垂直磁気テープの記録再生特性とベース表面性の関係

Dependence of the Read/Write Characteristics of Perpendicular Magnetic Recording Tapes on the Surface Roughness of Base Sheets

石川清彦・中山 匡・宮下英一・田口 亮・沼澤潤二

NHK 放送技術研究所, 東京都世田谷区砧 1-10-11 (〒157)

K. Ishikawa, T. Nakayama, E. Miyashita, R. Taguchi, and J. Numazawa

NHK Science and Technical Research Laboratories, 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157

In principle, it is possible to realize high-density recording on perpendicular magnetic recording media. It is expected that these media will be developed for recording use with high-definition television (HDTV) and high-quality video multimedia. A Co-Cr-Ta tape with a smooth base sheet was prepared in order to study the possibility of recording by facing-targets sputtering (FTS). The base sheet surface was observed by atomic force microscopy (AFM). The recording characteristics of Co-Cr-Ta tapes with smooth and standard base sheets were investigated at short wavelengths by using a drum tester (a system that evaluates the head and medium). The output with the smooth version was 3.2 dB higher at 170 kFRPI than with the standard one. A C/N_r value of 52.3 dB was obtained. The magnetization recorded on the smooth version at 250 kFRPI was clearly observed as a magnetic force microscopy (MFM) image.

Key words: Co-Cr-Ta, tape, smooth surface, facing-targets sputtering, atomic force microscopy, magnetic force microscopy, read/write characteristics

1. はじめに

ハイビジョン, 立体ハイビジョン, マルチメディアなどの高品質な画像情報の記録には, 大容量, 広帯域, 高転送レートが必要であり, 本質的に高密度記録に適した垂直磁気記録は, これらの要求を満たす記録方式として期待されている。これまでに, Co-Cr/Fe-Co ハードディスクによる高密度記録の検討¹⁾や, Co-Cr フロッピーディスクによる録画実験²⁾の他, 将来のカセット型ハイビジョンデジタル録画装置を目指した, Co-Cr/Ni-Fe 二層テープ媒体と単磁極ヘッドの組み合わせによる記録再生実験³⁾や Co-Cr-Ta 単層テープとリングヘッドの組み合わせによる最短ビット長 0.17 μm のデジタル記録再生実験⁴⁾の報告がある。しかし, 実際の記録再生実験では, 記録再生時のヘッド/媒体間のスペース損失やヘッドのギャップ損失などのため, 記録再生実験からは, 垂直磁気記録媒体の本質的な短波長記録能力を正確に評価することは困難であった。磁気力顕微鏡 (magnetic force microscopy; MFM) は, 磁化パターンをナノメーターオーダーで評価する方法として注目されている。今回, 表面性の異なるベースフィルムを用いて Co-Cr-Ta 垂直磁気テープを対向ターゲット式スパッタ装置⁴⁾により試作

し, 狭ギャップリングヘッドによる短波長記録再生特性と, MFM による記録磁化パターンの測定を行い, 試作した表面粗さの異なる垂直磁気テープの短波長記録能力を調べた。

2. 実験方法

表面粗さの異なる 2 種類のポリイミドベースフィルム (a), (b) を用いて Co-Cr-Ta 垂直磁気テープ (a), (b) を作製した。ポリイミドベースフィルム (b) は, 表面性を改善したポリイミドベースフィルムである。ポリイミドベースフィルムと垂直磁気テープ (a), (b) の表面形状を原子間力顕微鏡 (atomic force microscopy; AFM) を用いて測定し, 平均表面粗さ R_a と最大突起高さ R_{max} を求めた。 R_a は評価対象領域の大きさによって若干異なった値をとる。ここでは, 記録再生を行うヘッドのトラック幅 10 μm に対応した 10 $\times$ 10 μm を評価対象領域とした。垂直磁気テープの磁気特性は VSM で測定した。記録再生特性は, トラック幅 10 μm の Fe-Ta-N 積層リングヘッドを用いて, ヘッド/テープ評価装置であるドラムテスターで測定し, 垂直磁気テープ (a), (b) について再生出力の比較を行った。

また, 記録磁化パターンの観察には, MFM を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 ベースフィルムの表面性と記録再生特性

Fig. 1 はベースフィルム (a), (b) の表面形状の AFM 像である。Fig. 2 は, ベースフィルム (a), (b) に Co-Cr-Ta をスパッタした垂直磁気テープ (a), (b) の表面形状の AFM 像である。Table 1 に, ベースフィルムおよび垂直磁気テープの R_a および R_{max} を示す。スパッタ前後の R_a , R_{max} 共に (b) の方が (a) に比べ小さいことがわかる。スパッタ後は, スパッタ前に比べ, (a), (b) 共に R_{max} が小さくなっている。また, ベースフィルム (a) の R_a の値がスパッタの前後でほとんど変わらないのに対し, ベースフィルム (b) の R_a がスパッタ後に増加しているのは, ベースフィルムの R_a が十分に小さいため媒体の微細結晶粒の凹凸がスパッタ後に現れたものと考えられる。スパッタ後の垂直磁気テープ (a), (b) の表面粗さを比較すると (b) は, $R_a = 2.4 \text{ nm}$, $R_{\text{max}} = 33.7 \text{ nm}$ となり, (a) に比べ, 共に 30% 前後改善されたことになる。

