再生波形解析による記録ノイズの検討

A study on recording noise with readback waveform analysis

是成貴弘、松寺久雄、坪井真三、田上勝通

日本電気(株) 機能エレクトロニクス研究所

Takahiro Korenari, Hisao Matsutera, Shinzo Tsuboi and Katsumichi Tagami

Functional Devices Res. Labs. NEC Corp.

Abstract

The recording noise of sputtered Co alloy media at high recording density was studied with readback waveform. High noise power of longitudinal recording media at high recording density was correlated to the fluctuation of magnetic transition region. In perpendicular recording media, in contrast, the fluctuation of magnetic transition region was small even at high recording density, which leads to low noise power.

Keywords: Magnetic recording, Recording media, Recording noise, Magnetic transition width, perpendicular recording

1. はじめに

長手記録媒体において、特にスパッタにより成膜したCoCr系メタル媒体においては、高密度記録時に低周波数域に媒体ノイズが顕著となり、記録密度が高くなるにつれて増大する。一方、垂直記録媒体においては媒体ノイズが小さく、記録密度依存も小さい。

長手記録媒体における記録ノイズは、主に磁化遷移領域のジグザグ形状に由来していると考えられるが、単純にジグザグ形状から発生するのではなく、形状のゆらぎに起因していると考えられる¹⁾。しかし、このような形状のゆらぎを評価する手法は未だ報告されて

いない。

そこで我々は、磁化遷移の形状は再生波形に反映され、形状のゆらぎも波形に反映されることに注目し、再生波形の解析をすることにより、磁化遷移の形状のゆらぎを評価することを試みた。この磁化遷移の形状のゆらぎの評価を長手記録媒体における高ノイズ媒体と低ノイズ媒体、及び垂直記録媒体に対して行なった。

図1 記録ノイズの記録密度依存性

表1 媒体の磁気特性

sample	Hc	Mr	δ	S*
MEDIA-L1	1370 Oe	480 emu/cc	40 nm	0.78
MEDIA-L2	1340 Oe	410 emu/cc	40 nm	0.76
MEDIA-P	1350 Oe	90 emu/cc	200 nm	—

2. 試料の作製

記録再生特性の評価に用いた記録媒体は、長手記録媒体としてNiP/Al合金基板上にCr下地膜を200nm、CoCrTa膜を40nm、C保護膜を20nm成膜したものを用いた。成膜の条件（成膜速度、成膜ガス圧）を制御してノイズ特性の異なる(MEDIA-L1, MEDIA-L2)を作製した。垂直記録媒体としてはガラス基板上に加熱しながらCoCrTa膜を200nm、C保護膜を20nm成膜したものを用いた(MEDIA-P)。これらの媒体の結晶粒の孤立度の評価(δM プロット)はVSMを用いて行なった。 δM プロットの評価時の外部磁場は、長手媒体に対しては面内に、垂直媒体に対しては面に対して垂直方向に印加した。

それぞれの媒体の磁気特性（保磁力 H_c 、残留磁化 B_r 、磁性膜厚 δ 、保磁力角型比 S^* ）を表1に示す。表中に示した H_c は、長手媒体に対しては面内保磁力、垂直媒体については膜面に対して垂直方向の保磁力の値を示している。長手媒体における面内の配向性は、ヒステリシス曲線からほとんど完全に分散していると考えられる。

また、記録再生特性の評価には、インダクティブ、MR複合型ヘッドを用いた。インダクティブヘッドのトラック幅は $5\mu m$ 、MRヘッドのトラック幅は、 $3.75\mu m$ である。また、ヘッド媒体間のスペーシングは $0.12\mu m$ である。

3. ノイズ特性

CoCrTa長手記録媒体において、Cr下地膜と磁性膜の成膜条件を制御し得られた高ノイズ媒体(MEDIA-L1)と低ノイズ媒体(MEDIA-L2)、及び垂直記録媒体

図3 波形に反映される磁化遷移領域

(MEDIA-P)のノイズ特性を図1に示す。図に示したように、長手記録媒体においては記録密度が高くなるにつれて記録ノイズが増大する。また、媒体の成膜条件の違いでノイズ特性が異なる。一方、垂直記録媒体においては高記録密度における記録ノイズが小さい。表2には、それぞれの媒体のD50、S/N等を示す。

