2. 磁 気 記 録

2-1 新しい記録材料

正会員 沼澤潤二†

1. ま え が き

画像信号のデジタル化に伴って記録装置の高密度・広帯域化の要求が高まっている。このため磁気記録装置の媒体・ヘッドは、これまで以上に線記録密度・トラック記録密度・広帯域記録再生特性の優れたものが望まれている。本文ではこのような高密度デジタル記録装置の媒体とヘッドに要求される基本条件および、その条件を満足させるために研究開発が進められている新しい磁性材料について述べる。

2. 磁気記録媒体

デジタル記録において高い線記録密度を実現するには、半値線記録密度 D_{50} (再生信号が孤立波振幅 E_{op} の $1/2$ となる線記録密度) が高く、しかも孤立波振幅が大きいことが必要である。この D_{50} と E_{op} は、媒体の巨視的な磁気特性である残留磁束密度 B_r 、保磁力 H_c 、磁性層厚み δ および記録再生ヘッドのギャップ長 g 、コイル巻き数 N 、トラック幅 W 、ヘッドの効率 η 、相対速度 v 、ヘッド・媒体間のスペーシング d とすると、次式で表すことができる¹⁾²⁾。

$$D_{50} \approx 1.38/W_{50} \quad (1)$$

ここで W_{50} は、孤立波振幅の半値幅で、次式で表すことができる。

$$W_{50} \approx 2\{(a_s + d)^2 + (g/2)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

ここで a_s は表面磁束分布定数で次式で、表される。

$$a_s \propto \delta^{0.7}(B_r/H_c)^{1/2} \quad (3)$$

また、孤立波振幅は次式となる。

$$E_{op} \approx 2\eta N v W B_r \delta (\pi g/2)^{-1} \tan^{-1}\{g/2(a_s + d)\} \quad (4)$$

(1)～(4)式から D_{50} および E_{op} を高くするため

図1 長手磁気記録媒体の $(\delta \cdot B_r/H_c)$ と W_{50} ⁴⁾

には、媒体の B_r を必要充分な値に保ちつつ、 δ を薄く、 H_c を高くし、かつ d と g を小さくすることが必要である。したがって、高密度記録媒体用磁性材料としては、磁気特性のみならずヘッドとのスペーシングを小さくできるものが望ましい。図1に長手磁気記録媒体の $(\delta \cdot B_r/H_c)$ と W_{50} との関係を示す³⁾⁴⁾。垂直磁気記録の場合には図1の関係はあてはまらず、 H_c 、 δ に左右されずに高い記録分解能を得ることができる。

2.1 磁性微粒子記録材料

磁気記録用磁性微粒子には酸化物系と合金系がある。一般的には酸化物系の材料は合金系の材料と比較して飽和磁束密度 B_s が低く B_r も低いので、前述した孤立波振幅は小さくなるが、酸化物であるため化学的に非常に安定であるという特徴を持っている。酸化物系として $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 CrO_2 針状微粒子が実用化されている。最近になって Ba フェライト六角板状微粒子 (直径 $\approx 0.05 \mu\text{m}$ 、厚さ $\approx 0.015 \mu\text{m}$) が実用化されている。この粒子は非常に大きな結晶磁気異方性 (板面に垂直) を持ち、 H_c も 160 kA/m (2000 Oe) 以上と大きい。現在は記録時のヘッド飽和を考慮して、結晶の鉄原子をコバルト、チタン原子で置換することによって H_c を $16 \sim 160 \text{ kA/m}$ の値に調整してい

† NHK 放送技術研究所

“Magnetic Recording; New Materials for Magnetic Recording” by Junji Numazawa (NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

