

バリウムフェライト磁性体を用いた 塗布型磁気記録媒体の高密度化研究

野口 仁*, 永田 武史*, 松本 彩子*, 遠藤 靖*,
原沢 建*, 小柳 真仁*, 阿部 直人*, 斉藤 真二*

Study on High Recording Density of Barium-Ferrite Particulate Media

Hitoshi NOGUCHI*, Takeshi NAGATA*, Ayako MATSUMOTO*, Yasushi ENDO,
Takeshi HARASAWA*, Masahito OYANAGI*, Naoto ABE*, and Shinji SAITO*

Abstract

A magnetic recording medium with an ultra-thin magnetic layer containing fine barium-ferrite particles with high-coercivity was produced by using advanced dispersion and precision coating technologies. Using a giant magneto-resistive head and a partial-response maximum-likelihood channel, we evaluated signal-to-noise ratios, byte-error rates and pulse widths. The results indicate the feasibility of approximately as high as 16 Gbits/in² recording density.

1. はじめに

塗布型磁気テープは、記録再生・保存に対する信頼性が高く、低コストなため、データのバックアップや長期保存用途に広く用いられている。近年、情報量の飛躍的な増加に伴って、磁気記録媒体の高容量・高密度化のニーズはますます高まっている。

塗布型磁気記録媒体の高密度記録を達成するには、微粒子磁性体を均一に分散し、薄層塗布することが必要になってきており¹⁾、微粒子メタル (MP) 磁性体と薄層塗布技術を用いて、面記録密度 1Gbits/in²に相当する、1巻当たり1テラバイト (TB) の磁気テープの可能性検証が報告されている²⁾。しかし、メタル磁性体は磁化の発現がその形状磁気異方性に由来するため、微粒子化に伴い、高い抗磁力を保つことが困難になってきており、これに代わって、磁化の発現が結晶磁気異方性に由来し、高抗磁力で微粒子化が可能であるバリウムフェライト (BaFe) 磁性体が提案されている³⁾。

本報告では、新しく開発した微粒子バリウムフェライト磁性体を用いた、塗布型磁気記録媒体の記録密度特性について解説する。

2. 実験方法

2.1 BaFe メディアの作成

本報告では、2種類のBaFe磁性体と、比較用に1Gbits/in²技術発表に使用したMP磁性体を準備した。これら磁性体の特性をTable 1に、BaFe磁性体の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像をFig. 1に示した。BaFe磁性体は、MP磁性体に比較して磁性体体積が小さいが、高い抗磁力を保つことができている。また、飽和磁化量 (σ_s) は小さい。

Table 1 Properties of Barium-ferrite Magnetic Particles and Metal Magnetic Particles.

	Barium-ferrite		Metal
	A (for Tape)	B (for Disk)	
*Size (nm)	21	21	45
Volume (nm ³)	2100	2100	3300
Coercivity (kAm)	160	209	168
(Oe)	2010	2630	2110
σ_s (Am ² /kg)	50	46	110

*Size based on plate diameter for barium-ferrite particles, and maximum length for metal particles.

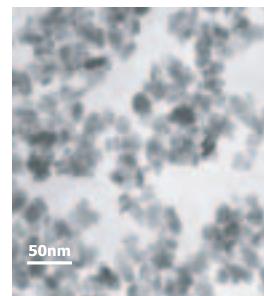


Fig. 1 TEM image of barium-ferrite particles.

本誌投稿論文 (受理 2006 年 11 月 22 日)

*富士フイルム (株) R&D 統括本部
記録メディア研究所

〒250-0001 神奈川県小田原市扇町2-12-1

*Recording Media Research Laboratories

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Ohgi-cho, Odawara, Kanagawa 250-0001, Japan

これら3種類の磁性体を用いて、Table 2に示した層構成、磁気特性の2種類の磁気テープと1種類のフレキシブル磁気ディスクを作成した。

Table 2 Properties and Layer Structures of the Experimental Media.

