シールド型 MR ヘッドの信号における SAL- M_s 依存性の数値解析

Numerical Analysis of the Amplitude and Asymmetry Dependences on the SAL M_s Value for a Shielded MR Head

内田 博・園部義明・池田圭宏・豊岡孝資

日本 IBM 東京基礎研究所, 大和市下鶴間 1623-14 (☎242)

H. Uchida, Y. Sonobe, Y. Ikeda, and T. Toyooka

Tokyo Research Laboratory, IBM Japan, Ltd., 1623-14 Shimo-tsuruma, Yamato-shi 242

The magnetization distributions for the magnetoresistive (MR) layer and the soft adjacent layer (SAL) in a shielded MR head were numerically analyzed by using the Landau-Lifshitz-Gilbert equation. The signal amplitude asymmetry (A_s) dependences on the bias current (I_b) and the saturation magnetization in the SAL (M_{sSAL}) were calculated to show that a symmetrical signal can be obtained for a certain I_b by optimizing the M_{sSAL} value. The signal sensitivity for zero A_s depends on the M_{sSAL} value, and a smaller M_{sSAL} value gives a higher signal sensitivity. For a large M_{sSAL} value, the SAL layer magnetization is changed by the medium stray field, which reduces the effective field in the MR layer and the signal sensitivity. When the magnetization in the SAL is in the vertical direction and that in the MR layer is in the 45-degree direction, the MR head shows the highest signal sensitivity and zero A_s .

Key words: MR head, SAL, signal amplitude asymmetry, signal sensitivity, numerical analysis

1. はじめに

磁気抵抗効果型ヘッド (MR ヘッド) は, その高出力, 高感度な電磁変換特性で近年のハードディスク装置の高密度化に大きな貢献をしている。MR ヘッドでは, ハードバイアス膜, ソフトバイアス膜 (SAL), バイアス電流などによる磁界のバランスが最適化されないと, 正と負の信号出力が非対称¹⁾になることが知られている。この出力非対称性を低減しないと信号処理回路などに大きな負担がかかる。この非対称性はマクロな量である $R-H$ 曲線を用いて説明されるが, 磁化分布などのミクロな量を用いた検討はこれまでされていない。そこで我々は, マイクロマグネティクスに基づく数値シミュレーターを用い, ミクロな磁化分布を検討することにより, ヘッド・パラメータの非対称性および出力感度への影響を調べた。今回, ヘッド出力非対称性のバイアス電流依存性に対する SAL の飽和磁束密度の影響を調べたので以下に報告する。

2. 計算モデル

本数値シミュレーションでは, Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式²⁾に基づき MR 膜および SAL の磁化分布を決定し, 得られた磁化分布より MR 膜の抵抗値を計算した。ヘッド出力の非対称性と出力感度は, 媒体からの漏洩磁束による抵抗

値変化から求めた。計算に用いた MR ヘッドの構造モデルを Fig. 1 に示す。このモデルは, MR 膜, 非磁性膜, SAL の三層から成るセンスエレメント, ハードバイアス膜, およびシールド層から構成される。MR エレメントのトラック幅および高さはそれぞれ $4.0\mu\text{m}$, $2.0\mu\text{m}$ とし, シールドギャップ長は $0.26\mu\text{m}$ とした。また, MR 膜の $4\pi M_{sSAL}$ 値は 10000 G とし, SAL の $4\pi M_{sSAL}$ 値を 4000 G から 10000 G までの範囲で変えた。MR ヘッドと記録媒体のパラメータは Table 1 に示す。

ハードバイアス磁界として, ハード膜端面の表面磁荷によって生じる静磁界, およびハード膜端面の磁化とのスピン相互作用によって生じる交換磁界を考慮した。すなわち, ハード膜の磁化はすべて x 軸に平行な向きに固定し, MR 膜端面および SAL 端面の磁化は自由に動けるとした。ハード膜と MR 膜およびハード膜と SAL の交換磁界は, それぞれ Table 1 に示す交換ステイフネス定数 (A) を用いて計算した。また, シールド効果³⁾は, 2枚の平行平板に映る鏡像として取り込んだ。ただし, 媒体からの漏洩磁界に対するシールドの効果は今回は考慮していない。

