MRヘッドを用いた垂直磁化記録再生特性の基礎検討

A Study on Perpendicular Magnetic Recording Characteristic with Magnetoresistive Head

山田 洋 村岡 裕明 中村 慶久

東北大学 電気通信研究所

Hiroshi YAMADA, Hiroaki MURAOKA and Yoshihisa NAKAMURA

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

Abstract— A magnetoresistive head (MR head) is applied to the reproduced process in perpendicular recording in comparison with longitudinal recording medium. High readback voltage by a factor of nearly two is obtained in associate with its large recording magnetization in a perpendicular medium. D_{50} of the perpendicular medium is the same as the longitudinal one, which is thought to be resolution limitation of the MR head.

はじめに

垂直磁気記録は、その磁化モードの性質から磁化転移付近に反磁界の制約がない。これは強い残留磁化を保持しても優れた高密度特性を実現できることを意味する¹⁾。この結果、ビット面積が著しく縮小した高面密度時において高い再生電圧を期待できる。逆に、近年積極的に開発が進んでいるMRヘッド等の高感度再生ヘッドを適用すれば、その優れた記録分解能を十分に発揮できると考えられる。筆者らは垂直磁気記録を用いてトラック幅 $0.4\mu\text{m}$ 、線密度 200kFRPI 以上の超高密度記録を確認しているが²⁾、高感度再生ヘッドの適用でこの高記録密度が現実的なものとなる可能性も高い。

本論文では、シールド型MRヘッドを垂直記録媒体と組み合わせて実験を行ない長手記録媒体と比較して検討した結果を以下に述べる。ここでは、長手磁気記録用に開発されたMRヘッドを用いたが、MRヘッドの基本再生メカニズムは垂直磁束に感応する点³⁾で単磁極ヘッドと類似であると考えている。

ヘッド媒体の諸元と測定条件

実験に用いたMRヘッドは、いわゆる縦形MRヘッド⁴⁾で、一方のシールドと下部電極を兼用しセンス電流をABS面に垂直に流す構造になっている。記録トラック幅は $3.5\mu\text{m}$ 、記録ギャップ長は $0.6\mu\text{m}$ であり、再生トラック幅は $2.5\mu\text{m}$ 、シールド間隔は $0.4\mu\text{m}$ である。また、単磁極ヘッドの主磁極は厚み $0.2\mu\text{m}$ のCoZrNb膜である。使用した垂直二層膜媒体はCoCr厚 $0.05\mu\text{m}$ 、保磁力は 1260Oe 、FeNiNb裏打ち膜の厚さは $1\mu\text{m}$ のものである。参照用に用いた長手媒体は保磁力 1800Oe 、 $\text{Br}\delta$ は $150\text{G}\mu\text{m}$ である。リングヘッド記録には単層型の垂直媒体も考えられるが、ここでは単磁極ヘッド記録との比較を明確にする目的で二層膜媒体を用いている。

記録には接触型単磁極ヘッドを浮上型リングヘッドと比較検討した。再生は浮上型MRヘッドに統一している。従って、本測定では同一の再生条件で単磁極ヘッド記録とリングヘッド記録、更には長手媒体と垂直媒体を比較して議論できる。なお、浮上ヘッドも使用したため測定は線速度 6m/s で行ったが、単磁極ヘッドは理想的な接触記録ではなく数nm浮上した状態と推定している⁵⁾。

センス電流の決定

まず、MRヘッドに印加する適正センス電流を決定するために、二次高調波歪みの測定を行なった。特に、垂直媒体からは大きな漏洩磁束が生じるので、場合によると歪みが大きい可能性がある。センス電流を変化させて、再生信号の基本波に対する2次高調波の歪み率を測定した結果をFig.1

Fig.1 Dependence of distortion ratio on sense current for perpendicular and longitudinal medium.

に示す。垂直媒体(Perp.)では長手媒体(Long.)より小さな電流で極小を示し漏洩磁束が大きいことが分かる。ここで、歪みは-26dB以下と小さいので、垂直と長手の両者の媒体に対して共通に16mAとした。

入出力特性

垂直磁気記録用ヘッドとして、単磁極ヘッド(SPT)またはリングヘッド(Ring)のいずれで記録するかは実用上重要と思われる。Fig.2には両ヘッドで記録した入出力特性を示す。同図中、(a)は単磁極ヘッド記録、(b)はリングヘッド記録であり、(c)は長手媒体にリングヘッドで記録した結果である。単磁極ヘッドで記録した場合は、記録起磁力に対して出力は飽和しており記録減磁が見られない。これに対して、リングヘッド記録では低起磁力で極大を示した後、著しい記録減磁を生じている。この傾向は高線密度ほど顕著なので、最適電流範囲はかなり狭い範囲に限定される。二層膜媒体を用いた場合、リングヘッドでは薄膜ヘッドといえどもかなり厚いコアが裏打ち層と磁氣的に相互作用を起こす結果、記録磁界傾斜が著しく劣化して交流消磁的な記録減磁作用が働くためと考えている。なお、同図(c)から長手記録では最近のかなり薄い媒体でも記録減磁の影響が現

われることが分かる。

(a) Single pole head / Perpendicular media

(b) Ring head / Perpendicular media

(c) Ring head / Longitudinal media

Fig.2 Dependence of reproduced voltage on recording M.M.F.