Media form	Tape		Flexible disk	
	Barium-ferrite A	Metal	Barium-ferrite B	
Magnetic Particle				
Media layer structure				
Magnetic layer thickness	nm	65	100	80
Under layer thickness	um	1.5	1.5	1.0
Base film thickness	um	6.0	5.2	53
Base film type		PEN	PEN	PEN
Back coat thickness	nm	0.5	0.5	None
Media characteristics				
Hc	kA/m	150	188	197
Mrt	mA	2.9	19.7	4.3
SQ		0.4	0.8	0.4
SQ _⊥		0.6	0.3	0.6
Ra	nm	2.0	2.5	3.0

**SQ_{||} and SQ_⊥ are squareness ratios in the longitudinal and perpendicular directions, respectively.

一般的に、微粒子磁性体は凝集力が高いために分散安定化処理が必要である。特に、BaFe磁性体は板状で板面同志が凝集しやすいために、高分子結合剤の官能基量や分子構造を工夫することで適当な吸着層を形成し、分散安定化を行なった。BaFe磁性体Aを用いて作成した磁気テープ表面の走査型電子顕微鏡（SEM）写真をFig. 2に、分子間力顕微鏡（AFM）像をFig. 3に示した。微粒子のBaFe粒子が均一に分散安定化されており、MPテープよりも平滑な表面性が得られている。

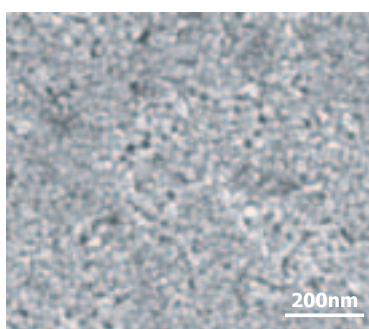


Fig. 2 Surface SEM image of the barium-ferrite tape.

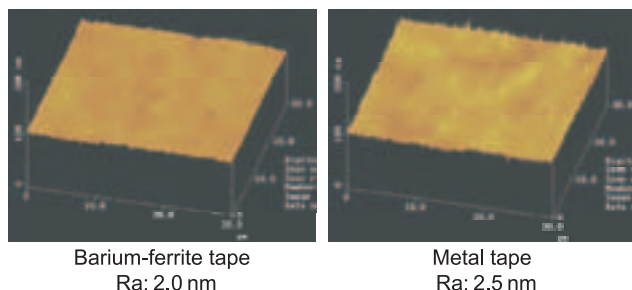


Fig. 3 AFM images of the barium-ferrite tape and the metal tape.

また、Fig. 4にBaFeテープのTEMによる断面写真を示した。65nmという超薄磁性層が均一に塗布されている。

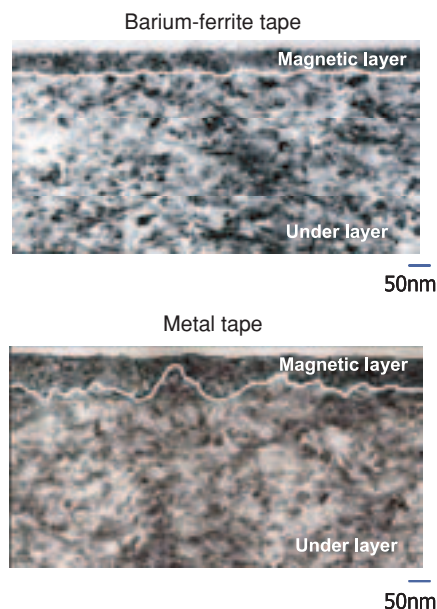


Fig. 4 Cross-section TEM images of the barium-ferrite tape and the metal tape.

2.2 電磁変換特性の測定方法

本報告では、ドラムテストによる磁気テープ評価と、1.8吋フォームファクターのフレキシブル磁気ディスクドライブによる磁気ディスク評価を行なった。それぞれの評価系で使用した磁気ヘッドの仕様をTable 3に示した。今回準備したディスク用磁気ヘッドは、テープ用磁気ヘッドに比べて記録の書き込み能力が高い、再生トラック幅が狭い、シールド間距離が短いなど、高密度記録のポテンシャルを見きわめるのに適している。

Table 3 Head Specifications.

