垂直二層膜媒体ノイズの記録磁界依存性

Dependence of Medium Noise on Writing Field in Double-layer Perpendicular Media

三浦 健司・村岡 裕明・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

K. Miura, H. Muraoka, and Y. Nakamura

RIEC, Tohoku Univ., 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577

(2000年10月6日受理, 2001年1月24日採録)

We investigated the dependence of media noise on the writing head in perpendicular magnetic recording. Transition noise modeling, discussed first, provided measurements for various write heads to determine head field influence. Results show that transition jitter corresponding to medium noise correlates with the head field gradient. Sharpening head field gradient is thus an efficient method for reducing the medium noise.

Key words: medium noise, single-pole head, perpendicular double-layer medium, transition jitter, head field gradient

1. はじめに

垂直磁気記録における重要な課題の一つがメディアノイズの低減である。垂直媒体のノイズ起源として転移間の減磁界により生じる微細磁化反転が示されている。¹⁾しかし、軟磁性裏打ち層を持つ二層膜型の垂直媒体では、スペクトラム積分による実効値ノイズ電圧が線記録密度の平方根に比例して増加する傾向が観測されており、転移性ノイズの存在が示唆されていた。筆者らは垂直二層膜媒体に単磁極ヘッドにより記録を行なった場合について、時間軸解析によってノイズの発生源が転移付近にあることを示し、転移性ノイズが主であることを明確にした²⁾。これはメディアノイズ電圧と転移位置変動(転移ジッタ)が対応することを意味しており、メディアノイズの低減はジッタの低減と等価である。

垂直二層膜媒体のメディアノイズの議論はこれまで数多くなされてきた。本来、メディアノイズは記録媒体の微細構造に深く関わるため、記録媒体の微細構造制御、例えば、媒体記録層の粒子サイズと粒子間の磁気的な結合、配向性、角型比、などが重視されてきた。³⁾特に、記録再生特性や MFM など観測される等価的な磁気単位(クラスター)は粒子サイズより大きい場合が多いため、クラスターサイズの低減のために粒子間の磁気的孤立化の促進に大きな努力が払われてきた。一方で、磁化転移の性状を含めた記録磁化分布を決定する記録過程とメディアノイズ、特に記録ヘッド磁界とメディアノイズの関係は必ずしも十分な議論がされていなかった。

本論文では、垂直磁気記録の記録過程における転移の形成を考察し、実験を通して明らかにすることを試みた。すなわち、種々の記録ヘッドに対して記録電流の変化に対するメディアノイズを測定し、記録磁化が決定される媒体保磁力付近の記録ヘッド磁界勾配に着目してジッタ量との定性的な関係について考察した。その概要を以下

に報告する。

2. 記録ヘッド磁界勾配と転移ジッタ量との関係

筆者らは時間軸解析により得られる転移ジッタ量が磁化転移付近に集中し、ランダム多角形(Voronoi cell)モデルとの定量的な比較からジッタ量は磁気的クラスター径に対応する結果を得ている。²⁾よって、低ノイズ化のためにはこのクラスター径の微細化が直接的なアプローチとなり、記録媒体の微細磁気構造の検討が必要である。しかし、このノイズは磁化転移に関わるものであり、記録転移形状は媒体の磁気的構造だけでなく記録過程でも決定される。平均磁化転移幅だけではなく、このクラスター形成も記録過程における要因が影響する可能性がある。換言すれば、ノイズ低減には記録媒体の改良だけではなく記録プロセスパラメータを改善することで効果が期待できる可能性がある。

図1は磁化転移ジッタ量とヘッド磁界勾配との関係を、記録媒体の保磁力分散 Switching field distribution (S.F.D.) と関連させて、概念的に示したものである。ここで、同図は磁化転移が形成されるヘッド磁界が反転した瞬間の磁界勾配が緩急の2通りで、右側の保磁力分散に対応して上側に示す磁化転移の広がり方が異なる様子を表している。いったん主磁極中央付近で飽和に達した後、反磁界を含めた実効ヘッド磁界が記録層保磁力に等しくなる点で磁化転移が形成される。この際に、ヘッド磁界勾配が緩やかであれば、保磁力分散を有する個々の媒体微粒子がダウントラック方向に広い分布を持って反転領域を形成する。すなわち、平均転移位置から離れていても磁界勾配が緩やかなために反転する(あるいは反転し切れない)粒子が残存し

Fig. 1 Relation between head field gradient and transition jitter.