Table 2 は, 垂直磁気テープ (a), (b) の磁性層膜厚 $\delta_{\text{Co-Cr-Ta}}$ および磁気特性を示したものである。 $\delta_{\text{Co-Cr-Ta}}$ 容易軸方向の保磁

Fig. 1 AFM images of the base sheet surface: (a) standard and (b) smooth surface.

Fig. 2 AFM images of the surface after sputtering: (a) standard and (b) smooth surface.

Table 1 Mean roughness (R_a) and maximum height (R_{max}) of the surface of base sheets before and after sputtering

Base sheet	Before	After
(a) Standard R_a nm	3.3	3.6
surface R_{max} nm	63.2	51.3
(b) Smooth R_a nm	1.2	2.4
surface R_{max} nm	36.7	33.7

力 H_c 。垂直磁気異方性磁界 H_k は、ほぼ同じ値となっている。Fig. 3 は垂直磁気テープ (a), (b) の面内方向の $M-H$ 曲線である。この図から面内磁化膜になっていると考えられる媒体初期磁性層の厚さは、(a), (b) に差はなくほぼ同厚で、50 nm 程度⁵⁾ であると考えられる。

以上の結果より表面性の異なる垂直磁気テープ (a), (b) の間に記録再生出力に関する磁気特性および初期磁性層厚の違いは認められないことがわかった。

次に、記録再生についての実験結果を示す。Table 3 は、記録再生実験条件を示したものである。Fig. 4 は垂直磁気テープ (a), (b) による線記録密度特性を示したもので、長波長の出力はほぼ同じなのに対し、短波長域では、垂直磁気テープ (b) の出力の方が高くなっていることがわかる。記録波長 0.3 μm (170 kFRPI) における出力差は 3.2 dB と最も差が大きくなっている。また、 D_{50} も垂直磁気テープ (b) の方が 5 kFRPI 高くなっている。さらに垂直磁気テープ (b) は、キャリアレベルとトータルノイズの比 C/N_t も 3 dB 高くなり記録波長 0.3 μm (周波数 36 MHz) で、 C/N_t 値 52.3 dB (RBW=30 kHz) (Fig. 5 参照) が得られることもわかった。出力および C/N_t 改善の主要因は、垂直磁気テープ (a), (b) の間に磁気特性の差がないことと短波長側で出力差が大きいため、表面性を改善したことによるヘッド/テープ間のスペースの低下のためと考えられる。

Fig. 3 $M-H$ loops of Co-Cr-Ta media sputtered on (a) a standard and (b) a smooth surface base sheet.

Table 2 Characteristics of media

Base sheet	(a)	(b)
$\delta_{\text{Co-Cr-Ta}}$ nm	200	200
H_c Oersted	1380	1440
H_k Oersted	4600	4800
M_s emu/cc	460	

Table 3 Read/write experimental conditions

Experimental apparatus	Drum tester
Relative velocity	10.7 m/s
Tape Base sheet	10 μm Polyimide
Composition	C079.5Cr18Ta2.5 at. %
Structure	Laminated type Fe-Ta-N Ring head
Head Gap length	0.14 μm
Track width	10 μm
Coil	38 turns

3.2 MFM による短波長記録磁化パターンの観察

記録再生実験の結果、高出力の得られた垂直磁気テープ (b) を用いて、リングヘッドではギャップ損失のため再生が困難である超短波長記録の記録磁化パターンを MFM により観察した。Fig. 6 は、Table 3 の記録条件でトラックピッチを約 3 μm とした時の線記録密度 50~250 kFRPI の磁化パターンの MFM 像である。記録波長 0.2 μm に相当する 250 kFRPI の短波長の磁化パターンが鮮明に観察されている。記録波長 1.0 μm に相当する 50 kFRPI の磁化パターンは、短波長に比較して記録磁化状態が不明瞭であるが、これは単層膜媒体のため、長波長になるほど、反磁界の影響を強く受けるためではないかと考えられる。Fig. 7 は、250 kFRPI の磁化パターンを拡大し

Fig. 4 Reproduced voltage *vs.* linear bit density characteristics of (a) and (b).

Fig. 5 Reproduced signal spectrum of Co-Cr-Ta tape (b) at 170 kFRPI.

