} を小さくすると幅の広い

Fig. 4 Normalized output vs. erasing head edge gap, at 10 kFRPI for heads #1 and #2.

Fig. 5 Normalized output vs. erasing head edge gap, at 10 kFRPI for head #3.

Fig. 6 Bitter patterns of micro-track for each head at 10 kFRPI. (a) Full track, (b) $W_{eg} = 0.8 \times Tw_{phy}$, (c) $W_{eg} = 0.4 \times Tw_{phy}$. $I_{erase} = 2 \times I_{90}$ for heads #1 and #2, $I_{erase} = 1.5 \times I_{90}$ for head #3.

ビットパターンと狭いビットパターンが交互に現れている。これは媒体飽和磁界よりも小さいヘッドフリンジ磁界の広がりが大きく、印加磁界と逆の極性をもっていた磁化領域を十分にDC消去できていないことが原因であると考えられる。

Figs.7,8の太線で示す曲線はFig.6から求めた残留トラック幅 T_w を各ヘッドのトラック幅 T_{wphy} で規格化したものである。Fig.8 では残留トラック幅の広いものと狭いものを別々に示している。これらの図の点線はフリンジ磁界が存在しない理想の場合のグラフである。実測のグラフが1よりも大きくなっているのは、フリンジ磁界によって記録トラック幅が広がっていることを示している。Figs.7,8の細線で示す曲線 Ep/Ep_{max} は Fig.4 の曲線 ($I_{erase} = 2 \times I_{90}$) と Fig.5 の曲線である。再生出力測定によるグラフとビッターパターンによるグラフを比較すると、Head #1, #2 に対しては出力が減少し始める W_{eg} と50%に減ずる W_{eg} の値はビッターで観察されるトラック幅が減少し始める W_{eg} と50%に減少する

W_{eg} の値にはほぼ一致している。一方、Head #3 に対しては、出力が減少し始める W_{eg} は狭いビットパターンが減少し始める W_{eg} に対応しており出力の減少の度合いが大きくなる点 R に対応する W_{eg} は広いビットパターンの減少し始める W_{eg} に対応している。

このように記録ヘッドフリッジ磁界の磁極形状依存性を調べた結果、再生出力測定とビットパターン観察の両方から、上下のポールの幅を等しく揃えることがフリッジ磁界の広がりを抑える上で重要であるということが示された。

4. 記録トラック幅の線密度依存性

トリミングを施した Head #2 では Fig. 7 に示すように、出力の変化及びビットパターンの変化が理想状態を示す点線によく一致するため、出力が低下し始める W_{eg} から記録トラック幅は容易に推定できるが、Head #1, #3 のようにフリッジ磁界の広がりが大きなヘッドでは出力変化を表すグラフとビット法による測定結果が理想状態を表すグラフからずれるため、記録トラック幅の推定が困難である。本節ではフリッジ磁界の広がりが大きいこのようなヘッドについて、Head #3 を例に、記録トラック幅の再生出力による推定法を述べる。

以下に、フリッジ磁界の広がり幅を測定しその結果をもとに記録トラック幅を算出する手法について述べる。

フリッジ磁界の広がり幅を Fig. 5 のグラフから求める。再生出力は、 W_{eg} が狭くなるにつれて、最初緩やかに減少し、続いて直線的に減少 (QR, RS) した後、また緩やかに減少する。直線的に減少している 2 つの領域は W_{eg} と記録トラック両端が消磁される変化の割合が一定であるためであるが、さらに W_{eg} が小さくなり出力の減少がまた緩やかになる部分では、記録トラックの中央で左右のフリッジ磁界同士が重なって消磁の割合が W_{eg} の変化の割合に比べて小さくなるためであると考えられる。従って Fig. 5 の点 S に対応する W_{eg} の半分の値がヘッド片側のフリッジ磁界の広がり幅を与えることとなる。グラフの傾きから点 S を求めた結果、Head #3 におけるフリッジ磁界の広がり幅は片側で $0.65 \mu\text{m}$ となった。

次に、Fig. 9 に示すように記録トラックの片側を同一ヘッドで DC 消去し、そのときのヘッドの位置の関数として再生出力を測定する。このとき再生ヘッドの位置は、再生にじみの影響を避けるために、消去前の記録トラックに半分オントラックするようにする。再生出力が低下し始める offset 量からフリッジ磁界の広がり幅と記録ヘッド幅を除いたものが記録にじみ幅となる。この測定を記録トラックの両端について行うことで記録トラック幅を算出する。線密度 10 kFRPI と 120 kFRPI における測定結果を Fig. 10 に示す。再生出力が低下し始める offset 距離が 10 kFRPI, 120 kFRPI でそれぞれ $2.86 \mu\text{m}$, $2.50 \mu\text{m}$ であり記録トラック片側の記録にじみ幅は 10 kFRPI, 120 kFRPI で $0.21 \mu\text{m}$, $-0.15 \mu\text{m}$ となる。

