単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体におけるトラックエッジノイズ

Track-edge Noise in Single-pole Head with Perpendicular Double-layer Media

山田 洋・村岡裕明・中村慶久

東北大学電気通信研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2丁目1番1号

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

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

(2000年10月6日受理, 2001年1月24日採録)

Because single-pole heads used with perpendicular recording media have a very sharp head field distribution, high-resolution bit writing can be obtained. Indeed, using a flying height of around 50 nm, an erase-band width of around 30 nm has been measured. Low track-edge noise is also very important to the overall performance of the system, however. In this paper we discuss simulated head field distributions and track-edge noise performance through measurement of off-track noise profiles, obtained using a spin-stand. For a single-pole write head with perpendicular double-layer media, almost no track-edge noise was observed.

Key words: perpendicular magnetic recording, single-pole head, perpendicular double-layer media, track-edge noise, off-track profile

1. はじめに

磁気記録の高面記録密度化には、高線記録密度化と共に高トラック密度化も重要であるが、急峻なヘッド磁界分布を有する単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体系を用いた垂直磁気記録は原理的に有利であると考えられている。これまで記録層厚み 50 nm, 浮上量 50 nm 程度の実験条件においてもイレーズバンド幅は狭小で 30 nm 程度であると報告しており¹⁾, また 0.1 μm 程度の狭トラック書き込みが可能であることから²⁾, このヘッド媒体系はトラック幅方向でも高い記録分解能を有することが実証されている。

一方、システムとして考慮した場合、トラックエッジノイズはオフトラック精度を低減させるため、高トラック密度化の制限となる。トラックエッジノイズはリングヘッド/長手記録媒体において発生し、また、垂直二層膜媒体といえども、市販リングヘッドで書き込む場合は若干発生するという報告もなされている³⁾。したがって、高い記録分解能を有する単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体系においても、トラックエッジノイズを解析することが重要となる。

ところで、ダウントラック方向の媒体ノイズは磁氣的クラスタの揺らぎによる転移性ノイズが支配的であり⁴⁾, 媒体の微細磁気構造だけでなく記録過程にも要因がある⁵⁾。筆者らは、クロストラック方向においても同様に、媒体の微細磁気構造だけでなく、書き込みヘッド磁界分布がトラッ

クエッジ部分の磁化状態に与える影響が無視できないと考えた。本報告では、シミュレーションから3次元ヘッド磁界分布を求め、トラックエッジノイズの測定結果に与える影響を定性的に検討したので、以下に報告する。

2. シミュレーション条件および実験方法

単磁極ヘッドおよびリングヘッドの3次元ヘッド磁界分布は、当研究室で開発された3次元磁気記録シミュレータ⁶⁾により求めた。シミュレーション条件は Table 1 に示す通りであり、実測条件との整合性を持たせた。ただし、磁界分布の計算において、媒体記録層の磁化は無視し、媒体厚の中央における媒体磁化方向成分の最大磁界強度は、保磁力の2倍程度を想定し、約 7 kOe とした。なお、本論文における座標は、ヘッド走行(ダウントラック)方向を x 軸、媒体垂直方向を y 軸、クロストラック方向を z 軸とした。

Table 1 Simulation parameters.

	Ring head	Single-pole head
Track width [nm]	0.8	
Gap length [nm] / pole thickness [nm]	300	400
Head-to-media spacing [nm]	25	
Media thickness [nm]	25 (center)	50 (center)

Table 2 Head and media parameters.

	Ring head	Single-pole head
Track width [μm]	0.8	2
Gap length [nm] / pole thickness [nm]	300	400
Flying height (FH) [nm]	25	30
Recording layer CoCrTa	$B_r \delta = 80 \text{ G}\mu\text{m}$	$\delta = 50 \text{ nm}$
Under layer CoZnNb	NA	$\delta = 300 \text{ nm}$
Read GMR head	Track width = 0.6 μm Shield gap = 0.14 μm , FH = 25 nm

Fig. 1 Off-track overwrite pattern: (a) old tracks before overwrite, (b) overwrite on the old tracks.