図 2 薄層メタルテープの磁性層断面の電子顕微鏡写真

る⁵⁾。Ba フェライトは、 B_r が合金系材料より小さいが、 H_c が大きいこと、粒子サイズが針状粒子より小さく塗布後の媒体表面粗さを良好に保て、しかも塗布工程で磁気異方性を面内・垂直・等方と制御できることから、将来の高密度化に対応できる材料として有望である。一方、合金針状微粒子は、鉄をベースにコバルト、ニッケルを添加したもので、長軸が $0.15 \mu\text{m}$ 、短軸が $0.03 \mu\text{m}$ と $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ と比較して微粒子化されている。しかも B_r ($0.23 \sim 0.30 \text{ T}$)、 H_c ($120 \sim 160 \text{ kA/m}$) とともに大きく、高密度で高出力が得られる材料である。この針状微粒子を、ベースフィルム上に非磁性チタン微粒子を塗布した上に従来の磁性層厚の約 $1/10$ の厚さで塗布した、極めて表面性の良い薄層メタルテープが VTR 用として実用化されている⁶⁾⁷⁾。図 2 に薄層メタルテープの磁性層断面の電子顕微鏡写真を示す。

2.2 磁性薄膜記録材料

磁性薄膜材料にも酸化物系と合金系のものがあるが、現在、高密度デジタル記録用として研究開発が進められている中心は Co-合金系 (Co-P, Co-Ni-P, Co-Ni-O, Co-Cr-Ta, Co-Cr-Pt, Co-Cr-Ni 等) で、図 1 に示したのは、ハードディスク用に開発されたこれらの材料のデータである。これらの材料の中で将来の高密度化に対して期待されているのは、面内磁化成分のみではなく垂直成分も利用して高密度記録を実現している材料で、Co-Cr 系の材料がそれにあたる。一例として、Co-Cr-Ta 媒体は Co の組成と下地によって面内磁化から純粋垂直磁化まで変えることができる⁸⁾⁹⁾。また、斜め蒸着法で作製された Co-Ni-O は、形状異方性によって磁化容易軸が面内に対して約 30° 傾いており、この媒体もまた垂直磁化成分を利用した高密度記録媒体といえる。この媒体は ME テープとして VTR 用に実用化されている¹⁰⁾。

3. 磁気ヘッド

前節で述べたように、高密度デジタル記録を実現するために媒体の H_c 、 B_r は大きくなり、磁性層厚 δ

表 1 記録再生兼用ヘッドで飽和記録可能な媒体保持力の目安 ($\lambda = 0.5 \sim 1 \mu\text{m}$)

	ヘッドコア $B_s(\text{T})$	媒体 $H_c(\text{kA/m})$
Mn-Zn 単結晶フェライト	0.38	38.4
センダスト	1.1	176
MIG (センダスト+フェライト)	0.38	76

は薄くなってきている。このため、記録用のリングヘッドは高 H_c 媒体を飽和記録できる高 B_s 磁性材料を必要とする。記録ヘッドのギャップ飽和は、使用する磁性材料によって異なる。家庭用 VTR に用いられている Mn-Zn 単結晶フェライト ($B_s = 0.38 \text{ T}$) リングヘッドでは、ギャップ飽和磁界強度 H_g は次式で表される¹¹⁾。

$$H_g \approx B_s/2 \quad \text{Mn-Zn 単結晶フェライトヘッド} \quad (5)$$

一方、合金磁性材料のひとつであるセンダスト ($B_s = 1.1 \text{ T}$) リングヘッドの H_g は、次式で表される。

$$H_g \approx 0.8 B_s \quad \text{センダストヘッド} \quad (6)$$

フェライトリングヘッドのギャップ近傍にだけ飽和磁束密度の高い合金材料を複合させた MIG (Metal In Gap) ヘッド (直列型) の H_g は、Mn-Zn 単結晶フェライトの飽和磁束密度 B_s で制限され、次式となる。

$$H_g \approx B_s \quad \text{MIG ヘッド (直列型)} \quad (7)$$

これらのヘッドを用いて保磁力 H_c の媒体に記録波長 λ の信号を飽和記録するために必要となるヘッドギャップ磁界強度は、次の実験式で表すことができる。

$$H_g \approx (1.7/g^{0.33} + 0.8\lambda/g^{0.78})H_c \quad (8)$$

記録再生兼用ヘッドでは、再生ギャップ損失を 3 dB 以下にするため、ヘッドギャップ長 $g = \lambda/2.5$ とする必要がある。この条件を (8) 式に代入して次式が得られる。

