

# 薄い裏打ち層を有する垂直媒体の MR ヘッドでの記録再生特性

## Magnetic Recording Characteristics of Perpendicular Media with a Thin Soft Backlayer Using Merged MR Heads

松下慶友・服部一博・青山 勉・佐藤勇武

TDK(株)応用製品研究所, 千葉県市川市東和田 2-15-7 (☎272-0026)

Y. Matsushita, K. Hattori, T. Aoyama, and I. Sato

Advanced Products Development Center, TDK Corporation,  
2-15-7 Higashi-Ohwada, Ichikawa-shi, Chiba 272-0026

The recording characteristics of single- and double-layer perpendicular media without and with a thin soft magnetic backlayer were investigated by using merged MR heads. In single-layer media, even a thin soft backlayer with a thickness of 10 nm increased the low-density output and the overwrite property by nearly 4 dB at magnetic spacings of less than 47 nm. In double-layer media with a 10-nm-thick backlayer, no degradation of the recording density was observed.

**Key words:** perpendicular magnetic recording, MR head, head field, linear recording density, overwrite, backlayer

### 1. はじめに

マージ型 MR ヘッドの実用化に伴い、垂直媒体を用いた記録再生特性の検討が行われている<sup>1)~4)</sup>。単層膜垂直媒体を用いた検討では、長手媒体に比べ数倍厚い磁性層厚でも同等の線記録密度が得られ、さらにトラック幅方向の記録にじみが小さいことが報告されている<sup>2)</sup>。しかし数  $\mu\text{m}$  の軟磁性裏打ち層を有する二層膜垂直媒体においては、長手磁気記録用に設計された記録磁極では記録磁界の広がりのために線記録密度特性が大きく劣化してしまうことが指摘されている<sup>1)</sup>。

一方、狭ギャップ MIG ヘッドと数十 nm の薄い裏打ち層を有する二層膜垂直媒体の組み合わせの検討も行われており、線記録密度特性を低下させずにオーバーライト (O/W) 特性の改善が報告されている<sup>5)</sup>。

ここでは、2 種類のマージ型 MR ヘッドを用いて 10 nm および 50 nm の裏打ち層を有する二層膜媒体および単層膜媒体の記録再生特性を検討し、薄い裏打ち層の記録再生特性に及ぼす影響について解析を行った。

### 2. 実験方法

実験に用いた垂直媒体は、2.5 インチガラス基板上に成膜され、 $H_{c1}$ : 2400 Oe,  $M_s$ : 350 emu/cc, 厚さ 100 nm の  $\text{CoCr}_{24}$  磁性層を有する。Disk-A は単層膜垂直媒体、Disk-B は 10 nm, Disk-C は 50 nm の軟磁性裏打ち層 (NiFe) を有する二層膜媒体である。なお比較に用いた長手媒体 Disk-D は 2.5 インチガラス基板上に成膜され、 $H_{c1}$ : 2100 Oe,  $B_r$ : 100 G $\cdot\mu\text{m}$  の磁気特性をもつ。

実験には面記録密度約 1 Gbit/in<sup>2</sup> の長手磁気記録用に設計された 2 種類のマージ型 MR ヘッドを用いた。Table 1 にそ

**Table 1** Head parameters

|                            | Unit          | Head 1 | Head 2        |
|----------------------------|---------------|--------|---------------|
| Upper pole length          | $\mu\text{m}$ | 3.5    | 3.0(2.6+0.4*) |
| Lower pole length          | $\mu\text{m}$ | 3.5    | 3.5           |
| Write pole width           | $\mu\text{m}$ | 3.2    | 1.9           |
| Effective MR track width   | $\mu\text{m}$ | 2.2    | 1.4           |
| Write gap length           | $\mu\text{m}$ | 0.50   | 0.45          |
| Read gap length            | $\mu\text{m}$ | 0.27   | 0.25          |
| Write coil                 | turns         | 10     | 10            |
| Protective layer thickness | nm            | 10     | 10            |