		Test Head 1 (for Tape)	Test Head 2 (for Disk)
Recording Head			
Head type		Metal-in-gap	Thin film
Write track width	um	20	0.42
Write gap length	um	0.2	0.13
Write pole Bs	T	-	1.8
Playback Head			
Head type		GMR	GMR
Read track width	um	1.5	0.28
Shield-to-shield spacing	um	0.16	0.13

ドラムテストによる磁気テープ評価は、スペクトラムアナライザを用いてシグナル・ノイズスペクトラムを測定し、SNRは200KFCIの信号出力と0から400KFCIの積分ノイズとの比で算出した。また、孤立波形はデジタルオシロスコープによる33.3KFCI信号を採用し、波形の半値幅をPW50として算出した。なお、テープとヘッドの相対速度は2m/sで評価を実施した。

フレキシブル磁気ディスク評価用のドライブは、プリアンプとしてTI社製SR1644、リードチャンネルとしてAgere社製Copperheadを搭載し、回転速度4200rpmでチャンネル後のSNRとバイト・エラー・レートの評価を行なった。メディアにはサーボ信号を書き込み、サーボオントラック状態で、0.28 μm という非常に狭いトラック幅での評価を可能にした。

3. 実験結果

3.1 BaFeテープとMPテープの記録密度特性比較

Fig. 5に線記録密度200KFCIにおけるBaFeテープとMPテープのシグナル・ノイズ・スペクトラムを示した。BaFeテープはMPテープとほぼ同等の再生出力が得られているにもかかわらず、モジュレーションノイズが非常に低く、SNRで23.5dBとMPテープより9dB高い値を示した。さらに、Fig. 6に200KFCIの記録信号の磁気力顕微鏡 (MFM) 像を示しており、MPテープと比較して、BaFeテープに記録された信号の分解能が高いことがわかる。

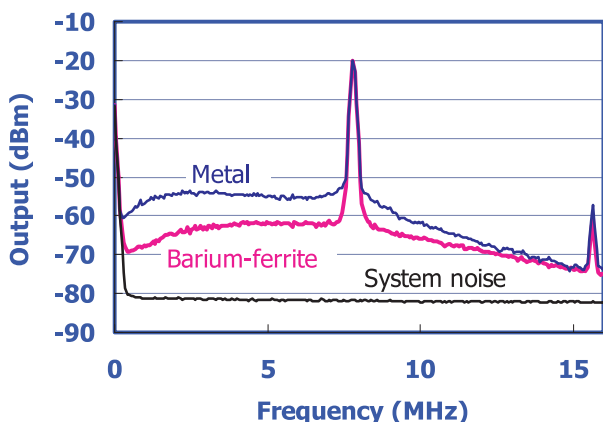


Fig. 5 Signal and modulation noise spectra. The SNR of the barium-ferrite tape was 23.5dB, and the output level was -20.5dBm. The SNR of the metal tape was 14.5dB, and the output level was -21.8dBm.

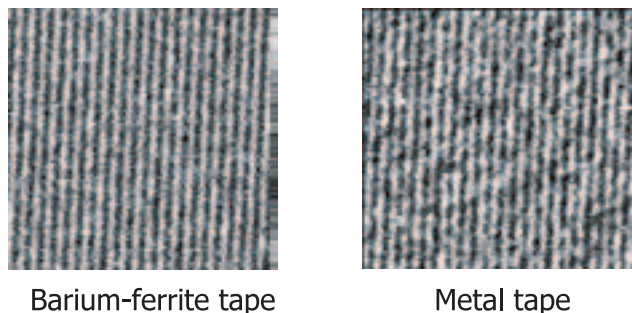


Fig. 6 MFM images of recorded signals at 200 KFCI.