$$H_g \approx (2.3/\lambda^{0.33} + 1.63\lambda^{0.22})H_c \quad (9)$$

記録波長領域を $\lambda = 0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ とすると、(9) 式は次式で近似できる。

$$H_g \approx 4H_c \quad (10)$$

(10) 式と (5)～(7) 式から、記録波長 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ の信号を飽和記録することができる媒体保磁力の上限の目安が得られる。この計算結果を表 1 に示す。一方、再生用リングヘッドは再生感度を高くするため μ を大きくすることが必要である。また、ヘッド材料の H_c は、2 次歪み、ピークシフト、再生減磁の原因となるので、小さくすることが望ましい。例えば、 H_c の材料を使ったリングヘッドを直流帯磁させた

きに発生するヘッドギャップ磁界強度 H_g は、次式で表される。

$$H_g \cong H_c(c/g) \tag{11}$$

一例として、ヘッドコア材の $H_c=8\text{ A/m}$ 、ヘッドコアの平均磁路長 $c=1\text{ mm}$ 、ギャップ長 $g=0.3\text{ }\mu\text{m}$ とすると、(11)式から H_g は約 27 kA/m ($=333\text{ Oe}$) となり、フェライトヘッドの飽和が始まるギャップ磁界強度の約 $1/6$ にも達する。このほかにもヘッド用磁

性材料としては、高周波領域における渦電流損失を小さくするために比抵抗の高いものであること、耐摩耗性の優れたものであること、熱的・化学的に安定なものであること等、種々の具備すべき条件がある。

3.1 磁気ヘッド材料

前述したように、高密度ディジタル記録用ヘッド材料は、低い飽和磁束密度のフェライト材料から高い飽和磁束密度の合金材料へと変わってきている。合金材料の中でもコバルト ($B_s=1.79\text{ T}$) 基材料から鉄 ($B_s=2.12\text{ T}$) 基材料もしくは、鉄の窒化物 Fe_{16}N_2 ($B_s\cong 3.0\text{ T}$) 系の材料の研究開発が進められている。図3は各種磁性材料の飽和磁束密度と実効透磁率との関係を示したものである。この中でCo-Zr-Nb-Nアモルファス積層膜、Fe-Ta-N合金積層膜は放送用ディジタルVTRの記録ヘッドとして実用化されている^{12)~15)}。窒化鉄(FeN)は、磁気ヘッド用磁性材料として研究開発が進められているものの中で最大級の飽和磁束密度 ($B_s=2.0\text{ T}$) を持っており、ハードディスクの記録ヘッド用として優れた記録特性が得られることが確認されているが、 H_c が 480 A/m と大きいことなど、解決すべき課題が残っている^{16)~18)}。表2に代表的なヘッド用軟磁性材料の諸特性を示す。