\* high Bs layer

**Table 2** Read/write condition

| Rotational speed | Linear velocity | Head flying height |        | Frequency |     |
|------------------|-----------------|--------------------|--------|-----------|-----|
|                  |                 | Head 1             | Head 2 | LF        | HF  |
| rpm              | m/sec           | nm                 | nm     | MHz       | MHz |
| 1800             | 5.08            | 38                 | 27     | 1.67      | 10  |
| 3600             | 10.16           | 50                 | 35     | 3.33      | 20  |
| 5400             | 15.24           | 60                 | 48     | 5.00      | 30  |
| 7200             | 20.32           | 68                 | 53     | 6.67      | 40  |

Notes ; Track radius: 26.95 mm, Skew: 0 deg.,  
LF: 16.7 kFCI, HF: 100 kFCI

れぞれの仕様を示す。記録部は上部磁極および再生 MR 素子の上部シールドとの共通磁極である下部磁極からなっており、共に NiFe ( $B_s$ : 0.8 T) である。Head-2 では上部磁極のギャップエッジ側に高  $B_s$  材 ( $B_s$ : 1.4 T) が厚さ 0.4  $\mu\text{m}$  形成されている。

ヘッド浮上量はディスク回転数を変えることにより変化させた。Table 2 に各回転数におけるヘッド浮上量の実測値および線記録密度と記録周波数の関係を示す。ヘッドの浮上面および媒体表面には 10 nm の保護膜厚が形成されており、本報告におけるスペーシングは Table 2 の浮上量にそれぞれ 20 nm を加えた値となる。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 孤立波形の形状

Fig. 1 に孤立波の再生波形を示す。単層膜媒体 Disk-A に比べ、10 nm の裏打ち層を有する Disk-B は約 10%, 50 nm の裏打ち層を有する Disk-C は約 40% 出力が高い。Disk-A およ

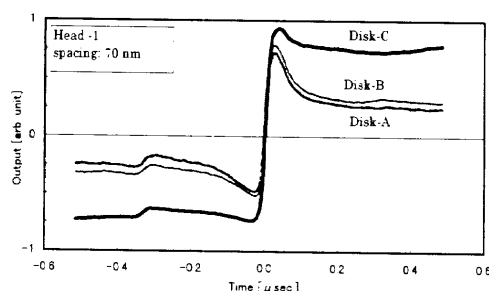


Fig. 1 Reproduced waveform for isolated transition.

び Disk-B はダイパルス状の再生波形を示す。一方、Disk-C は従来報告されている二層膜媒体と同様な矩形波状の再生波形を示す。またいずれの媒体も孤立磁化反転の前でディップが生じている。このディップと孤立磁化反転位置との距離は、上部磁極長 ( $3.5 \mu\text{m}$ ) にほぼ一致することから上部ボールのトレーリング側での再書き込みが原因と考えられる<sup>4)</sup>。

### 3.2 飽和電流特性

Fig. 2 は 100 kFCI における Head-1 の飽和電流特性を示す。まず長手媒体 Disk-D は記録起磁力が 0.1 AT を超えると再生出力は急増し、約 0.3 AT で飽和する。一方、Disk-A は記録起磁力の増加とともに再生出力は漸増し、約 0.25 AT で最大値に達した後、徐々に低下する。Disk-B, Disk-C では Disk-A と同様な飽和電流特性を示し、再生出力がピークになる起磁力はやや高い。高線記録密度での起磁力の増加に伴う再生出力の低下は交流消去的記録減磁が原因と考えられている<sup>6)</sup>。

Fig. 3 は同様に Head-2 の飽和電流特性を示す。Disk-D は Fig. 2 と同様な飽和電流特性を示すが、Disk-A では起磁力を増しても再生出力の低下は小さい。同様に Disk-B, Disk-C も再生出力の低下は小さく、Fig. 2 の実験結果と異なる結果が得られた。前節で述べたように Head-2 はヘッド記録部の上部磁極のギャップエッジ側に高  $B_s$  膜を付与してある。これが垂直媒体の記録特性に影響を与えたものと推測される。

