「長手記録の展望」

— 長手記録課題と垂直記録との比較 —

A View on Longitudinal Magnetic Recording

田上勝通、奥村俊之

NEC 機能エレクトロニクス研究所

Katsumichi Tagami and Toshiyuki Okumura

NEC Functional Devices Res. Labs.

Abstract — Subjects for recording densities of $10\text{Gb/in}^2 - 30\text{Gb/in}^2$ are discussed for longitudinal and perpendicular recording. Read-write specifications are estimated for their high recording densities. Reproducing outputs above $1\text{mVpp}/\mu\text{m}$ for magnetic heads are required. Correlation between magnetic media properties and recording densities are calculated for $10 - 30\text{Gb/in}^2$ densities. Noise characteristics subjects and thermal instabilities are discussed for longitudinal recording media and perpendicular recording media.

1. はじめに

現在磁気ディスク装置の記録密度は、年率 60% で増加している。このトレンドが進めば 2000 年代には面密度が 10Gb/in^2 から 30Gb/in^2 以上の記録密度が予想され、技術課題を明らかにするため R/W 系特性や媒体特性などについて検討 (1, 2, 3, 4, 5) されている。現在、磁気ディスク装置は長手記録方式が用いられているが、超高密度を達成するために、これに適した垂直記録方式の検討もなされている。

磁気ディスク装置の記録密度を決定する要素としては、ヘッド、媒体、R/W チャンネル、位置決めなどがあるが、今後超高記録密度を達成するためには、磁気ディスク技術のトータルな研究開発

が必要である。ここでは、超高密度を達成するための検討として長手記録方式をベースにその課題を整理し、また垂直記録方式と比較し展望した。

2. 10Gb/in^2 以上の記録密度に要求される R/W 系特性

10Gb/in^2 以上の面密度を達成するための R/W 諸元を表 1 に示した。変調方式には 16/17EPRML を想定し、 10^{-6} のエラーレイトを満たす S/N から再生出力 (E_{out}) を求めた。ノイズは MR ヘッドノイズ N_h 、媒体ノイズ N_m 、アンプノイズ N_a を考え、周波数帯域 BW にわたって求めた。BPI/TPI 比は、MR ヘッドのギャップ長がプロセス的に妥当な条件のもとに決定した。

$10 \sim 30\text{Gb/in}^2$ 以上の記録密度の R/W 仕様の特徴を以下に示す。

- ① BPI/TPI は、スパーシング及び MR ヘッドギャップの制約を考慮すれば高 TPI 側に移行し、12~10 程度となる。
- ② 要求されるヘッド出力は、 $800 \sim 1400\text{ }\mu\text{Vpp}/\mu\text{m}$ となり、ヘッドの高出力化が必要である (図 1)。
- ③ 磁気スパーシング Mag. spa は、 $35 \sim 25\text{nm}$ (図 1) 程度になり、浮上量 20nm 前後のニアコンタクト領域に入りヘッドディスクインタフェース (HDI) の信頼性確保が課題である。
- ④ スパーシングを拡大するため K 値は 2.8 程度となる。
- ⑤ MR ヘッドのギャップ長 $MR(g)$ は、

90~50nmの狭ギャップ化が必要となる。

⑥広帯域化に伴うヘッドノイズ、アンプノイズが顕著となり、アンプ及びヘッドノイズの低減も今後必要である。

表 1. 10Gb/in²以上の面密度、R/W諸元

面密度 (Gb/in ²)	10	20	30
KBPI	353	447	548
KTPI	28.3	44.7	54.8
KBPI/TPI	12.5	10	10
Bit長(nm)	71.8	56.8	46.4
BW(MHz)	200	254	311
Mag. spa: d (nm)	35	30	25
Eout (μ Vpp/ μ m)	874	1085	1477
半値幅 Pw50 (nm)	189	150	122
K(Pw50/bit長)	2.8	2.8	2.8
Na(μ Vrms)	7.0	4.8	5.3
Nh(μ Vrms)	8.3	8.3	9.6
Nm(μ Vrms)	8.6	5.2	5.2
Tww(μ m)	0.78	0.49	0.4
Twr(μ m)	0.64	0.41	0.33
MR δ (Å)	100	80	60
MR g(nm)	91	68	55

図 1. 所要面密度に対するヘッド出力

及び磁気スレーシング依存性

2-1 所要記録密度に対する媒体特性

表 1 の各記録密度の R/W 特性に対する媒体特性を求めた。Pw50 を満す磁化遷移長 a の計算には William-Gomstock の解析式を用いた。図 2 は、それぞれ 10Gb/in²~30Gb/in² における媒体の保磁力と磁束密度(Br)・膜厚(δ)の関係を示した。★印は本計算で求めたそれぞれの密度での媒体特性を示す。表 2 にそれらの値を示した。図には現状の 1Gb/in² クラスの媒体特性も示した。 H_c 、 Br 、 δ は、Mag spa 及び MR ヘッドのギャップ長に強く依存する。広ギャップ長ほど媒体特性に対する制限は厳しくなる。 H_c は、高 TPI 指向の設定により 30000e オーダとなり、成膜プロセスとしては、それほど難しくない値となっている。