このように、BaFeテープのモジュレーションノイズが低い理由は、磁性体体積が小さいこと、磁性層表面が平滑なこと、磁性層の厚み変動が小さいことに由来していると考えられる。

Fig. 7に両テープの孤立波形を示した。MPテープのPW₅₀が279nmであるのに対して、BaFeテープのPW₅₀は172nmと非常に狭く、高密度記録に適している。これは、BaFeテープの磁性層厚が薄いこと、磁性層表面が平滑なこと、垂直磁化成分をもっていることに由来すると考えている。一方で、この垂直磁化成分が原因で孤立波形の対称性が損なわれており、信号処理による波形等価が必要となっている。

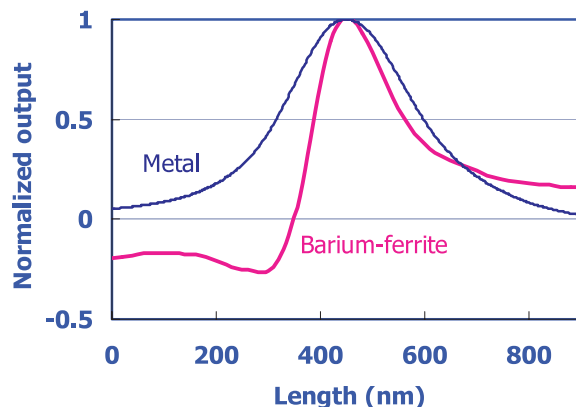


Fig. 7 Isolated pulse waveforms. PW₅₀ of the barium-ferrite tape was 172 nm. PW₅₀ of the metal tape was 279 nm.

Fig.8に再生出力の周波数特性を示した。BaFeテープのPW₅₀が狭いことを反映して、200KFCI以上の高い線記録密度領域でMPテープより高い再生出力を示した。

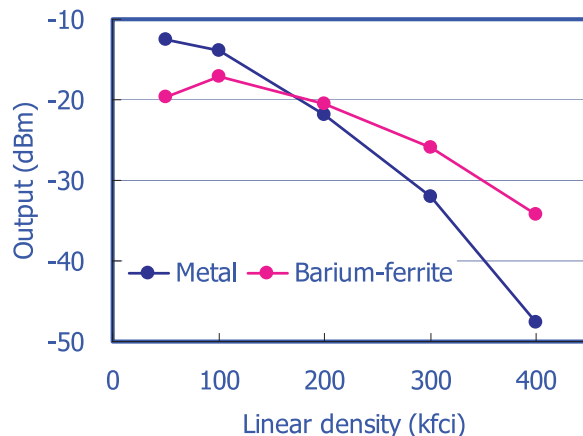


Fig. 8 Frequency response of the barium-ferrite tape and the metal tape.

3.2 BaFeメディアが達成できる面記録密度の見積もり

今回準備したフレキシブル磁気ディスクドライブは、①高密度記録に適した磁気ヘッドを搭載している、②最新のPRMLチャンネルを搭載している、③サーボトラッキングにより狭トラックでの評価が可能である、という特徴があり、メディアの記録密度特性に関するポテンシャルを評価する上で有効である。

Fig. 9にPRMLチャンネル前後の波形データを示した。波形等価前のプリアンプ出力では波形が非対称になっ

ているのに対し、チャンネル後の出力波形は対称性が改善されており、バリウムフェライトの波形等価の見通しが得られた。

Before waveform equalization (Pre-amp output)



After waveform equalization (Output after FIR filter)



Fig. 9 Barium-ferrite waveforms before and after PRML channel. The preamp output gives an asymmetrical waveform, which becomes more symmetrical after FIR filtering.