そこで高  $B_s$  膜がヘッド記録磁界にどのような効果を及ぼすのか、計算機シミュレーションでヘッド記録磁界分布の検討を行った。具体的には起磁力をパラメータとして、垂直媒体の記録過程に支配的なヘッド記録磁界の  $y$  方向成分 (媒体面に垂直) の計算を行った。モデルは、すべて NiFe ( $B_s$ : 0.8 T,  $\mu$ : 1500) で形成された Head-A とトレーリングギャップエッジ側に厚さ  $0.4 \mu\text{m}$  の高  $B_s$  膜 ( $B_s$ : 1.4 T,  $\mu$ : 2000) を形成した Head-B の 2 種類であり、その他のヘッドパラメータについては両ヘッドとも同一とした。Fig. 4 に計算に用いたヘッドの寸法を示す。記録磁界は、上部磁極の中心を通る Line-C (Center) および磁極のサイドエッジから  $0.1 \mu\text{m}$  を通る Line-E (Edge) についてそれぞれ計算を行った。

Fig. 5, 6 に記録起磁力 0.2 AT での両ヘッドでの Line-C および Line-E におけるトラック方向の記録磁界の垂直成分の分布の計算結果を示す。低記録起磁力では、両ヘッドにおける差は小さい。一方、Fig. 7, 8 は、記録起磁力 0.7 AT における同様の計算結果である。高  $B_s$  膜を付加することにより、高記録起磁力における記録磁界の強度および勾配が大きく改善されて

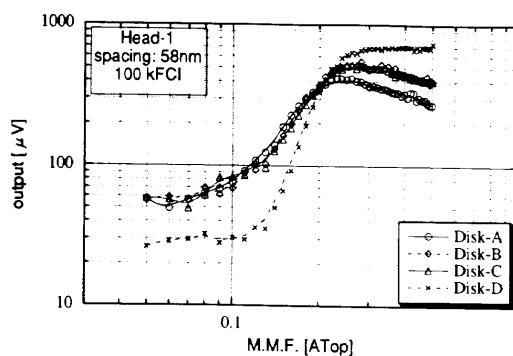


Fig. 2 Relationship between the M.M.F. and output for Head-1.

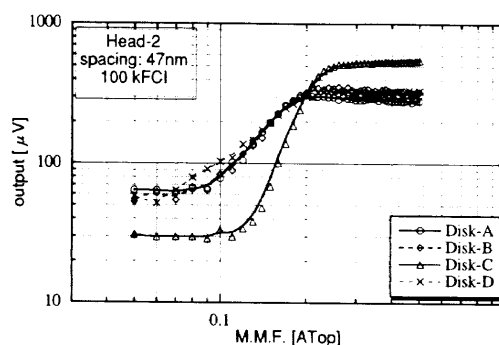


Fig. 3 Relationship between the M.M.F. and output for Head-2.

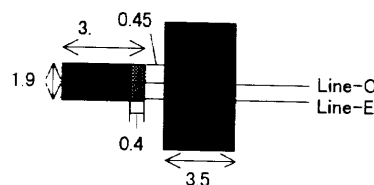


Fig. 4 Simulation model.

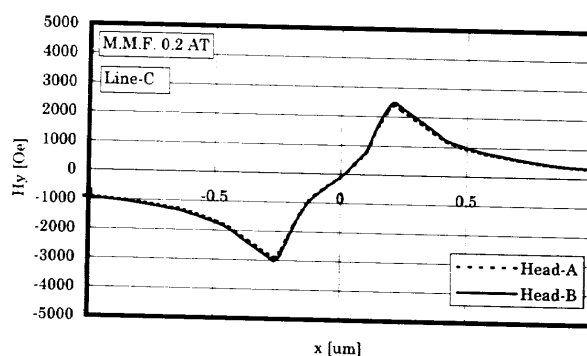


Fig. 5 Calculated perpendicular field distribution at 0.2 AT on Line-C.