図 2. 所要面密度に対する媒体特性

表 2. 所要媒体特性

	10Gb/in ²	20Gb/in ²	30Gb/in ²
$Br \delta$ (G μ m)	70	50	40
H_c (Oe)	3000	3200	3500

3. 超高密度でのヘッド・媒体の課題

2 節では面密度に対する密度配分についてヘッド・媒体に要求される特性について述べたが、ここではそれらの特性を達成するための課題を表 3 にまとめその要因について述べる。

表 3. 高密度化のためのヘッド・媒体課題

課 題	要 因	
ヘッド出力	高 MR・SV 材料	
プロセス精度	$<0.1 \mu\text{m}$ オーダ	
ヘッド信頼性	パルクハウゼンノイズ サーマルアスペリティノイズ	
媒体分解能	長手記録	低 Br δ 化 高 Hc 化
	垂直記録	中高 Ms、 中 δ 、中 Hc
非線形シフト	媒体パラメータ、記録ヘッド	
パーシャルイレージャ	媒体の粒間相互作用、粒径磁気パラメータ	
オントラックノイズ	粒径、粒間相互作用、結晶構造	
エッジノイズ	粒径、粒間相互作用、記録ヘッド、長手、垂直記録方式	
熱安定性	粒径、磁気異方性 (Ku)	

ヘッド: 数 Gb/in² オーダの密度から高出力化を狙って、MRヘッドからSVヘッドが主流となることが予想されている(6)。ヘッド出力は、表 1 からわかるように 1 mV pp/ μm 以上の高出力が要求され、これを満たす高MR比のSV材料の開発が必要である。再生トラック幅は 1 μm を切るようになり、MR/インダクティブ (ID) ヘッドのトラック幅公差を満たすプロセス技術が重要となる。MR/ID ヘッドのトラック幅の公差として

10Gb/in² クラスで 3σ が 0.07 μm 前後となることが予想され、半導体プロセスと同様なプロセス技術の確立が必要となる。また、パルクハウゼンノイズ、及び低浮上に伴うサーマルアスペリティによるノイズに対する信頼性確保も重要である。

以上は、長手、垂直記録に共通のヘッド課題であるが、垂直記録の検討においても、MRヘッドによる再生実験がなされ、その有効性が確認されている(7, 8, 9, 10)。

記録ヘッドにおいては、垂直単層媒体に対しては従来薄膜ヘッドが有用であるが、垂直2層媒体については、これに適した単磁極型ヘッドが理想的である。

媒体: 長手媒体は、磁気ディスク装置の評価により着実に性能を向上させており、特にMRヘッドの導入により、低ノイズ化を検討する中で特性も大きく向上してきた。媒体の高分解能化と低ノイズ化の媒体開発方向は一致している。しかし媒体からの磁界強度は低下する方向にある。一方、垂直媒体は、Br、 δ は原理的にはそれぞれ大きく出来、Hc もむやみに高くすることなく高密度特性が得られる。したがって高密度領域においても再生磁界を大きく取れる利点がある。その反面、媒体ノイズの低減するための結晶粒の制御が課題である。

エッジノイズ特性: MRヘッドでは、wide write、narrow read で記録再生がなされているが、10 Gb/in² 以上においては、トラックピッチは 1 μm を切りオントラックにおいてもトラックエッジで発生するノイズの影響を無視出来なくなる。エッジノイズの原因は、トラック端の磁化の乱れから発生し、媒体特性、ヘッド磁界にも依存し(11)、今後高トラック密度を達成するためには、オフトラック特性の制御が極めて重要となる。

エッジノイズ特性は表3に示すように、ヘッドの記録再生特性及び記録方式の他に H_c 、 $B_r \cdot \delta$ 、配向性、粒間相互作用にも依存する。

長手媒体の低エッジノイズ化の方法には、①低 B_r 化、薄層化(12,13)、②ポール突き合わせ高 B_s 、狭ギャップヘッド(14)による記録がある。これらの組み合わせは、非線形シフト(15)の低減及び磁化遷移間で磁化が繋がって部分的に磁化遷移が消失するパーシャルレイジャの低減の方策とも一致する。

