二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響

Effect of Medium Thickness in Perpendicular Magnetic Recording Using a Double-Layered Medium

佐々木 保・村岡裕明・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 (☎980-8577)

T. Sasaki, H. Muraoka, and Y. Nakamura

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ.,
2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577

The effect of the medium thickness in perpendicular magnetic recording on double-layered media is discussed. It was found that the thickness of the medium significantly affected the recording capability of the medium. By improving the coercivity of medium, we obtained high flux density on the surface of a comparatively thick medium.

Key words: perpendicular magnetic recording, double-layered medium, medium thickness

1. はじめに

垂直磁気記録においては、単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせが最も理想的であると考えられており、これまでその検討が行われてきた。しかしながら近年、再生ヘッドがMRヘッドへと移行したことで、記録ヘッドを独立して最適化することが可能になったことや、媒体ノイズの低減が最も重要な課題になるなど、二層膜媒体系においてもヘッドディスク系の設計指針の見直しが必要になってきている。

特に、媒体膜厚は二層膜系においても重要なパラメータであり、ヘッド側の記録性能を含めて得られる記録特性を規定することが知られている。

そこで今回は、二層膜媒体系における媒体厚みの影響に着目し、コンピュータシミュレーションにより、媒体厚みが媒体の記録分解能に及ぼす影響を検討したので、その結果について報告する。

2. 計算方法

コンピュータシミュレーションには、二次元有限要素法を用い、媒体磁化モデルとしてCurlingモードの微粒子磁化反転モデルを組み込んだシミュレータ¹⁾を用いた。二次元計算であるためトラック幅は無限大の場合に相当するが、ある程度の有限トラック幅であればその中心付近の特性をシミュレートできるものと考えている。

今回はヘッド媒体系として単磁極ヘッド/二層膜媒体系を検討したが、その計算に用いた記録層の磁気特性に関するパラメータをTable 1に示す。ここで ΔH_c の定義をFig. 1に示す。一度正に飽和させた後に負の保磁力点まで反転させ、その後再び正の磁界を印加した際に飽和磁化の1/2を与える点の磁界とメジャーラープ上の点との距離により定義する。このようにすることで、同図中に示すように保磁力分散の標準偏差が推定できる。異方性磁界分布は正規分布で近似しており、こ

Table 1 Parameters of the medium used in the simulation

M_s [emu/cc]	460
H_c [Oe]	1500
H_k [Oe]	5000
$\Delta H_c / H_c$	0.14
σ_{hk} / H_k	0.1

こでの値は保磁力分散 $\Delta H_c / H_c$ から推定した値である。

3. ヘッド磁界分布

単磁極ヘッド/二層膜媒体系においては、媒体厚みが異なると主磁極と軟磁性裏打ち層の距離が変化するので、主磁極と裏打ち層との相互作用も変化しその結果としてヘッド磁界分布の様式も変わる。そこで、記録過程をシミュレートする前にヘッド磁界分布の計算を行い媒体厚みによる違いを検討した。

特に、後述するように記録過程においてはヘッド磁界勾配が記録分解能に重要な役割を果たすのでこのパラメータに注目した。

Fig. 1 Definition of the parameter ΔH_c .

Fig. 2 Dependence of the head field gradient on the medium thickness.

ヘッド磁界 H_y の勾配の媒体厚み依存性を Fig. 2 に示す。ここでは媒体磁化の影響を無視しており、記録層の中央部分に最大で約 5000 Oe の磁界強度になるように励磁した場合を考えている。この際に現状の垂直媒体の典型的な保磁力である 1500 Oe の位置での磁界勾配の値を同図にプロットしている。主磁極の厚みは $0.2 \mu\text{m}$ 、スペーシングは 20 nm に設定した。なお、媒体厚みは 10 nm から 250 nm まで変化させた。

媒体を厚くすると主磁極先端と裏打ち層との距離が離れることによって磁気的な結合が弱まり、ヘッド磁界分布が緩やかな、すなわち磁界勾配が小さくなることがわかる。

4. 媒体の記録分解能

次に孤立転移を記録した際の媒体中の残留磁化分布 M_y を計算し、その結果から磁化転移幅を求めた。Fig. 3 には、磁化転移幅の定義を示す。転移から十分離れた位置での負の残留磁化の $1/2$ と正の残留磁化の $1/2$ の間の距離のさらに $1/2$ を磁化転移幅と定義した。これは従来の逆正接型近似の転移長パラメータ a に相当するものである。