いることがわかる。特に磁極飽和の影響が大きいサイドエッジ付近では、強度および勾配に著しい差が生じている。これらが垂直媒体の記録特性を改善し、交流消去的記録減磁効果を低減させた結果、再生出力の低下を抑圧した一因と推定される。

### 3.3 オーバーライト特性

Fig. 9 に O/W 特性のスペーシング依存性を示す。ここで O/W はまず低周波 (LF: 17.7 kFCI) の信号を記録し、その上に高周波 (HF: 100 kFCI) の信号を重ね書きし、低周波の信号

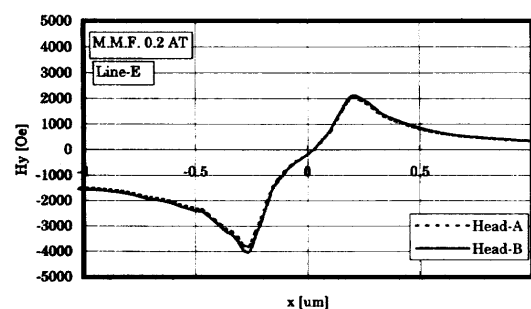


Fig. 6 Calculated perpendicular field distribution at 0.2 AT on Line-E.

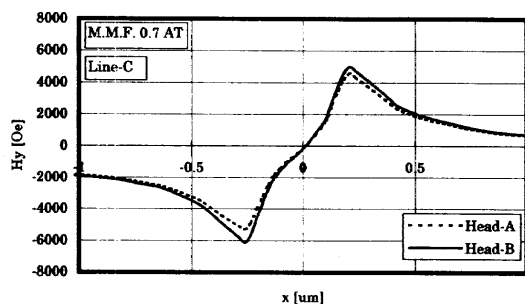


Fig. 7 Calculated perpendicular field distribution at 0.7 AT on Line-C.

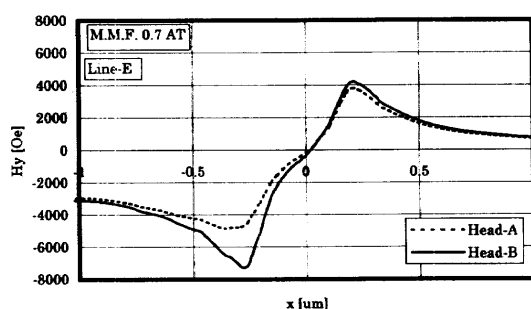


Fig. 8 Calculated perpendicular field distribution at 0.7 AT on Line-E.

の減衰率で定義した。まず長手媒体 Disk-D についてみるとスペーシング 73 nm では O/W が約 -29 dB であるがスペーシングの低下とともに単調に O/W は向上し、スペーシング 47 nm では約 -39 dB となる。また単層膜媒体 Disk-A についてはスペーシング 73 nm で O/W は約 -34 dB に達している。長手媒体と異なり O/W のスペーシング依存性は小さく、スペーシング 47 nm でも約 -35 dB である。10 nm の裏打ち層を有する Disk-B はスペーシング 55~73 nm の範囲では Disk-A とほぼ同じであるが、スペーシング 47 nm では約 -39 dB と Disk-A に比べ約 4 dB、O/W 特性が改善されている。また 50 nm の裏打ち層を有する Disk-C は、すべてのスペーシングにおいて Disk-A に比べ約 5 dB、O/W 特性が改善されている。

この起因について 2 次元磁化解析シミュレーション<sup>7)</sup>を用いて考察した。ヘッドパラメータは上部磁極長 3.5  $\mu\text{m}$ 、下部磁極長 3.5  $\mu\text{m}$ 、ギャップ長 0.5  $\mu\text{m}$  とし、記録起磁力 0.2 AT、記録密度 100 kFCI で計算を行った。Fig. 10 にシミュレーション結果を示す。ここではスペーシングをパラメータと