表2 媒体の記録再生特性

sample	D50	Media S/N *
MEDIA-L1	50kFRPI	32.8dB
MEDIA-L2	50kFRPI	36.3dB
MEDIA-P	45kFRPI	38.6dB

(*) at 50kFRPI

図2 磁化遷移位置のゆらぎ

図4 磁化遷移の形状のゆらぎ

4. 磁化遷移位置のゆらぎ

記録ノイズの要因として、磁化遷移位置のゆらぎ(いわゆるジッターと呼ばれているもの)が考えられる。

光磁気ディスクにおけるジッターは熱的な要素によるものであると考えられており、ランダム性を持つためにキャリア周波数近傍にノイズが見られる。しかし、磁気ディスクにおけるジッターは、磁気的な相互作用によって発生すると考えられるため、その周期性に起因して低周波数域にノイズが発生すると考えられる。

磁化遷移位置のゆらぎは、タイムインターバルアナライザにより評価した。図2に長手記録媒体における磁化遷移位置のゆらぎ量の記録密度依存性を示す。横軸は記録密度、縦軸はノイズと関係深いと考えられるビット長で規格化したゆらぎの標準偏差値を表している。なお、ビット長を規定する出力レベル(threshold-level)は、再生出力の1/2の点を用いた。この図から記録密度が高くなるにつれてビット長のゆらぎが著しくなっており、ノイズと強い相関があると考えられる。しかし、高ノイズ媒体(MEDIA-L1)と低ノイズ媒体(MEDIA-L2)を比較して、ほとんど差がなく、時系列にも差が見られないことから、遷移位置のゆらぎが2種の媒体のノイズ特性の差の要因ではないと考えられる。

5. 磁化遷移領域の形状ゆらぎ

次に、磁化遷移領域の形状(磁化遷移幅等)のゆらぎを評価した。位置のゆらぎと同様に、形状のゆらぎ

図7 ゆらぎの自己相関関数

図5 垂直媒体における磁化遷移位置のゆらぎ

図6 垂直媒体における磁化遷移形状のゆらぎ

図8 長手媒体における δM プロット

も再生波形に反映されるため（図3）、再生波形のゆらぎを解析することにより磁化遷移の形状のゆらぎを評価した。

波形のゆらぎの評価についても、タイムインターバルアナライザを用いた。ビット長を測定する際に threshold-level を変化させて測定した場合、波形のゆらぎが無ければ threshold-level に対しビット長のゆらぎは一定であるはずである。つまり、threshold-level に対するゆらぎ量の変化が波形のゆらぎを表すと考えられる。

図4に前述の2種の媒体におけるビット長のゆらぎの threshold-level 依存性を示す。縦軸がゆらぎ量、横軸は、threshold-level を平均出力で規格化した量である。この結果、低密度記録時には threshold-level に対し、ビット長のゆらぎ量の変化はほとんどなく、波形のゆらぎはほとんどないことがわかる。しかし、高密度記録時には threshold-level に対しゆらぎ量が顕著に変化している。よって波形にゆらぎがあり、磁化遷移の形状にゆらぎがあることを示唆していると考えられる。波形のゆらぎ（threshold-level に対するゆらぎの変化量）は MEDIA-L1 と MEDIA-L2 において違いがあり、形状のゆらぎの違いが長手記録媒体における高密度記録時における記録ノイズの差の要因であると考えられる。

一方、垂直記録媒体における遷移位置のゆらぎを図5に示し、threshold-level に対するビット長のゆらぎの変化を図6に示す。図5より、垂直記録媒体における遷移位置のゆらぎは長手記録媒体とはほぼ同等である。しかし図6から、垂直記録媒体においては

threshold-level に対するゆらぎの変化がほとんどなく、磁化遷移の形状のゆらぎがほとんどないと考えられる。これは、垂直記録媒体の記録ノイズが非常に小さいことと対応している。