磁化転移幅の媒体厚み依存性を Fig. 4 に示す。100 nm 以上の記録層は厚み方向に 50 nm ごとに分けて計算しており、各層での磁化転移幅を求めてその平均値を図にプロットした。主磁極の厚みとスペーシングはヘッド磁界分布の計算時と同じであり、主磁極厚みは $0.2 \mu\text{m}$ 、スペーシングは 20 nm である。媒体を厚くするとヘッド磁界分布は緩やかになり、その結果磁化転移幅が広がることがわかる。

次に、磁界表面での漏洩磁界の媒体厚み依存性を調べた。その結果を Fig. 5 に示す。漏洩磁界は媒体表面から 10 nm 上での値である。ここでは低密度として孤立転位、高密度として 100, 200, 400 kFRPI の計算を行った。漏洩磁界は低密度においては媒体を厚くするにつれて単調に強くなるが、50 nm を超える厚みでは飽和する傾向がある。

高密度においては媒体厚みが過大な場合磁界強度が減少しているが、これは先に述べた磁化転移幅の広がりによるものであ

Fig. 3 Definition of the isolated transition length.

Fig. 4 Dependence of the transition length on the medium thickness.

る。すなわち、広い磁化転移幅では高密度でビット間の干渉により媒体内残留磁化が減衰するので、漏洩磁界も減少する。また、この磁化転移幅の広がりにはヘッド磁界分布の広がりによるものなので、媒体記録分解能における媒体厚みの最適値はヘッド磁界分布の急峻さに依存する。

この媒体表面漏洩磁界と再生出力との関係を Fig. 6 に示す。再生ヘッドには MR ヘッドを想定して、媒体磁化分布に相反定理を適用して求めた。ここで MR ヘッドの感度関数は MR 素子の近傍に仮想コイルを配置し、励磁した際に発生する磁界を有限要素法で求めて用いている²⁾。シールドギャップ長は $0.1 \mu\text{m}$ 、スペーシングは 50 nm に設定した。Fig. 6 から媒体表面漏洩磁界と再生出力の間には強い相関関係があることがわかる。すなわち、媒体表面漏洩磁界が強いほど再生出力も高くなる。

高密度において、媒体をあまり厚くすると漏洩磁界が弱くなることが示されたが、より強い漏洩磁界が得られれば都合である。このためにヘッドの記録能力、すなわち主磁極膜を厚く

Fig. 5 Dependence of the surface flux density on the medium thickness.

Fig. 7 Effect of a thicker main pole on the surface flux density.

Fig. 6 Dependence of the output voltage on the medium thickness.

Fig. 8 Effect of high coercivity and a small coercivity distribution on the surface flux density.

して軟磁性裏打ち層との相対距離を縮めて見かけの磁界勾配を大きくしたときの効果を検討した。この結果を Fig. 7 に示す。主磁極の厚みを 2 倍の $0.4 \mu\text{m}$ にしたときの結果と前の結果とを記録密度 200 kFRPI において比較している。

ヘッドの記録磁界勾配を大きくすることによって漏洩磁界が若干強くなっているが、全体の傾向は変わっておらず、高密度においては媒体厚みを大きくすることはあまり意味がないことがわかる。

一方、媒体の磁気特性を改善した効果を Fig. 8 に示す。ここでは保磁力を高くして分散を小さくした。特に保磁力の低分散化は従来、垂直二層膜媒体の高密度化に最も必要な条件と考えられているものである³⁾。保磁力を 2000 Oe、保磁力分散を 0.1 にしたときの結果と前の結果とを記録密度 400 kFRPI において比較している。また、保磁力のみを変えた結果も示す。同図に示すとおり 400 kFRPI での出力増加は保磁力増加の寄与が大きい。

前の結果では媒体厚み 25 nm 付近で最大であったのが、保磁力を増加させた場合は媒体厚み 50 nm 付近で最大となっており、二層膜媒体を用いる垂直磁気記録では、このような高密度でも比較的厚い媒体において高い再生出力が得られることが確認できた。

5. ま と め

二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響を媒体の記録分解能の観点から検討した。その結果、媒体厚みの最適値はヘッド磁界分布の急峻さに依存していることがわかった。また、ヘッドの記録能力の改善効果、すなわち主磁極膜を厚くする効果は媒体厚みの影響に比べて小さいこと、さらに媒体保磁力を改善することにより、比較的厚い媒体においても高い漏洩磁界が得られることが確認できた。

文 献

- 1) Y. Nakamura and I. Tagawa: *IEEE Trans. Magn.*, 25, 4159 (1989).
- 2) 村岡裕明, 中村慶久: 日本応用磁気学会誌, 21, 966 (1997).
- 3) 田河育也: 東北大学博士学位論文 (1991).

1997年10月28日受理, 1998年2月2日採録