測定に用いたヘッド・媒体の諸元を Table 2 に示す。垂直二層膜媒体に対する書き込みヘッドは、両側にリターンパスを有するカスプ磁界励磁型単磁極ヘッドであり⁷⁾、主磁極膜は高飽和磁束密度(1.9 T)を有する Fe-Si-N である。長手記録媒体に対する書き込みヘッドは、読み出しに用いたマージ型 GMR ヘッドのリングヘッドである。書き込み起磁力は、いずれも飽和記録が行なわれる最適値とした。測定は、書き込み・読み出しヘッドを独立に設置できるデュアルステージスピンドルを用い、同一の GMR ヘッドで読み出した。トラックエッジノイズは、Fig. 1 に示すオフトラックオーバーライトパターンを以下の手順で書き込み、ノイズのオフトラック特性測定より求めた；パターンの周囲数十 μm にわたり直流消去状態とし、(a)クロストラック方向両側へ前歴信号(98 kFRPI, 102 kFRPI)を書き込み、(b)その上にオーバーライト信号(100, 200, 300 kFRPI)を書き込むことより得た。前歴トラックのシフト量は、読み出しヘッドのトラック幅以上とした。媒体ノイズは、スペクトラムアナライザに取り込んだ読み出し信号の信号成分(線スペクトル)を計算機で除去した後、帯域幅 60 MHz で周波数積分し、実効値電圧に換算した。ヘッド媒体間の線速度は 7.62 m/s である。

3. 結果および考察

トラックエッジにおけるヘッド磁界分布がダウントラック方向に広がる場合、磁界は裾を引く分布となる。この磁界に曝されることにより、トレーリング側の磁化遷移が揺らぎ、エッジノイズが大きくなることが懸念される。一方、分布が急峻で裾の広がり小さい場合は、磁界の影響を受けないため、磁化遷移の揺らぎが小さく、エッジノイズも小さいものと思われる。そこで、ヘッド磁界分布を計算し、オフトラックノイズ特性の測定結果について検討した結果を以下に示す。

3.1 3次元ヘッド磁界分布

Fig. 2 はヘッド磁界媒体磁化方向成分のダウントラック方向分布を示す。(a)はリングヘッド/長手媒体の場合(H_x を

(a) Ring head (longitudinal media).

(b) Single-pole head (perpendicular double-layer media).

Fig. 2 Simulated head field distributions of the ring head and single-pole head on magnetization direction. The x-axis was the position in the down track direction that was normalized by gap length and pole thickness, respectively. 1, 2, 3, and 4 shown in this figure indicate the positions from the track-center.

Fig. 3 Simulated head field distributions of the ring head and single-pole head on cross track components.

示す), (b)は単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体の場合(H_y を示す)である。縦軸はトラック中央の最大磁界強度(約7 kOe)で規格化したヘッド磁界強度, 横軸は(a)ギャップ, または, (b)主磁極膜厚, で規格化したヘッド走行方向の位置を示し, ギャップ又は主磁極膜の断面概形も図示した。図中(1),(2),(3),(4)で示す分布は, (1)トラック中央, (2)トラックエッジ, (3)エッジから100 nm, (4)エッジから200 nm離れた位置, での計算結果である。

同図(a)より, ギャップ中央($x=0$)およびギャップトレーリングエッジ($x=-0.5$)における磁界強度は, (1)トラック中央, (2)トラックエッジ, (3)エッジから100 nm, (4)エッジから200 nmと, トラックエッジの外側へ向かう順で小さくなるが, ギャップトレーリングエッジからダウントラック方向に離れた位置($x=-1.5$)に着目すると, (4), (3), (2), (1)の順に逆転する結果が得られた。リングヘッドの磁界分布はトラック中央において急峻であるが, トラックエッジ部分ではその急峻性が失われ, ダウントラック方向に裾を引く形状になる。したがって, トラックエッジにおいては, 磁化転移点からヘッドが離れても緩やかに裾を引く磁界の影響を受けるため, 磁化遷移が揺らぎ, エッジノイズが増大することが推察される。