Table 1 Heads and medium specification.

Write heads	
•FeSiN SPT head (B_s : 1.9 T)	
Track width	5 μm
Main-pole thickness	400 nm
Number of coil turns	3 turns
•CoZrNb SPT head (B_s : 1.2 T)	
Track width	5 μm
Main-pole thickness	400 nm
Number of coil turns	2 turns
•Thin film ring head	
Write gap length	0.27 μm
Number of coil turns	11 turns
Read head: GMR head	
Track width	0.9 μm
Shield gap length	0.15 μm
Medium: Perpendicular double-layered medium	
CoCrTa Recording layer (M_s : 400 emu/cc, H_{c1} : 2800 Oe, M_r/M_s : 0.69)	50 nm
Ti Seed layer	5 nm
CoZrNb Underlayer (B_s : 1.2 T)	600 nm

て転移領域が広がり、従って、個々の転移位置の理想位置からの分散であるジッタ量が大きくなる。

このことはわずかな交換相互作用によって記録層磁性結晶粒が数個集まり同一磁氣的挙動を示すクラスタを形成する機会が増えることも意味する。すなわち、磁気クラスタ径が大きくなる。逆に急峻なヘッド磁界勾配であれば磁氣的クラスタが小さく形成され、磁化反転の開始位置と終了位置との間隔が狭くなることが予想される。磁氣的クラスタサイズは記録過程、特に記録層保磁力付近のヘッド磁界勾配に依存する可能性がある。この場合に転移付近で実効ヘッド磁界が直線的であれば、転移ジッタ量はヘッド磁界勾配の逆数に比例して改善されることが期待される。

3. 実験方法

本測定では複数の記録ヘッドと、それぞれのヘッドにおいて記録電流を変化させることにより、記録ヘッド磁界分布、すなわちヘッド磁界勾配ならびにヘッド磁界強度の変化を与えた。測定に用いたヘッド・ディスクの諸元を表1に示す。記録ヘッドには主磁極膜厚、トラック幅の主磁極形状が等しく、主磁極飽和磁束密度 (B_s) が FeSiN の 1.9 T、CoZrNb の 1.2 T と異なる2種類の単磁極ヘッド¹⁾と、薄膜リングヘッドを用いている。記録媒体には CoZrNb アモルファス裏打ち層の上に Ti シード層を有する垂直二層膜媒体を用い、ディスクの回転速度を 7.62 m/s に設定した。このときのヘッド浮上量はおよそ 30 nm である。

転移ジッタ量ならびにハードランジションシフト (HTS) 測定は、10 kfcI の一定周期信号を記録した際の再生波形を重畳する時間軸解析手法によった⁴⁾。ここで垂直記録再生波形である矩形波形のゼロクロス点の揺らぎ距離の標準偏差をジッタ量 σ_{jitter} (nm) とし、転移間

距離に相当する矩形波形の立ち上がりから立ち下りの距離と立ち下りから立ち上がりの距離の差より HTS (nm)を算出した。

4. ジッタ量測定結果

4.1 記録条件によるジッタ量、メディアノイズの変化

3種類の記録ヘッドによる再生出力とジッタ距離の記録起磁力依存性を図2に示す。再生出力が最大値を示す最適起磁力においてジッタ量が最小値となる。特に現状の単磁極ヘッドと CoCr 系二層膜媒体の場合、記録起磁力の増加とともにヘッド磁界勾配とヘッド磁界強度が同時に増大することが予想される。本測定でも、最大起磁力もしくはその近傍で再生出力が最大でジッタ量が最小となる測定結果を得た。一方、薄膜リングヘッド記録では上部磁極の断面積が大きいことにより過大な起磁力では裏打ち層が磁気飽和を起し、ヘッド磁界勾配が劣化して記録減磁を生じる恐れがある。本測定において、最大再生出力を与える最適起磁力を越えた場合にははっきりした記録減磁が認められたが、これに対応してジッタ量も増減する傾向が明らかである。