このようにして再生出力から推定した記録トラック幅とビットパターンから測定した記録トラック幅を Fig. 11 に示す。両者はほぼ一致しており再生出力による測定法は有効であると考えられる。高線密度になるにしたがい記録トラック幅が狭くなり、線密度 50 kFRPI 以上で記録ヘッド幅よりも狭くなっている。このときビット長は $0.5 \mu\text{m}$ で記録ギャップ長の約 1.7 倍に相当している。

Fig. 7 Normalized track width and output vs. erasing head edge gap at 10 kFRPI for heads #1 and #2.

Fig. 8 Normalized track width and output vs. erasing head edge gap at 10 kFRPI for head #3.

Fig. 9 Method for measuring written track width.

Fig. 10 Offset erasing position vs. output E_p .

高線密度でのこのような記録トラック幅の減少は、記録ヘッドトラック端の磁界傾斜の劣化に伴う記録減磁によると考えられる。

Fig. 11 Linear density vs. written track width.

5. ミスレジストレーション記録

通常の記録・再生方式は広トラック記録・狭トラック再生であるが、取えて記録・再生トラック幅が同じであるような極端な場合を含めミスレジストレーション記録による隣接トラックへの影響を調べた。

測定方法を Fig. 12 に示す。信号 S_1 を記録した後、記録ヘッドを距離 x だけオフセットさせて信号 S_2 を記録し、再生ヘッドを記録ヘッドの中央の位置 (Position 1)、エッジが対向位置 (Position 2) の 2 通りで信号 S_1 と S_2 の再生出力を測定する。Head #3 を用いて測定を行った。

Fig. 13 は Position 1 の測定結果である。図中に示すように S_1 の再生出力が低下し始めるオフセット距離を P とする。 S_1 の線密度が高い場合 P は小さく、低い場合には P が大きくなっていることがわかる。この結果は、4 節の測定結果から記録トラック幅の線密度依存性が影響しているといえるが、再生にじみの影響も含んでいることも予想される。そこで記録トラックの両側を DC 消去したマイクロトラックのオフトラック特性を測定して再生にじみの影響の有無を調べた。オフトラック特性において出力が最大出力の 50% となる幅を Tw_{50} と定義し、その線密度依存性を調べた。

Fig. 14 に Position 1, 2 における P と Tw_{50} の線密度依存性を示す。 Tw_{50} は線密度に依存していないため両図における P の線密度依存性は記録トラック幅の線密度依存性によると考えられる。 S_1 が低線密度の場合の P は大きく、高線密度の場合の P はやや小さくなっているため、 S_1 の線密度が低いとミスレジストレーション記録の影響を受けやすく、高いとその影響は幾分軽減されるといえる。なお P の値は再生出力から考えられるトラックピッチの最小値を与えている。Fig. 14 に示される測定結果の値がほぼ同じである理由は、ここで使用したヘッドはその再生にじみが大きく記録トラック幅と同程度の幅の再生感度を持っているためと考えられ、この点については更に検討を行っている。

6. まとめ

ヘッドフリッジ磁界の磁極形状依存性について記録トラックの両側を DC 消去したマイクロトラック法とビッター法から検討した結果、両者とも上下のポール幅が等しいヘッドではフリッジ磁界の広がりが極めて小さく、トリミングを施した Head #2 では

Fig. 12 Off-track overwriting at x and read-head positions 1 and 2.

Fig. 13 Offset distance x vs. output Ep for read head position 1, and definition of the critical offset position P .

Fig. 14 Linear density vs. Tw_{50} and the critical offset position P .

無視できる程度であることが確認された。また、記録信号の再生出力から記録トラック幅の測定を行うことができた。さらに、ミスレジストレーション記録が起こった場合、高線密度のトラックは受けるダメージが軽減されることがわかった。

謝辞 本研究は SRC の支援により行われたものです。

文献

- [1] W. P. Jayasekara, A. Roesler and M. H. Kryder: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3548 (1996).
- [2] P. Glijer, E. Noel Abarra, Holger Kisker, T. Suzuki: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3557 (1996).
- [3] J. Akiyama, Y. Ohinata, T. Hikosaka, T. Taguchi and Y. Tanaka: *J. Appl. Phys.* **79**(8), 5655 (1996).