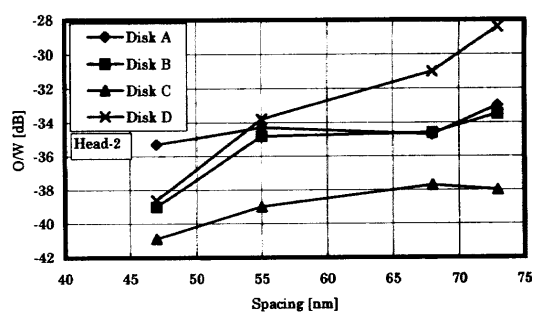
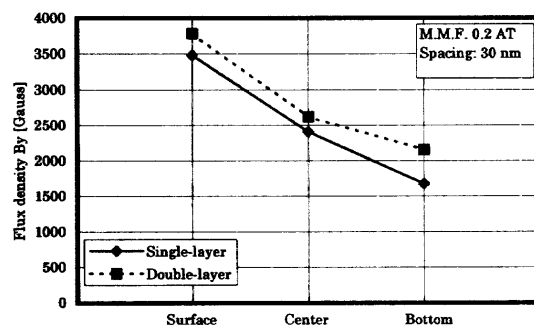
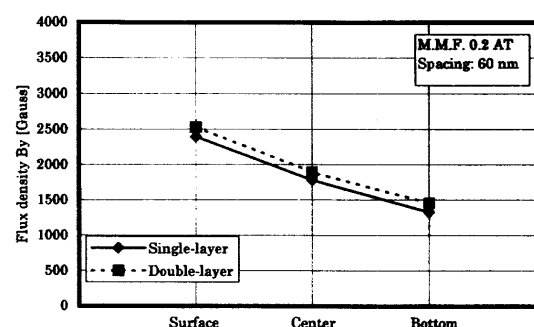


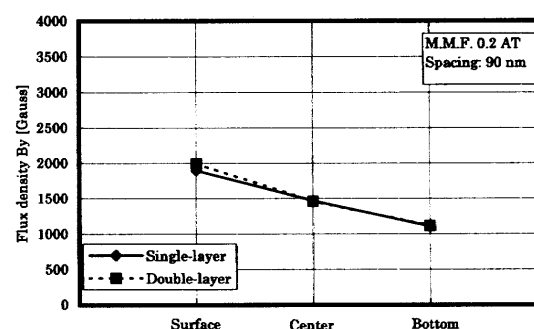
Fig. 9 Relationship between the spacing and O/W.



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Calculated perpendicular component of the magnetic flux density ( $B_y$ ) at the surface, center, and bottom of the medium, when the head is applied at various spacings of (a) 30 nm, (b) 60 nm, (c) 90 nm, respectively.

し、単層膜媒体および裏打ち層 10 nm を有する二層膜媒体の記録時の垂直方向の磁束密度の最大値を示している。なお媒体は、3 層に分割しそれぞれ Surface, Center, Bottom とした。

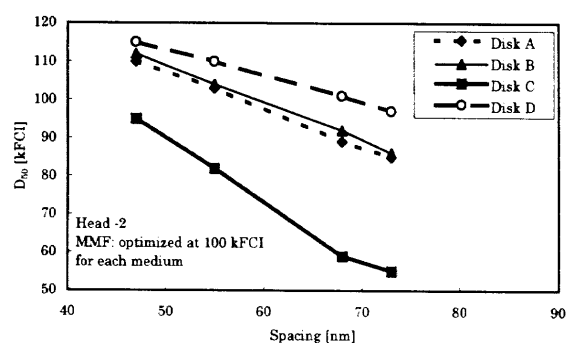


Fig. 11 Relationship between the spacing and  $D_{50}$ .

Fig. 10 の (a), (b), (c) のいずれにおいても Surface の  $B_z$  が最も大きく Bottom に行くほど  $B_z$  は低下する。スペーシング 60 nm, 90 nm では両媒体に差はほとんどないが、スペーシングが 30 nm に低下すると、両媒体の  $B_z$  には明らかに差がみられ、特に Bottom において薄い裏打ち層を有する二層膜媒体の  $B_z$  は単層膜媒体の  $B_z$  に比べ約 30% 程度大きい。薄い裏打ち層と記録磁極との磁氣的相互作用は、スペーシングが小さいほど顕著である。よって薄い裏打ち層を有する二層膜媒体の O/W 特性の改善はスペーシングが小さい場合に限られると考えられる。