ここで用いたヘッド構造と単磁極ヘッド主磁極の飽和磁束密度 B_s の値を考えると、薄膜リングヘッドはその垂直記録磁界成分を用いることから単磁極ヘッドに比べると記録磁界勾配が緩慢である。また、単磁極ヘッドについては、ヘッド磁界分布が同一であって最大記録磁界強度は主磁極の飽和磁束密度に応じて大きくなるために、絶対値で考える磁界勾配は主磁極の飽和磁束密度が高いほど大きくなると考えられる。すなわち、薄膜リングヘッド、CoZrNb 単磁極ヘッド、FeSiN 単磁極ヘッドの順にヘッド磁界勾配がより急峻になることが予想される。図2より、それぞれの記録ヘッドにおいて達成できる最小ジッタ量は上記の順に 11.0 nm, 9.1 nm, 7.7 nm と小さくなる結果が得られている。

なお、記録ヘッド磁界勾配は磁化転移形状にも大きく影響することがわかっているが、本実験において記録分解能の点から考察すると、低密度記録出力の半分の出力を呈する記録密度 (D_{50}) の値は、3種類のヘッドを用いたときの最適起磁力で、それぞれ 115 kfcI, 130

Fig. 2 Dependence of output voltage and jitter on MMF among three writing heads.

Fig. 3 Dependence of RMS noise voltage on MMF among three writing heads.

Fig. 4 Correlation between medium noise and transition jitter.

kfci, 150 kfci となった。確かに、ヘッド磁界勾配の急峻性はメディアノイズ低減だけでなく、記録高分解能化にも寄与していることが確認できる。

図3には各記録ヘッドにおけるメディアノイズ電圧を記録起磁力に対して示したものである。ジッタ距離が十分小さなところでメディアノイズ電圧も抑えられている。従って、メディアノイズ自体も上記のジッタ量に類似の傾向を持つ。これをより明らかに示すために、各記録ヘッド、各起磁力におけるジッタ量とメディアノイズ電圧の相関を図4に示す。ジッタ量とメディアノイズ電圧値には明確な正の相関が存在し、ジッタ低減がメディアノイズ抑制に効果的であるとともに、メディアノイズの議論をジッタ量に帰着させて良いことが示されている。

4.2 ハードランジョンシフトの記録起磁力依存性

ヘッド磁界勾配に依存するもう一つのパラメータが HTS である。HTS は、前歴磁化からの磁界がヘッド磁界に重畳されることで実効的な記録ヘッド磁界が増減して転移位置がシフトする現象であり、高密度ほどビット長に対するシフト量が相対的に大きくなり影響が強いことが知られている。ここで、ヘッド磁界勾配が急峻であれば前歴からの干渉磁界の大きさが同一であっても、媒体の反転磁界に等しくなる磁界強度を与える位置の変動が小さいので、HTS も小さくなる。このことは同一媒体に対する HTS の大きさが記録ヘッドによって変化し

Fig. 5 Dependence of HTS on the amount of transition jitter among three writing heads.

た場合には、その磁界勾配と強く関連すると考えられる。図5は、本測定系においてこれを測定したもので、HTS とジッタ量の相関を示している。

必ずしも強い相関ではないものの、ジッタ量が大きくなる場合はそれに対応して HTS も増大していることが分かる。これは上記の議論に従えば、ヘッド磁界勾配の緩慢化によってジッタ量が大きくなることを示している。すなわち、ジッタ量とヘッド磁界勾配との関係には相関があることが確認できた。

5. ジッタ量とヘッド磁界勾配との関係

ところで、各記録ヘッドの各記録起磁力におけるヘッド磁界勾配の具体的な値はコンピュータシミュレーションによる数値計算で推定することが可能である。ここでは、記録層の非線形磁化特性を考慮した二次元有限要素法を用いるシミュレーションで求めた。⁹⁾ ただし、計算は静的なヘッド磁界強度を求めるもので、実際の記録に対応する磁化転移を記録する状態のシミュレーションは行なっていない。単磁極ヘッドにおいては主磁極先端部分が開路構造を有しているため、磁路中に挿入される記録媒体磁気特性のモデリングは重要である。本計算では媒体の非線形磁化特性を考慮したヘッド磁界分布を求め、記録層中央部分での磁界強度をもってヘッド磁界とした。

