

磁気記録媒体における H_k 分布と高密度特性の関連

Relationship between H_k Distribution of Media and High Density Recording Characteristics

田河育也・中村慶久

東北大学電気通信研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (〒980)

I. Tagawa and Y. Nakamura

Res. Inst. of Elec. of Elec. Commun., Tohoku Univ., 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980

A new parameter ΔH_c on M-H minor curves is introduced to estimate the standard deviation of the H_k distribution. The ΔH_c correlates strongly to coercivity squareness s^* and half-width of switching field distribution SFD , and needs no compensating for the demagnetizing field in perpendicular recording media. It was shown by computer simulation analysis that the magnetic recording performance depends greatly upon the particle's anisotropy field H_k distribution in recording media as well as coercivity and saturation magnetization. The narrow H_k distribution of Co-Cr sputtered media is derived from the high crystallinity, and leads to superior performance in high density recording.

Key words: magnetic recording medium, recording performance, anisotropy field distribution, critical field distribution, peak intensity, crystallinity

1. はじめに

長手磁気記録の高密度化を妨げている大きな原因は自己減磁と記録減磁である。これらから解放される記録方式として誕生した垂直磁気記録は、原理的に超高密度記録 (1 Gbit/mm²) が可能であるが、現在はまだその千分の一程度しか達成されていない¹⁾。筆者らは、この原因および解決策を探るため、磁気記録の計算機シミュレーション解析を行ってきた^{2),3)}。その中で、超高密度化の鍵を握る一つの大きな要因は、これまでほとんど議論されることのない媒体の H_k 分布 (媒体内磁性微粒子の異方性磁界 H_k の統計分布) であることを見いだした⁴⁾。また、 H_k 分布は M-H マイナー曲線から実測されるパラメータ ΔH_c により簡単に推定できることも報告した⁵⁾。

ここでは、 H_k 分布と高密度特性の関係をさらに明確にするため、実際のさまざまな媒体の ΔH_c と他の磁気特性との関係、および ΔH_c から推定した媒体の H_k 分布幅と記録再生特性との関連を調べた結果について報告する。

2. H_k 分布

2.1 ΔH_c の定義

H_k 分布とは、媒体内磁性微粒子の形状や結晶性が一様でないため生じる粒子の異方性磁界 H_k のばらつきを表すパラメータであり、媒体全域の粒子を母集団とする H_k の統計分布あるいは確率分布である。 H_k 分布の分布幅が変わると、Fig. 1 のように磁化容易方向 M-H ループの傾きが変化し、分布幅が広いほど傾きは大きくなる。

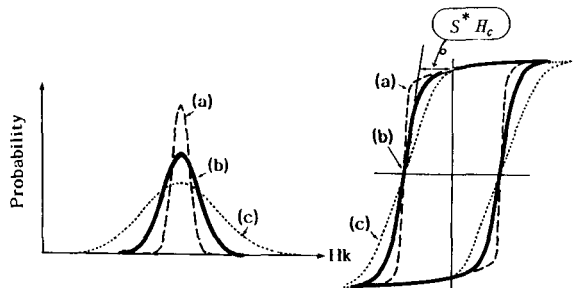


Fig. 1 Changes of M-H loops which depends on distributions of particle's anisotropy field H_k in recording media.

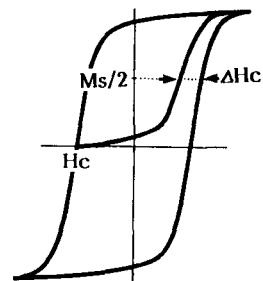


Fig. 2 Definition of a new parameter ΔH_c which means a width of the particle's critical field H_c distribution.

る。従来、この傾きの割合は、抗磁力角型比 S^* や反転磁界分布の半値幅 SFD などにより表されてきた。したがって、これらから H_k 分布幅の推定が可能であるが、Co-Cr 膜のような垂直磁化媒体では、磁化容易方向が垂直方向となるために、反磁界の影響でループが傾き、 S^* や SFD の正確な測定が困難であった。

これに対して筆者らは、 H_k 分布を正規分布で近似すれば、新しいパラメータである ΔH_c を用いて、垂直媒体でも反磁界補正なしに H_k 分布幅が推定できることを報告した⁵⁾。 ΔH_c は、Fig. 2 に示すように、磁化容易方向メジャーリングと、抗磁力 H_c から反転させたマイナー曲線との間の、 $M_s/2$ における磁界の幅である。