一方、再生専用のヘッドとしては、高い再生感度が容易に得られる磁気抵抗(MR)効果ヘッドが、ハード

図 3 各種磁性材料の飽和磁束密度と実効透磁率

表 2 ヘッド用軟磁性材料の諸特性

材料	Mn-Zn フェライト		バルク合金		合金薄膜		窒化合金薄膜	
	単結晶	多結晶 ホットプレス	Mo-パーマイロ	センダスト	センダスト スパッタ	Co-基 アモルファス	Co-基 アモルファス	Fe-基 微結晶
組成(wt.%)	MnO 18 ZnO 12 Fe ₂ O ₃ 70	MnO 22 ZnO 15 Fe ₂ O ₃ 63	Ni 79 Fe 17 Mo 4	Fe 85 Si 9.6 Al 5.4	Fe 85 Si 9.5 Al 5.5	Co 73.7 Zr 5.5 Nb 15.4 Ta 5.4	Co 78.3 Zr 3.1 Nb 6.6 N 12	Fe 78.5 Ta 8.6 N 12.9
飽和磁束密度 B_s (T)	0.38	0.32	0.87	1.1	1.2	0.83	1.3	1.5~1.7
実効透磁率 μ_i (DC)	4500	3600	20000	30000	2500	2500	3000	2200
μ (5 MHz)	600	500	20*1	60*1	1400*2	1400*2	2500*3	2200*4
μ (20 MHz)	250	150		20*1	400*2	400*2	1100*3	1800*4
保磁力 H_c (A/m)	4	8	4	2.4	9.6	8	8	8
抵抗率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	0.03	80	0.55×10^{-6}	0.85×10^{-6}	1.1×10^{-6}	1.2×10^{-6}	0.65×10^{-6}	0.85×10^{-6}
キュリー温度 T_c ($^{\circ}\text{C}$)	180	140	460	500	500	505 ($T_x=575$)	>700	>550
ビッカース硬度 H_v	640	600	130	530	600	900		1000
適用 VTR	家庭用 VTR				HD-DVTR	DVTR P. B.	DVTR REC.	DVTR REC.

* 1：膜厚 0.1 mm * 2：膜厚 5 μm * 3：膜厚 3 $\mu\text{m}\times 5$ 層 * 4：膜厚 3 $\mu\text{m}\times 4$ 層

ディスク用として実用化されており、高密度化にもなって注目されている。現在実用化されている MR 材料は Ni-Fe 合金の薄膜がほとんどで、この材料の再生感度の関係する抵抗変化率 (MR 比) は 2~5% 程度である。この MR 比の大きな材料の探査が現在精力的に進められており、その成果として MR 比が 10 倍以上大きな Fe/Cr 人工格子膜、銀の中に組み込まれた Fe, Co, Ni グラニューラー材料等のジャイアント MR 材料が研究開発されている^{19)~21)}。しかし、この GMR 材料は現状では動作温度が液体窒素温度付近で、動作磁界が 80~120 kA/m であるため、ヘッド用としては使えない。これに対して室温で動作し、動作磁界も Ni-Fe と同等で、しかも、MR 比が Ni-Fe より数倍高いスピンバルブ材料 (Co/Cu/Co/FeMn, Co₉₀Fe₁₀/Cu/Co₉₀Fe₁₀/Fe₅₀Mn₅₀) が注目されている²²⁾²³⁾。

3.2 高密度記録用磁気ヘッド

前述の磁性膜を磁性あるいは非磁性基板上に形成してヘッド化する場合、磁性膜を形成する基板には、表面粗さが良好であること、線膨張係数が磁性膜のそれとほぼ等しいこと、加工性が良く化学的に安定であること、そして媒体と摺動するタイプのヘッドについては摩耗特性が磁性膜のそれとほぼ等しいことなどの条件がある。特に摩耗が磁性膜の方が早い場合には、磁性膜と基板との間に段差ができるリセス現象が起き、媒体とヘッド間のスペーシングが増加し、 D_{50} が急激に低下する。また、高感度な再生が必要な高トラック密度記録では、前述の MR もしくはスピンバルブ材料を用いた薄膜ヘッドを使うことが、ディスク装置のみならずテープ装置でも必要になると考えられる。

図 4 に記録インダクティブ・再生 MR の薄膜ヘッドの構造例を示す。

図 4 記録インダクティブ・再生 MR 薄膜ヘッドの構造例

4. む す び

高密度磁気記録装置に欠くことのできない媒体とヘッドについて、その材料的側面から現状と将来展望について述べた。磁気記録は、膜成長を原子オーダーで制御した磁性薄膜を用いるとともに、垂直磁化成分の利用を考えることによって、現状より数百倍の高密度化が可能である。このような超高密度を実現するためにも磁性材料に対する一層の研究開発が必要である。