6. 媒体の磁気特性とビット長ゆらぎの相関

先に示したビット長のゆらぎにおいて、長手記録媒体におけるビット長の時系列を解析した。図7にビット長の自己相関関数を示す。図に示したように隣接するビット間に強い負の相関があることがわかり、光磁気ディスクで見られるようなランダムなゆらぎではなく、周期性を持ったゆらぎであることがわかる。これが低周波数域に記録ノイズが発生する所以であると考えられる。ビット長のゆらぎに周期性があり、特に隣接するビット間に強い相関があることから、ゆらぎには磁気的な相互作用が強く関与していると考えられる。つまり最近多く報告されているように媒体の結晶粒間の磁氣的相互作用を分断することで、ビット長のゆらぎを少なくすることができノイズを低減することができる²⁾。この磁氣的相互作用の評価は δM プロット³⁾により行なった。結果を次節に示す。

7. 結晶粒の磁氣的孤立度の評価

前述の長手記録媒体において、 δM プロットにより結晶粒の磁氣的孤立度の評価を行なった結果を図8に示す。横軸は残留保磁力 H_r で規格化した印加磁場であり、縦軸が δM を表している。結晶粒の磁氣的孤立度の指標としては δM の負の最大微分値を用いて⁴⁾ 孤立度と記録ノイズの相関を調べた。

図9 CoCrTa長手記録媒体における δM とノイズの相関

図10 垂直媒体における δM プロット

図9にCoCrTa/Cr長手媒体における δM と記録ノイズの相関を示す。 δM とノイズは正の相関を持ち、特に高記録密度において相関が顕著になっている。これは特に高記録密度において結晶粒間の交換相互作用の分断が重要であることを示唆していると考えられる。

図10に垂直媒体(MEDIA-P)における δM プロットを示す。本実験は媒体面に垂直に磁場を印加しているため反磁場の効果も含まれている。そこで反磁場の効果を調べるために、媒体の異方性の分散が 3° 、 5° 、 10° の場合について、一様回転モデルにより δM 曲線への反磁場の影響を計算した。結果は図11に示している。図で明らかなように、 δM 曲線に比べ反磁場の影響は小さい。反磁場の影響は分散性が増すほど、より小さくなる。

異方性の分散を 5° と仮定して、MEDIA-Pの δM 曲線を補正した結果を図12に示す。この結果、 δM 曲線はMEDIA-L2のようなW型を示す。しかし、反磁場の効果は δM 曲線に比べ小さいため、 δM 曲線は磁場に対して負の値となり、垂直媒体では結晶粒間の静磁結合が大きいことを意味していると考えられる。長手記録媒体においては結晶粒間の静磁的な相互作用もノイズ増大の要因となるが⁵⁾、垂直記録媒体においては静磁結合が磁化遷移の形状のゆらぎを小さくすると考えられることから、今回用いた垂直記録媒体の磁化遷移形状のゆらぎが小さいことと対応していると考えられる。

8. まとめ

長手記録媒体において高ノイズ媒体と低ノイズ媒体を作製し、磁化遷移位置のゆらぎと磁化遷移の形状のゆらぎを評価した。その結果、2種の媒体の記録ノイズ特性の違いの要因は、磁化遷移位置のゆらぎではなく、遷移形状のゆらぎ（磁化遷移幅のゆらぎ等）であると思われる。

一方、垂直記録媒体においては遷移の形状のゆらぎがほとんどなく、垂直記録媒体において記録ノイズが非常に小さいことと対応している。

図11 δM 曲線に及ぼす反磁場の影響

図12 垂直媒体における δM プロット
(反磁場補正後)

文献

- (1) J.G.Zhu and H.N.Bertram : IEEE Trans.Magn., MAG-24,2706(1988).
- (2) T.Chen and T.Yamashita : IEEE Trans.Magn., MAG-24,2700(1988).
- (3) P.E.Kelly et al. : IEEE Trans.Magn.MAG-25,3881 (1989).
- (4) J.Heidmann et al.: J.Appl.Phys.69,7731(1991).
- (5) M.Lu et al.: J.Mag.Soc.Jpn,15 Suppl.S2,945 (1991).