今後、狭トラック化に伴い、オフトラック特性の優れた媒体の開発と共に、線記録密度方向、トラック密度方向ともにヘッド磁界が急峻な記録ヘッドの開発が重要と考えられる。

図3は、マージ型MRヘッドのインダクティブヘッドにより長手媒体と垂直媒体に記録しMRヘッドで再生したS/Nのオフトラックプロファイルである。出力に関しては長手媒体に比べて垂直媒体の記録トラック幅が広がっていることがわかる(8)。媒体S/Nで比較するとオントラックでは長手媒体に比べて垂直媒体の方が3~5dB良好である。また、同じ媒体S/Nを維持でき

図3. 長手、垂直媒体S/Nのオフトラック特性(8)

るトラック幅は長手媒体に比べて垂直媒体の方が1μm程度広くなる。記録再生のオフトラックマージンの観点からも垂直媒体は今後の狭トラック記録再生用の媒体としても非常に有望であるといえる。

媒体の熱ゆらぎの影響

長手媒体においては、10 Gb/in²以上の記録密度領域では、表1から100Å程度の膜厚となる。それに伴い結晶粒径も100Åを切る粒子が形成され熱ゆらぎの影響が出てくる領域になる。Pu-Ling(16)、中谷ら(17)は、10 Gb/in²の記録密度を想定し、磁化の熱安性をシミュレーションにより調べている。膜厚の薄層化による結晶粒子体積 v の減少により Kuv/kT (k :ボルマン定数、 T :温度)が小さくなり、 $Kuv/kT < \sim 50$ で記録磁化の不安定性が生じると報告している。一方、実験により熱ゆらぎに対する記録磁化の変化をMFMにより測定する試みもなされている(18,19)。実測によれば $Kuv/kT < \sim 50$ でも磁化は安定という報告もなされており(19)、結晶粒子が集合して磁気的なクラスタを形成していることを示唆しているとも考えられる。

図4は、表1から求めた各面密度に対する Kuv/kT の指標を示したものである。図では、膜厚の大きさを中心として粒子分散を考慮した値も示した。分散値 σ は2 nmとして計算している。また、結晶粒が磁気的な結合で2個分に相当した場合も示している。中心値より -3σ での6 nmになると Kuv/kT は50程度になるが、粒子が集合した場合は、 Kuv/kT は100を超える値となり、結晶間の結合状態により熱ゆらぎの影響も変わると考えられ検討が必要である。一方、垂直

記録媒体においては、当面熱ゆらぎの問題はないと考えられる。

図4. 各面密度に対する KuV/kT 値

4. まとめ

以上、超高密度化へのR/W特性及びヘッド・媒体特性の課題をまとめた。10～30Gb/in²へ向けた磁気ヘッド材料では、NiFe系MR材料から高出力化を狙った高MR比スピナル材料の開発が必須であるが、プロセス精度のさらなる向上が必要である。また低エッジノイズ化、非線形シフトの低減を目的として、記録ヘッドには狭ギャップ、高Bsヘッド、高比抵抗材料の開発が必要である。媒体においては高線密度、高トラック密度領域でかなり厳しい条件が要求され、熱ゆらぎの影響並びにヘッドを含めてトータルな研究が必要である。一方、垂直媒体は高記録密度に有利な特性を有しているが、媒体ノイズの低減にはまだ検討の余地があるように思える。今後長手記録が行っているような装置レベルの検討を行い課題を明らかにし向上させていく必要がある。

参考文献

- (1) E. S. Murdock, IEEE Trans. Magn., 28., 3078, 1992

- (2) Kryder, 3Mコンファレンス, AA-01
 (3) 青井、日本応用磁気学会第93回研究資料 p9-p16
 (4) 田上他、日本応用磁気学会第93回研究資料 p17-p24
 (5) 二本、日本応用磁気学会第93回研究資料 p45-p46
 (6) 松崎、日本応用磁気学会第93回研究資料 p25-p33
 (7) 池田他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 20pA-1, 1996
 (8) 大木他、日本応用磁気学会誌 Vol. 19 Supplement, S2, 122-125, 1995
 (9) Futamoto et al, Digest of INTERMAG 96GB-1
 (10) 山田他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 22pA-1, 1996
 (11) 是成他、第19回日本応用磁気学会学術講演会概要集, 24aA-2, 1995
 (12) S. Tsuboi et al, IEEE Trans. Magn., 31, 2791, 1995
 (13) 奥山他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 21pG-2, 1996
 (14) 坪井他、日本応用磁気学会誌 Vol. 20, 105-108, 1996
 (15) 大木他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 21pG-1, 1996
 (16) Pu-Ling et al, IEEE Trans. Magn., Vol. 30, 4230, 1994
 (17) 中谷他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 20pA-7, 1996
 (18) Okamoto et al, Digest of INTERMAG'96 AB-3
 (19) E. N. Abarra 他、第20回日本応用磁気学会学術講演会概要集 21pGA-7, 1996

謝辞

本データをまとめるに当たって、当部坪井主任、是成氏、大木氏にお世話になりました。ここに厚く感謝致します。