本 PRML チャンネルを用いた場合の線記録密度とチャンネル後の SNR の関係を Fig. 10 に示した。再生トラック幅 $0.28 \mu\text{m}$ の GMR ヘッドを用いて、線記録密度 350KBPI で 19.3dB というシステム設計可能な SNR 値を得た。

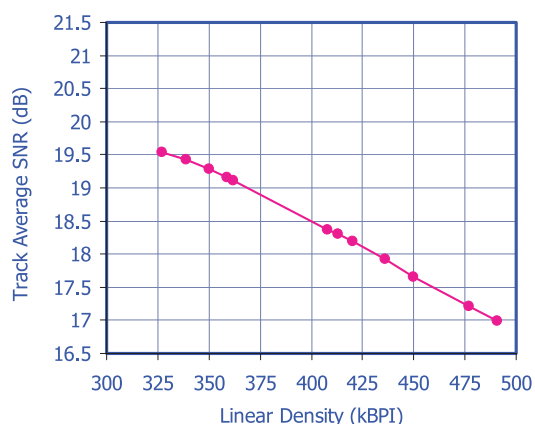


Fig. 10 SNR versus linear density plots for the barium-ferrite disk. The SNR of the barium-ferrite disk at 350KBPI was 19.3dB.

Fig. 11 では同チャンネル、ヘッドも用いた場合の線記録密度とバイト・エラー・レートの関係を示した。線記録密度 350KBPI において $8\text{E-}4$ のバイト・エラー・レートが得られた。

現行テープシステム同様、トラックピッチと再生トラック幅の比を 2:1 と仮定すると、本条件はトラック密度 45.4KTPI に相当し、線記録密度 350KBPI と併せて、 15.9Gbits/in^2 と 1TB 技術発表に使用したメタルテープの約 16 倍の面記録密度を達成できる見込みとなる。

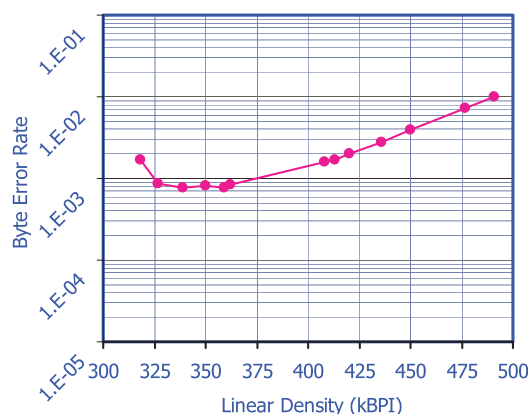


Fig. 11 Byte error rate versus linear density plot for the barium-ferrite disk. The byte error rate of the barium-ferrite disk at 350KBPI was $8\text{E-}4$.

4. まとめ

高い抗磁力を持った微粒子バリウムフェライト磁性体を均一に分散し、65nm 厚に薄層塗布して得られた磁気テープと GMR ヘッドの組み合わせにより、1TB 技術発表に使用したメタルテープに対して、大幅な SNR および分解能の向上を達成することができた。本磁気テープを使用し、IBM アルマデン研究所（米国カリフォルニア州）との共同研究により、記録密度が現行テープ比で 15 倍以上となる 6.67Gbits/in^2 のリニアデータ記録に世界で初めて成功した。これにより、1 巻当たりの記録容量が現行 LTO テープ比で 20 倍となる、8TB の大容量磁気テープの開発が、将来的に可能となる見通しを得た。

さらに、高精度サーボトラッキング技術や最新 PRML チャンネル技術を組み合わせることで、面記録密度 16Gbits/in^2 を達成できる見通しが得られており、本技術が次世代磁気テープのマイグレーションを描く上で、有力な候補になると確信している。

参考文献

- 1) K. Ejiri; T. Sugizaki; R. Taguchi; K. Majima; K. Muto; T. Uehara; H. Okuda. "Investigation of particulate media with an ultra-thin magnetic layer suitable for MR heads on a rotating drum". IEEE Trans. Magn., **37** (4), 1605-1608 (2001).
- 2) IBM. [Online]. Available : <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/732.wss>
- 3) 齊藤真二, 野口仁, 遠藤靖, 江尻清美, 萬代俊博, 杉崎力. 富士フイルム技術報告. No.48, 71-75 (2003).