H_k 分布を正規分布で近似すると、 ΔH_c から、その標準偏差 σ_{hk} は次式で算出できる⁴⁾。

$$\sigma_{hk} = \Delta H_c / 1.35 k \cdot H_c / H_c \quad (1)$$

ここで、 H_k は M-H 曲線などから測定される媒体全体についての平均の異方性磁界、また、 k は次に述べる粒子配向分布の補正係数である。

媒体に一樣な反磁界が加わっていても ΔH_c の値に変化はない。しかし、媒体内磁性粒子の配向が悪いと理想的な配向のときの値 ΔH_{c0} からずれる。すなわち、配向が悪いと見掛け上 ΔH_c は大きくなる。この補正係数 k

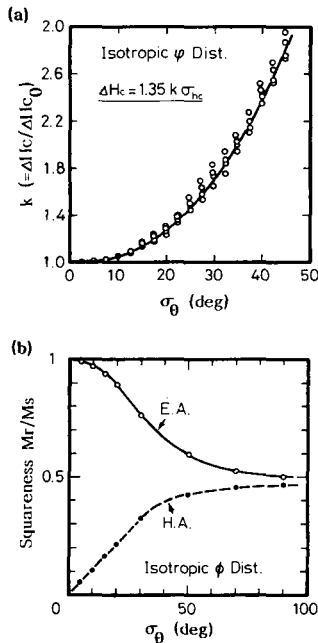


Fig. 3 (a) Compensation coefficient k of the ΔH_c versus standard deviation σ_θ of the particle orientation distribution. (b) Squareness in easy and hard axis directions versus standard deviation σ_θ .

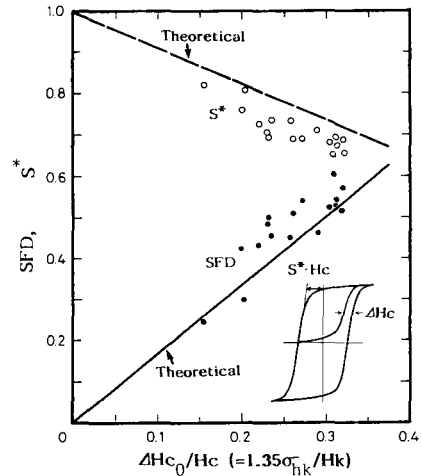


Fig. 4 Coercivity squareness S^* and half-width of switching field distribution SFD versus the ΔH_c compensated for the particle orientation distribution.

($=\Delta H_c/\Delta H_{c0}$) は、正規分布で近似した粒子配向分布の標準偏差 σ_θ と Fig. 3(a) に示す関係があり、 σ_θ がわかれば補正できる。 σ_θ は、磁化容易方向あるいは困難方向 M-Hループの角型比がわかれば Fig. 3(b) から推定できる。

2.2 S^* および SFD との関係

Fig. 4 は、反磁界の影響のないさまざまな塗布型長手媒体について、抗磁力角型比 S^* (H_c における接線が M_c と同じ値になる磁界強度と H_c との比) および反転磁界分布の半値幅 SFD (メジャーリングの微分から得られる微係数分布曲線の H_c 付近での半値幅) と、 ΔH_c の関係を調べたものである。塗布型媒体の粒子配向は理想的な状態と比べるとかなり悪いので、配向分布の影響を 2.1 の方法で補正し、横軸は ΔH_{c0} と H_c との比で与えている。これは、(1) 式により $1.35 \sigma_{hk}/H_k$ に相当する。 $\Delta H_{c0}/H_c$ の大きさは主に磁性微粒子の種類により異なり、Ba-ferrite 塗布テープでは 0.2 以下、Co- γ -Fe₂O₃ では 0.2~0.3、そして Metal では 0.3 以上であった。白丸 \circ および黒丸 \bullet で示す実測値は、理想的な粒子配向を仮定した理論直線 (破線および実線) と良く一致しており、 ΔH_c は S^* や SFD と強い相関があることを示している。また、 ΔH_c が小さくなると SFD も小さくなり S^* は 1 に近づくことから、 H_k 分布幅が狭いほど磁化転移幅も狭くなり、高密度特性が向上することも予想させる。

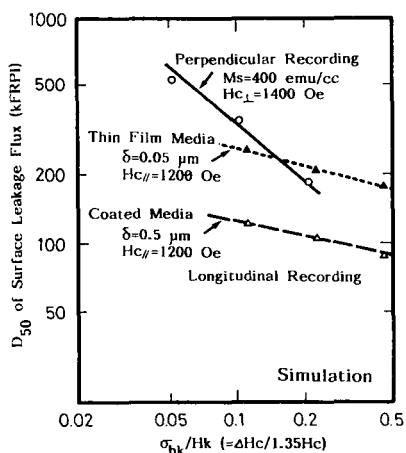


Fig. 5 Half-amplitude-density D_{50} on the recording density response of surface leakage flux density versus standard deviation σ_{hk} of the anisotropy field H_k distribution.