(1994 年 1 月 17 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 西川: “磁気記録の理論”, 朝倉書店 (1985)
- 2) 松本: “磁気記録”, 共立出版 (1977)
- 3) E. S. Murdock: “Roadmap for 10Gbit/in² Media: Challenges”, IEEE Trans. Magn., **28**, 5, pp. 3078-3083 (1992)
- 4) 大内: “高密度記録メディアと評価技術”, 応用磁気誌, **17**, 5, pp. 798-804 (1993)
- 5) 三浦, 橋本, 木村, 大段: “Ba フェライト微粒子の磁気特性”, 信学技報, MR 85-39, pp. 29-34 (1985)
- 6) 阿部, 江尻, 荒木: “薄層 MP テープのデジタル記録特性”, 信学技報, MR 92-83, pp. 9-15 (1993)
- 7) 上原, 宮下, 真島, 小川, 上條: “薄磁性層 MP テープによる高密度デジタル記録の検討”, 信学技報, MR 92-84, pp. 17-24 (1993)
- 8) 島津, 御手洗, 小林, 高橋, 脇山: “CoCrTa/Cr 薄膜媒体の磁気異方性の評価と磁気特性”, 応用磁気誌, **17**, 2, pp. 83-88 (1993)
- 9) 吉本, 久我, 宮下, 林, 中山, 米田, 沼澤: “Co-Cr-Ta 垂直磁気テープの短波長記録再生特性”, 応用磁気誌, **17**, S 2, pp. 125-130 (1993)
- 10) 高井, 小林: “最近の蒸着テープ”, テレビ誌, **44**, 9, pp. 1203-1210 (1990)
- 11) F. Jeffers: “High-Density Magnetic Recording Heads”, Proc. IEEE, **74**, 11, pp. 1540-1556 (1986)
- 12) N. Kaminaka, H. Sakakima, K. Takahashi, K. Osano and H. Hasegawa: “Co-Based Superstructured Nitride Alloy Films: Characteristics and Applications for High Frequency Heads”, IEEE Trans. Magn., **26**, 6, pp. 2936-2941 (1990)
- 13) 石綿, 竹島, 是成, 浦井: “磁気ヘッド用 FeTa_n スパッタ膜”, 信学技報, MR 91-26 (1991)
- 14) 奥村, 石綿, 大坂, 永糸, 浦井: “高速高密度記録用積層コア型 VTR ヘッドの開発”, 信学技報, MR 91-32 (1991)
- 15) 奥村, 石綿, 浦井: “HD-デジタル VTR 用 FeTa_n 積層膜ヘッド”, 信学技報, MR 92-42 (1992)
- 16) 上原, 越川, 久米, 青山, 大塚, 竹村, 戸田, 細野: “薄膜ヘッド用 FeN 膜の検討”, 第 15 回応用磁気学術講演, 29 pA-3, p. 16 (1991)
- 17) 上原, 越川, 上原, 神田, 大塚, 竹村, 戸田, 細野: “高 Hc 媒体上での FeN ヘッドの記録再生特性”, 第 15 回応用磁気学術講演, 29 pA-4, p. 17 (1991)
- 18) 渡辺, 折原, 吉水, 藤沢: “高 Bs コアを用いた薄膜ヘッドの O/W 特性”, 第 16 回応用磁気学術講演, 7 pF-16, p. 124 (1992)
- 19) M. H. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dan and F. Petroff: “Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices”, Physical Review Letters, **61**, 21, pp. 2472-2475 (1988)
- 20) S. S. Parkin, N. More, and K. P. Roche: “Oscillation in Exchange Coupling and Magnetoresistance in Metallic

Superlattice Structures: Co/Ru, Co/Cr and Fe/Cr", Physical Review Letters, **64**, 19, pp. 2304-2307 (1990)

- 21) T. Shinjo and H. Yamamoto: "Large Magnetoresistance of Field-Induced Giant Ferrimagnetic Multilayers", J. Phys. Soc. of Japan, **59**, 9, pp. 3061-3064 (1990)
- 22) B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Martin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart, and D. R. Wilhoit: "Magnetotransport Properties of Magnetically Soft Spin-Valve Structures", J. Appl. Phys., **69**, 8, pp. 4774-4779 (1991)
- 23) 上口, 岩崎, 橋本, 澤邊, 佐橋: "Co-Fe/Cu スピンバルブ膜の