### 3.4 記録密度特性

半値記録密度 ( $D_{50}$ ) のスペーシング依存性を Fig. 11 に示す。 $D_{50}$  は、再生出力が孤立磁化反転出力の半分となる記録密度で定義した。測定は Head-2 を用い、記録起磁力はそれぞれの媒体の 100 kFCI での最適値とした。いずれの媒体においてもスペーシングの増加とともに  $D_{50}$  は単調に減少する。Disk-A と Disk-B を比較してみるといずれのスペーシングにおいても  $D_{50}$  の値はほぼ変わらない。一方、裏打ち層を 50 nm 付加した Disk-C では、Disk-A, Disk-B に比べ最大で約 30 kFCI 程度の記録密度特性の劣化が生じている。従来、裏打ち層の付加によりヘッド磁界分布が広がり、記録密度特性の劣化が生じることが指摘されている<sup>8)</sup>。今回 10 nm の薄い裏打ち層を形成した二層膜媒体では単層膜媒体に比べ記録密度特性の劣化が生じないが、50 nm の裏打ち層を形成した二層膜媒体では大きな劣化が生じることがわかった。

## 4. ま と め

マージ型 MR ヘッドを用い、単層膜および 10 nm, 50 nm の裏打ち層を有する二層膜媒体の記録再生特性を検討し、以下

の結果を得た。

(1) 10 nm の薄い裏打ち層を付与した二層膜媒体の再生波形は、単層膜媒体と同様にダイパルス状であり、再生出力は単層膜媒体に比べ約 10% 高い。また 50 nm の裏打ち層を付与した二層膜媒体では再生出力は約 40% 高く、矩形波状の再生波形を示す。

(2) 上部磁極のギャップエッジ側に高  $B_z$  膜を形成したヘッドでは、高記録起磁力での再生出力の低下が小さい。3 次元磁界解析の結果より、高記録起磁力において上部磁極のギャップエッジ側の記録磁界の垂直成分の強度が高く、また分布が急峻になったことによるものと考えられる。

(3) 50 nm 以下の低スペーシングにおいて 10 nm の薄い裏打ち層を有する二層膜媒体の O/W は単層膜媒体に比べ約 4 dB 良い。また 50 nm の裏打ち層を有する二層膜媒体の O/W はすべてのスペーシングにおいて単層膜媒体に比べ約 5 dB 良い。2 次元磁化解析の結果から、記録時の二層膜媒体の深層部における垂直方向の磁束密度は低スペーシング時に単層膜媒体に比べ約 30% 高い。これが O/W 特性向上の一因と判断される。

(4) 記録密度特性は単層膜媒体に比べ、50 nm の裏打ち層の付加により 20~30 kFCI 程度劣化するが、10 nm の裏打ち層の付加では、劣化は生じない。

謝 辞 垂直媒体を試作提供、有益なるご助言を頂いた秋田県高度技術研究所の大内所長、本多主席研究員に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Y. Sonobe, Y. Ikeda, H. Uchida, and T. Toyooka: *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 2681 (1995).
- 2) 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** (Suppl. No. S1), 173 (1997).
- 3) 二本正昭, 平山義幸, 本多幸雄, 伊藤研也: 日本応用磁気学会誌, **21**, 950 (1997).
- 4) Y. Sonobe, Y. Ikeda, H. Uchida, and T. Toyooka: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 3801 (1996).
- 5) 本多直樹, 梁瀬 智, 大内一弘, 岩崎俊一: 日本応用磁気学会誌, **21**, 972 (1997).
- 6) 中村慶久: 日本応用磁気学会誌, **21** (Suppl. No. S1), 44 (1997).
- 7) 中村慶久, 田河育也, 岩崎俊一: 日本応用磁気学会誌, **11**, 119 (1987).
- 8) S. Iwasaki and K. Ouchi: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **13** (Suppl. No. S1) (1989).

1997 年 10 月 28 日受理, 1998 年 2 月 2 日採録