3. 高密度特性

3.1 シミュレーション

Fig. 5 は、垂直および長手磁気記録の計算機シミュレーションから求めた漏れ磁束の D_{50} と、媒体 H_k 分布の標準偏差 σ_{hk} の関係を示したものである。漏れ磁束の D_{50} とは、磁気ヘッドが十分遠ざかった残留状態での媒体表面漏れ磁束密度のピーク値 B_n を各記録密度で求め、これが孤立磁化転移のときの半分の大きさになる記録密度である。通常用いられる再生電圧の D_{50} と異なり、スペーシング損失やギャップ損失およびヘッドの再生効率などの影響を受けないため、これらが異なる垂直記録と長手記録の間でも、媒体記録分解能の定量的な比較が可能である。

H_k 分布幅が狭いと高密度特性は向上することが予想される。しかし、長手記録のシミュレーションでは、Fig. 5 に点線および破線で示すように σ_{hk} を小さくしても漏れ磁束の D_{50} はあまり増大しない。これは、 H_k 分布が急峻で孤立転移時の磁化転移幅が狭くても、記録密度が高くなるに依り反磁界による自己減磁作用が H_k 分布幅に関係なく働き、磁化が減衰するためである。実験においても、 S^* (すなわち H_k 分布) が変化しても D_{50} はほとんど変わらないことが、すでに青山らにより報告されている⁶⁾。破線で示す塗布型媒体 (媒体膜厚 $\delta=0.5\mu\text{m}$) と点線の薄膜媒体 ($\delta=500\text{\AA}$) との差が大きいことから、 H_k 分布を急峻にするよりも媒体の薄膜化、あるいは高抗磁力化の方が、長手記録の高密度特性の向上に寄与す

ることがわかる。

これに対して垂直記録では高密度ほど反磁界が弱いので、Fig. 5 に実線で示すように、漏れ磁束の D_{50} は H_k 分布幅が狭くなるに依りほぼ反比例して増大する。同様の結果は、垂直配向した塗布型媒体とリングヘッドの組合せを仮定したシミュレーション解析でも得られている³⁾。

3.2 実測

H_k 分布は媒体内磁性微粒子の欠陥が少なく形状や大きさが揃っているとき急峻になると考えられる。c 軸の垂直配向性が良い Co-Cr 膜の場合、柱状粒子の結晶性が良く格子欠陥が少ないと X 線回折パターンから得られる hcp(002) 面の回折線ピーク強度が強くなる。このピーク強度と ΔH_c の関係を調べたものが Fig. 6 である。 $\Delta H_c/H_c$ が小さいほどピーク強度は強くなるようすが明確に示されている。このことから、Co-Cr 膜の H_k 分布幅は膜の結晶性に強く依存し、結晶性が良ければ 0.1 より小さい $\Delta H_c/H_c$ の膜も作成できることがわかる。Fig. 6 でプロット点のばらつきがやや大きいのは、ロックングカーブの半値幅 $\Delta\theta_{50}$ や結晶粒径が、試料により多少異なる ($\Delta\theta_{50}$ は 5.5~8.5 deg, 粒径は 195~240 \AA) ためである。

Fig. 7 は、基板にバイアス電圧を加えたバイアス・スパッタ⁷⁾により作成した Co-Cr 膜と、 M_s や H_c などの磁気特性がほぼ等しい通常のスパッタで作成した膜の、(a) M-H 曲線および (b) 記録密度特性を測定したものである⁸⁾。通常のスパッタで作成した膜の ΔH_c が 215 Oe で

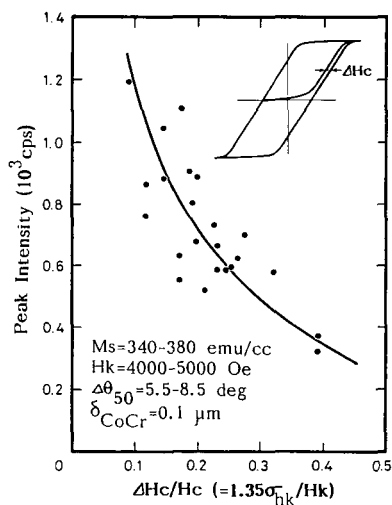


Fig. 6 Peak intensity of X-ray diffraction pattern versus the ΔH_c of Co-Cr sputtered media.

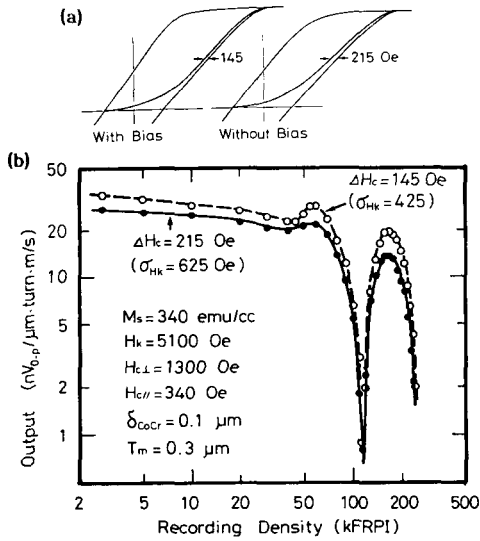


Fig. 7 (a) M-H loops and (b) recording density responses for Co-Cr media sputter-deposited with or without bias voltage for the substrate.