構造と巨大 MR 効果", 応用磁気誌, **17**, S 2, pp. 91-96 (1993)

ぬまざわ じゆんじ
沼澤 潤二 昭和 46 年, 北海道大学大学院電子工学科修士課程修了。同年, NHK に入局。現在, NHK 放送技術研究所に勤務し, 磁性薄膜, 垂直磁気記録技術の研究開発に従事。平成 4 年より, 記録・機構研究部副部長。正会員。

2-2 高密度トラッキング技術

石 岡 秀 昭[†], 正会員 武 田 立[†]

1. ま え が き

磁気記録の歴史において「トラック位置決め技術」は, それを抜きにして論じられないほど高密度記録の実現に重要な位置を占めてきた。

テープ系では, 6.35 mm 幅にオーディオ 2 チャンネルを録音した 1950 年代から, 10 μ m 幅にビデオ/クロマを多重記録している現代まで, 40 年間で実に 300 倍以上の高トラック密度化を達成している。ディスク系では, 1957 年に実用化された IBM 社の磁気メモリーではトラック幅が 1.3 mm 程度だったのが, 後に紹介する PERM ディスクでは同 4.8 μ m を実現し, これも約 270 倍である。これらの開発の歴史は他著に譲り, 本稿では, 磁気記録用トラック位置決め技術の最先端をテープ系, ディスク系それぞれについて紹介する。

2. 磁気テープ装置のトラック位置決め技術

2.1 回転ヘッド型テープ装置におけるサーボ方式

回転ヘッド型テープ装置のサーボ方式は, CTL ヘッド信号を用いたタイミング制御のみを行い, トラックずれのリアルタイム補正を行わないオープンループ方式からスタートし, CTL ヘッド信号を用いたタイミング制御に加えて再生 RF 信号から常時ずれ量を推定してトラックずれ微調整を行うセミクローズドループ方式へ, さらに, タイミング制御・トラックずれ微

調整ともトラック上に記録した専用のサーボ信号を用いる完全クローズドループ方式へと進化してきた。

表 1 は, この流れに沿って回転ヘッド型テープ装置のサーボ方式の概要をまとめたものである。

このうち, 1/2 インチ VTR, 8 mm VTR, 業務用アナログ VTR, DAT については, 本誌 90 年 9 月号の「記録関連機器のサーボ技術」小特集中の各記事^{1)~4)}に詳しいのでそちらに譲り, 以下では, 最新技術であるデジタルベータカム VTR のトラッキング方式について紹介する。

2.2 デジタルベータカムのトラッキング方式

デジタルベータカム VTR⁵⁾は, 放送業務用として広く使われているアナログコンポーネント VTR 「ベータカム」との上位再生互換を実現した, 多用途デジタルコンポーネント VTR である。

デジタルベータカムでは, ナロートラックにおけるインサート編集互換を保証するため, ヘリカルトラック上にトラッキング専用の位置信号を記録する, 新しいトラッキング技術を導入している。

デジタルベータカムにおいては, 1 フィールドは 6 トラックで構成され, 各トラックでは 4 つのオーディオセクタをセンターに配置している。その両側に, 上述したトラッキング専用信号のエリア, さらにその前後に 2 つのビデオセクタを配置している。

図 1 は, センター付近のトラック配置を示したものであり, オーディオセクタを挟むようにしてその前後に以下の 2 種類の信号が記録される。

- (i) TTS (Tracking Timing Signal) オーディオセクタの前に記録される 4 MHz の信号 (A ch のみ)
- (ii) TPS (Tracking Pilot Signal) オーディオ

[†] ソニー株式会社 コンポーネントカンパニー

"Tracking Control Techniques for Higher Track Density in Tape and Disk Magnetic Recording Equipment" by Hideaki Ishioka and Toru Takeda (Data Storage Division, Component Company, Sony Corporation, Tokyo)