孤立再生波形

シールド型MRヘッドは媒体表面磁束の法線成分を捕捉すると考えて良いので、長手磁化においては記録媒体中の長手磁化の微分に対応する再生電圧が生じ、垂直磁化においては記録媒体中の磁束密度に対応する再生電圧が生じる。二層膜媒体では裏打ち層が裏面磁荷を打ち消しており、厚いシールドを持つMRヘッドが近接した場合には媒体磁化分布と媒体中の磁束密度分布はほぼ等しい。従って、垂直二層膜媒体をMRヘッドで再生した場合、その再生波形は近似的には媒体の磁化状態を表すと考えられる。観測された再生波形をFig.3に示す。(a)は1kFRPI、(b)は10kFRPIの再生波形である。10kFRPIではほぼ矩形波であり、記録媒体中の磁化分布との対応が良く現れている。さらに低密度の1kFRPIでの再生波形ではその基本的な形状は矩形波状ではあるが、ビット中央で徐々に電圧が減少しており自己減磁により磁化が低下していることを示唆している。ただし、再生アンプの低域遮断周波数が20kHz程度で、そのため矩形波が右肩下がりとなっている。なお、単磁極ヘッド記録とリングヘッド記録では波形の細部が異なるが、この詳細は検討中である。

また、信号処理の立場からは孤立再生波形の形状はその方式選択を考える際に重要である。上述の垂直磁化の矩形波的な再生波形を微分すると、長手記録とほとんど同等になることが同図(c)に示されており、垂直磁化のMRヘッド再生波形は、従来のピーク検出及びクラスIVのPR(1,0,-1)等の信号処理が可能であることを示す。さらに、上述した単磁極ヘッドによる記録波形の転移近傍のブロードなダイパルスの出力ピークは微分波形ではほとんど無視できることも分かる。

記録密度特性

Fig.4に、単磁極ヘッド及びリングヘッドで垂直二層膜媒体に記録した記録密度特性を、長手媒体と比較して示す。垂直媒体にリングヘッドで記録したものは、低密度側では大きな再生出力となるが、高密度での出力減少が大きい。これに対して、単磁極ヘッドにより記録をした場合には優れた高密度特性を示す。10kFRPIの出力を基準にし

(a) Isolated waveforms (Perp. media)

(b) Waveforms at 10kFRPI (Perp. media)

(c) Differential waveforms

Fig.3 Readback waveforms.

Fig.4 Roll-off performance.

た D_{50} は、リングヘッド記録では72kFRPI、単磁極ヘッド記録では100kFRPIであった。このリングヘッドによる記録特性には前述した裏打ち層との相互作用によるヘッド磁界傾斜の劣化が影響していると考えられる。本測定に当たって、150kFRPIを越える高線密度でも注意深く測定を行なったが二次ピークは観測できなかった。誘導型単磁極ヘッド再生では高次ピークが現れ、600kFRPI以上の超高密度でも出力が得られること⁹⁾に対比すると、磁束応答型検出での超高密度再生の問題は今後検討する必要がある。

一方、長手媒体では D_{50} は100kFRPIと分解能には優れるが、その再生電圧は垂直媒体に及ばない。長手記録では、媒体の低 $Br\delta$ 化により低出力ではあっても高線密度を達成しているのに対して、長手媒体の約2倍という垂直媒体の高い $Br\delta$ の磁気モーメントが分解能を制限しないことが分かる。ただし垂直二層膜媒体の場合、高線記録密度では反磁界の影響が少ないため、 Br と B_s はほぼ等しいと解釈し、ここでは $B_s\delta=305G\mu m$ が得られた。なお、使用したヘッドシールドギャップは $0.4\mu m$ と必ずしも十分高い領域での再生分解能はなく、加えて浮上高さの制限を受けている可能性もある。垂直記録の高記録分解能を考慮すると、ここで示した D_{50} は再生ヘッドの改善でさらに大きくなる可能性がある。

まとめ

高再生感度のMRヘッドを用いて垂直磁化媒体

の記録特性を長手媒体と比較し、高い磁気モーメントから導かれる高密度での高出力性が確認できた。ただし、二層膜垂直媒体に対してはリングヘッドによる記録はその磁界分布が不適切なため十分な分解能が得られないことも示された。今回用いたMRヘッドは元来は長手媒体用に設計されており、垂直記録の高い記録分解能を考え合わせると、シールド間隔や浮上高さなどの構造因子を見直すことでさらに優れた高密度特性が得られる可能性がある。また、SN比はシステム的な見地から重要であるため現在検討中であるが、高再生感度ヘッドに応じた低ノイズ垂直媒体の研究は今後の高密度記録のためには重要と考えられる。

謝辞

本実験に使用した縦型MRヘッドをご提供いただいたソニー(株)コンポーネントカンパニー磁気デバイス部門早田裕課長、有益なご討論を賜った同部門渡辺健次郎部長に深謝する。

文献

1. S. Iwasaki, "Perpendicular Magnetic Recording," IEEE Trans. Magn., MAG-16, pp.71-76, 1980
2. H. Muraoka, Y. Nakamura, "Multi-Track Submicron-Width Recording with a Novel Integrated Single Pole Head in Perpendicular Magnetic Recording," IEEE Trans. Magn., 30, pp. 3900-3902, 1994
3. R. P. Hunt, "A Magnetoresistive Readout Transducer," IEEE Trans. Magn., MAG-6, pp. 602-603, 1970
4. T. Sekiya, Y. Soda, H. Suyama, T. Aoki, "Performance of a Vertical Magnetoresistive Head for High Density Recording," J. Magn. Soc. Jpn., 18 sup.S1, pp. 345-349, 1994
5. S. Fujimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, K. Ouchi, Y. Nakamura, "A New Supporting Mechanism for Non-Flying Single Pole Head," J. Magn. Soc. Jpn., 15 sup.S2, pp. 721-726, 1991

6. S. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Iwasaki, "Extremely High Bit Density Recording with Single-Pole Perpendicular Head," IEEE Trans. Magn., MAG-23, pp. 2070-2072, 1987