一方, 同図(b)より, 主磁極膜厚中央($x=0$), トレーリングエッジ($x=-0.5$)およびトレーリングエッジからダウントラック方向に離れた位置($x=-1.5$)における磁界強度はいずれも, (1)トラック中央, (2)トラックエッジ, (3)エッジから100 nm, (4)エッジから200 nmの順で小さくなっており, リングヘッドで見られたようなトラックエッジ部分における磁界分布の広がりには認められなかった。本シミュレーションは, 記録層膜厚50 nmと磁気的スペーシングが高い条件で行なったものであるが, (3)エッジから100 nm, (4)エッジから200 nmの部分に若干漏れる磁界の強度も小さく, またその分布は主磁極膜厚程度以上に広がらない。したがって, 単磁極ヘッドはヘッド走行方向に裾を引かない急峻な磁界分布であるため, 磁化遷移への影響も小さく, そのためエッジノイズが小さいことが推察される。

Fig.3は, クロストラック方向磁界成分 H_z について, Fig.2と同様な計算の結果を示したものである。ここではトラックエッジに着目し, 同図中に示す(2)トラックエッジ, および, (4)エッジから200 nm, の結果のみを示す。リングヘッドはトラックエッジからの漏れ磁界強度も大きく, 媒体磁化方向成分 H_x と同様に広がるため, 裾を引く分布となる。一方, 単磁極ヘッドはトラックエッジから漏れる磁界強度も小さく, 垂直方向磁界分布 H_y と同様, ヘッド走行方向に裾を引かない分布となる。

以上の結果より, ヘッド磁界クロストラック方向成分のダウントラック方向分布が示す裾を引く傾向は, 媒体磁化方向磁界分布の計算結果と同様, トラックエッジノイズへの寄与が大きいものと考えられる。

Fig. 4 MFM image of an off-track overwrite pattern for the single-pole head with perpendicular double-layer medium. The old track and overwrite track were 98 kFRPI and 200 kFRPI, respectively.

3.2 トラックエッジノイズ

Fig.4は, 単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体において, Fig.1に示すオフトラックオーバーライトパターン(前歴信号:98 kFRPI, オーバーライト信号:200 kFRPI, シフト量:1 μm)を書き込んだ時の媒体磁化情報をMFMで観察した結果である。オーバーライトトラックのエッジ部分における磁化の揺らぎがほとんど見られず, イレーズバンド幅も数十nm程度であり, 以前の報告例と妥当な一致を示す¹⁾。これは, 単磁極ヘッドは急峻な磁界分布を有すること, トラックエッジにおいても漏れ磁界が小さく, 裾を引かない磁界分布であることより, トラックエッジの磁化遷移がほとんど揺らがないためと考えた。

この磁化パターンに対するオフトラックノイズ特性の測定結果をFig.5に示す。なお, 長手記録媒体の測定は, 本実験に用いたリングヘッドのトラック幅が0.8 μmと狭いため, 前歴信号のシフト量を0.6 μmとした。

同図(a)はリングヘッド/長手媒体に対する測定結果である。98 kFRPI, 102 kFRPIの前歴トラックおよび100 kFRPIのオーバーライトトラックに対するオフトラックノイズ特性は, 各トラック中央部分のノイズと比べエッジ部分のノイズが明らかに増大している様子が確認できる。ただし200 kFRPI, 300 kFRPIのオーバーライトトラックではエッジノイズが比較的小さく見えるが, 遷移ノイズが支配的であるためエッジノイズが相対的に小さいためである。この結果, 本実験で用いたリングヘッド/長手媒体系は, トラックエッジ部分においてヘッド走行方向に裾を引く漏れ磁界分布を有することにより, トラックエッジノイズを発生するものと考えられる。