ただし、ある記録起磁力に対して計算で得られたヘッド磁界分布がそのまま対応する記録電流でのヘッド磁界である保証はないので、何らかの校正を行なう必要がある。ここでは、リバース DC イレーズノイズ測定法を用いて実際の記録起磁力との対応させた。⁹⁾ すなわち、記録ヘッド磁界が媒体の平均反転磁界に等しい際に観測される媒体ノイズが最大になる垂直媒体の性質を用いて、媒体ノイズの記録電流依存性を観測して最大ノイズ電圧を与える電流値において、ヘッド磁界強度が媒体の反転磁界(近似的に保磁力に等しい。)として計算結果の校正を行なった。

記録ヘッドに FeSiN 単磁極ヘッドを用いたときのリバース DC イレーズノイズ特性の測定結果を図6に示すが、同図で媒体ノイズがビ

Fig. 6 Reverse DC erase noise characteristics for FeSiN SPT head.

Fig. 7 The diagram of the M.M.F. calibration on simulation using Reverse DC erase noise characteristics.

Fig. 8 Relation between transition jitter and head field gradient around H_c .

ークを呈する記録起磁力(0.033 AT)で、ヘッド磁界強度と記録層保磁力(3200 Oe)が等しくなったとした。図7にはシミュレーション起磁力

に対するヘッド磁界強度の概念図を示す。計算で得られる最大ヘッド磁界強度の起磁力依存性に対して、上記のようにしてシミュレーションとリバースDCイレーズ測定から求めた点でフィッティングを行なうことで、測定各起磁力でのヘッド磁界分布ならびに勾配の算出を行った。図8は、FeSiN単磁極ヘッドでの記録磁界勾配に対して、転移ジッタ量をプロットしたものである。同図より、記録磁界勾配が増加するにつれてジッタ距離が減少しており、記録条件がジッタ量に対して大きな影響を与えることが明らかである。なお、同図中の破線はジッタ量がヘッド磁界勾配の逆数に比例する場合に対応するもので、測定値と妥当な一致を示しており、冒頭で述べたヘッド磁界勾配に対してジッタ量はほぼ反比例して変化していると言える。

6. まとめ

垂直二層膜媒体で支配的な転移性ノイズの抑制について検討した。その結果、転移位置のジッタ量とヘッド磁界勾配には密接な関係のあることが明らかになった。薄膜リングヘッドと飽和磁束密度の異なる主磁極を持つ単磁極ヘッドについて、記録起磁力を変化することによるジッタ量を測定するとともに、まず、ハードラングションシフトから判断したヘッド磁界勾配が急峻になる起磁力でジッタ量が小さい値になることを実験的に示した。さらに、リバースDCイレーズ測定によりキャリブレーションを行なった計算機シミュレーションを用いてヘッド磁界勾配を算出してジッタ量との相関を調べ、よく対応することを示した。以上より、メディアノイズを低減するには、媒体の微細磁気構造を改善することの他に、急峻な記録ヘッド磁界勾配も必要であることを明らかにした。

謝辞 ここで用いたFeSiN単磁極ヘッドは秋田高度技術研究所山川、伊勢両氏にご提供いただいた。謝意を表する。本研究には、文部省科研費、NEDO、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) N. Honda, T. Kiya, and K. Ouchi, *J. Mag. Soc. Jpn.*, **21**(Suppl. No. S2), 505 (1997).
- 2) 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**, 231-234 (2000).
- 3) 駒込博泰、島津武仁、吉田亮一、渡辺功、村岡裕明、杉田恒、中村慶久; 日本応用磁気学会誌, **24**, 243-246 (2000).
- 4) T. Korenari, T. Matsutera, S. Tsuboi, K. Tagami, *J. Mag. Soc. Jpn.*, **17**, S2(1993).
- 5) Y. Nakamura, I. Tagawa, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-25**, No.5(1988).
- 6) H. Aoi, M. Saitoh, N. Nishiyama, R. Tsutiya, T. Tamura, *IEEE Trans. Magn.*, **26**, No.5(1990).