て示したもので下方がトラックエッジである。この図より記録波長 $0.2 \mu\text{m}$ と言う短波長にも関わらず、高コントラストの MFM 像が得られており、Fig. 8 の同じ記録波長による市販の MP テープの磁化パターンの MFM 像と比較するとコントラストの違いが良くわかる。また、Fig. 7 中央上よりの部分を横断しているビットの乱れが確認できる。このビット乱れは、 $10 \mu\text{m}$ のトラック幅全域の記録波長 $0.2 \mu\text{m}$ の磁化パターンの MFM 像に、トラック方向にほぼ $2.5 \mu\text{m}$ おきに 3 カ所確認できる (Fig. 9 参照)。これは積層リングヘッドの $2.5 \mu\text{m}$ 厚四層の磁性層間の磁氣的絶縁層に対応するものであることから、短波長記録時には積層リングヘッドの絶縁層による磁化パターンの層間の分離が明瞭に見られることがわかった。

また、記録時のスペーシングの影響を調べるため表面粗さの R_a, R_{max} の大きい垂直磁気テープ (a) に同一の条件で記録した。Fig. 10 は、このときの記録波長 $0.2 \mu\text{m}$ の磁化パターンの MFM 像である。Fig. 7 に比べ、ビットのゆらぎが大きく、ところどころビットが切れてしまっている場所が確認できる。これは、記録時のヘッド/テープ間のスペースの増大により、ビットが正常に記録されていないためと考えられる。

以上の実験結果から、より短波長記録を実現するには、テープの表面粗さを小さくすることが、磁化パターンのゆらぎを小さくするための必須条件と考えられる。

Fig. 6 MFM image of recorded 50–250 kFRPI signals of a $3\text{-}\mu\text{m}$ -wide track on Co-Cr-Ta tape (b).

Fig. 7 MFM image of a recorded 250 kFRPI signal on Co-Cr-Ta tape (b).

Fig. 8 MFM image of a recorded 250 kFRPI signal on MP tape.

このように、垂直媒体の超短波長における記録能力の評価を行う上で、MFM のような高感度かつ高分解能な評価装置による記録磁化パターンの観察は非常に有効である。

今後、MFM 像から得られる記録磁化パターンの SN 比の評価やビットゆらぎと従来のヘッドによる記録再生時の C/N_t との具体的な対応づけを行うことによって、試作した垂直磁気テ

Fig. 9 MFM image of a recorded 250 kFRPI signal of a 10- μ m-wide track on Co-Cr-Ta tape (b).

Fig. 10 MFM image of a recorded 250 kFRPI signal on Co-Cr-Ta tape (a).

ブの短波長記録能力をより詳細に分析できる見通しが得られた。

4. ま と め

ベースフィルムの表面性を改善し、垂直磁気テープの表面粗さの R_a , R_{max} を 30% 小さくした結果、狭ギャップリングヘッドによる記録再生実験において、記録波長 $0.3 \mu\text{m}$ で 3.2 dB 高い出力と 3 dB 高い C/N_t 値 52.3 dB (RBW=30 kHz, 周波数=36 MHz, トラック幅=10 μm) が得られ、垂直磁気テープの短波長における高い記録再生能力が確認された。

さらに、リングヘッドでは再生が困難である記録波長 $0.2 \mu\text{m}$ における記録磁化パターンを MFM により観察し、表面性を改善することで、磁化パターンのゆらぎが小さくなっていることを確認した。

これらの実験結果より、垂直磁気テープの表面粗さの R_a , R_{max} を 30% 改善し、 $R_a=2.4 \text{ nm}$, $R_{max}=33.7 \text{ nm}$ とすることで、記録波長 $0.3 \mu\text{m}$ 以下の短波長記録再生特性が大幅に改善

されることがわかった。

謝 辞 最後に本研究を進めるに当たり、ご指導頂いた当所、記録・機構研究部 大島英男部長、米田与志朗主任研究員、久我 淳、林 直人両研究員に深く感謝します。

文 献

- 1) 小野寺誠一, 大内一弘, 中村慶久, 岩崎俊一: 日本応用磁気学会誌, 15, 163 (1991).
- 2) 橋本母理美, 鈴木隆史: 第 16 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 9pF-11, p. 399 (1992).
- 3) 吉本秀明, 久我 淳, 米田与志朗, 沼澤潤二: 日本応用磁気学会誌, 16, 775 (1992).
- 4) 吉本秀明, 久我 淳, 宮下英一, 林 直人, 中山 匡, 米田与志朗, 沼澤潤二: 日本応用磁気学会誌, 17(Suppl. No. S2), 125 (1993).
- 5) 石川清彦, 吉本秀明, 中山 匡: テレビジョン学会 '94 年次大会講演予稿集, p. 299 (1994).

1995 年 10 月 16 日受理, 1996 年 1 月 12 日採録