4. まとめ

単磁極ヘッドと垂直二層膜媒体を組み合わせた系において、ヘッド磁界分布がトラックエッジノイズに与える影響について定性的な検討を行なったところ、次のことが明らかとなった。

- (1) リングヘッドのトラックエッジにおける媒体磁化方向とトラック幅方向の両成分磁界分布は、ヘッド走行方向に裾を引く形状であることを確認した。オフトラックノイズ特性の測定結果より、この磁界分布が磁化遷移の揺らぎを引き起こし、トラックエッジノイズ発生に対する寄与が大きいことが示された。
- (2) 単磁極ヘッドのトラックエッジにおける媒体磁化方向とトラック幅方向の両成分磁界分布は、漏れ磁界強度も小さいこと、ヘッド走行方向に裾を引かず主磁極膜厚程度に収まる形状であることを確認した。オフトラックノイズ特性の測定結果はこの分布を反映し、トラックエッジノイズがほとんど認められないことが示された。
- (3) 単磁極ヘッドと垂直二層膜媒体の組み合わせは、磁気的スペーシングが小さくなるとその磁界分布も急峻になり、ダウントラック方向への裾引きがさらに小さくなるため、ヘッド磁界分布の観点から高分解能化・低ノイズ化に有利であることを示唆する。

謝 辞 ここで用いた単磁極ヘッドは、秋田研高度技術研究所、山川氏、伊勢氏より提供頂いた、深謝する。本研究には、文部省科研費、NEDO/ASET、SRC、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業の援助を得ている。

文 献

- 1) 山田 洋, 村岡裕明, 杉田 恒, 中村慶久: 2000 年電子情報通信学会総合大会, C-7-15, 35 (2000).
- 2) S. K. Khizroev, M. H. Kryder, Y. Ikeda, K. Rubin, P. Arnett, M. Best and D.A. Tompson: *IEEE Trans. Magn.*, **35**, 2544 (1999).
- 3) 是成貴弘, 坪井眞三, 奥村俊之, 松寺久雄, 田上勝通: 日本応用磁気学会誌, **21**, S1, 173 (1997).
- 4) 三浦健司, 村岡裕明, 杉田 恒, 中村慶久: 日本応用磁気学会誌, **24**, 231 (2000).
- 5) 三浦健司, 村岡裕明, 中村慶久: 第 24 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 14pA-2 (2000).
- 6) 清水幸也, 田河育也, 中村慶久: 日本応用磁気学会誌, **17**, S2, 1 (1993).
- 7) K. Ise, K. Yamakawa, K. Ouchi, H. Muraoka and Y. Nakamura: CB-8, Digest of INTERMAG 2000 in Toronto.

(a) Ring head (longitudinal media).

(b) Single pole head (perpendicular double-layer media).

Fig.5 Off-track noise profiles for the off-track overwrite pattern. These tracks were recorded by (a) the ring head for longitudinal media, (b) the single-pole head for perpendicular double-layer media. The old tracks were 98 kFRPI and 102 kFRPI, respectively.

一方、同図(b)は単磁極ヘッド/垂直二層膜媒体に対する測定結果である。前歴トラックおよびオーバーライトトラックのいずれにおいても、トラック中央部分とエッジ部分のノイズが測定誤差内で一定であり、明確なエッジノイズは認められなかった。この傾向は、オーバーライト信号の記録密度を変化させても同様である。以上の結果より、トラックエッジ部分においても急峻で、なおかつヘッド走行方向に裾を引かない単磁極ヘッドの磁界分布は、トラックエッジノイズの発生を低減し、高記録分解能と相まって高トラック密度化を図る上で有用であると考えられる。