あるのに対して、バイアス・スパッタで作成した膜は結晶性が良くなり 145 Oe と狭くなっている。 H_k 分布の標準偏差 σ_{hk} を推定すると、それぞれ 625 Oe, 425 Oe であり、 σ_{hk} の小さい媒体の方が大きい方と比べてセカンド・ピーク出力でも約 1.5 倍大きい。

H_k 分布幅と高密度特性の関係をさらに定量的に調べるため、さまざまな Co-Cr 二層膜媒体について ΔH_c と

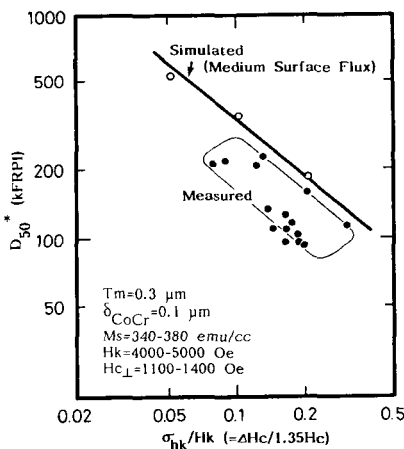


Fig. 8 Compensated half-amplitude-density D_{50}^* for the main-pole thickness loss versus standard deviation σ_{hk} of the H_k distribution.

D_{50}^* を測定し、Fig. 8 に黒丸・でプロットした。ここで、 D_{50}^* は主磁極厚み損失の影響を補正するため導入したパラメータであり⁹⁾、複数のディップ点を持つ記録密度特性曲線の極大値を結んだ包絡線上で、出力が低密度での値の半分になる記録密度 D_{50} である。また、同図中の実線は、シミュレーションにより得られた漏れ磁束の D_{50} (Fig. 5 参照) である。シミュレーションの D_{50} は媒体表面での漏れ磁束から求めるのでスペーシング損失の影響は全くないが、実測の D_{50}^* ではその影響が無視できない。このため、実測値はシミュレーション値より全体に小さいが、 ΔH_c すなわち σ_{hk} に対する傾向は計算値と良く一致しており、 H_k 分布を急峻にすることにより D_{50}^* は更に向上すると期待される。

4. まとめ

M-H マイナー曲線上のパラメータ ΔH_c は、抗磁力角型比 S^* や反転磁界分布の半値幅 SFD と強い相関関係がある。反磁界補正の必要がないので、記録媒体の H_k 分布幅を精度良く推定でき、高密度記録特性も評価できる。今回行ったシミュレーションおよび実験により、長手磁気記録では高密度特性の H_k 分布幅依存性はあまり大きくないが、高密度域での自己減磁作用が小さい垂直記録ではその影響が顕著に現れ、 H_k 分布幅が狭いほど高密度特性は向上することが明らかになった。

ΔH_c から推定した Ba-ferrite 塗布型媒体の H_k 分布は、Metal などの塗布媒体と比べると非常に急峻であり、これが Ba-ferrite 垂直媒体の優れた記録特性を引き出している。しかし、Co-Cr スパッタ膜などの H_k 分布幅はそれ以上に狭く、膜の結晶性の改善などによりさらなる H_k 分布の急峻化、すなわち高密度化が期待される。

文献

- 1) 中村慶久: 応用磁気学会誌, **14**, 593 (1990).
- 2) 田河育也, 中村慶久: 応用磁気学会誌, **13**, 145 (1989).
- 3) 田河育也, 中村慶久: 応用磁気学会誌, **14**, 123 (1990).
- 4) 田河育也, 中村慶久: 電子情報通信学会技術報告, MR90-13 (1990).
- 5) 田河育也, 中村慶久: 電子情報通信学会春期全国大会, C-459 (1990).
- 6) 青山森繁, 田上勝通: 電子情報通信学会技術報告, MR81-20 (1981).
- 7) 石橋和夫, 西村俊一, 上田了章, 佐藤 浩, 内山洋一, 黄義明: 日本応用磁気学会誌, **14**, 69 (1990).
- 8) 田所 茂, 大内一弘, 中村慶久, 岩崎俊一: 電子情報通信学会技術報告, MR89-1 (1989).
- 9) 山本節夫, 中村慶久, 岩崎俊一: 応用磁気学会誌, **11**, 109 (1987).

1990年12月3日受理, 1991年2月28日採録