Talke-Tseng の式⁴⁾より求めた磁化転移幅を用い, 孤立磁化転移を $\arctan$ 型の関数で仮定し, 長手磁気記録媒体からの漏洩磁界を計算した。また, 記録されているトラック幅は $4.5\mu\text{m}$ とし, MR ヘッドはオントラックにあるものとした。

バイアス電流 (I_b) に関しては, 各層内で一様に流れると仮定してバイアス電流磁界を計算した。MR 膜の電流密度は, エレクトロマイグレーションの制限を考え, $2.5 \times 10^7\text{ A/cm}^2$ 程度までとした。そこで, I_b は 3.0 mA から 16.5 mA まで変化させた。

出力の非対称性 (A_s) は, 次式で定義する。

$$A_s = (V_p - V_n) / \text{Max}(V_p, V_n)$$

ただし, V_p, V_n はそれぞれ正と負の孤立磁化転移に対する信号出力の大きさである。また, ヘッドの出力感度とは, 信号出力をバイアス電流で割った値で, MR 膜の抵抗値変化である。

3. 結 果

3.1 最適バイアス電流の SAL- M_s 依存性

SAL の飽和磁束密度 ($4\pi M_{sSAL}$) が 10000 G と大きい場合の, MR 膜の磁化分布 (媒体からの磁束なし) のバイアス電流 (I_b) 依存性を Fig. 2 に示す。この図で矢印は MR 膜の磁化を表す。

Fig. 1 MR head model.

MR 膜の両側にはハード膜があり、膜の下側が ABS (Air Bearing Surface) 側にあたる。MR 膜の磁化の傾き θ は、Fig. 1 に示すように水平方向からの角度である。 I_b の増加に伴い、MR 膜中央部の磁化の傾き θ が増していく様子がわかる。非対称性 (A_s) は、 I_b が 3.0 mA, 7.5 mA, 16.5 mA と増加するのに伴い、+23%, 0%, -14% と変化した。 A_s がゼロとなる条件の Fig. 2(2) では、MR 膜中央部の磁化はほぼ 45° の方向に向く。

次に $4\pi M_{sSAL}$ が 4000 G と小さい場合における、 I_b に対する MR 膜の磁化分布を同様に Fig. 3 に示す。 I_b の増加に伴い MR 膜中央部の磁化の傾き θ が Fig. 2 と同様に増加していく様子がわかる。 $4\pi M_{sSAL}$ が小さいため、SAL からのバイアス磁界は小さく、同じ I_b でも磁化の傾き θ が小さいことがわかった。 A_s は、 I_b が 3.0 mA, 7.5 mA, 16.5 mA と増加するのに伴い、+44%, +27%, +11% と変化した。

これらの結果を Fig. 4 にまとめる。 $4\pi M_{sSAL}$ を小さくすると、非対称性がゼロになる I_b が高バイアス電流側にシフトしていくことがわかる。そしてこのグラフから、 I_b が 7.5 mA から 16.5 mA までの所定のバイアス電流において、 $4\pi M_{sSAL}$ の値を選ぶことにより A_s をゼロにできることがわかった。

Fig. 4 で A_s がほぼゼロであった条件における、MR ヘッドの出力感度と $4\pi M_{sSAL}$ との関係を Fig. 5 に示す。 $4\pi M_{sSAL}$ が小さくなるにつれて、出力感度が増加することがわかる。この原因を次の節で MR 膜と SAL の磁化分布から検討する。

3.2 非対称性ゼロにおける磁化分布

Fig. 5 で得られた出力感度の大きい場合と小さい場合について、MR 膜と SAL の磁化分布の差を調べた。 $4\pi M_{sSAL}$ が 6000

Table 1 Model parameters

Shield-shield gap : 0.26 μm	
Sensor height : 2.0 μm	
Track width : 4.0 μm	
MR:	Medium:
$4\pi M_s$: 10000 G	$M_r t$: 1.0×10^{-3} emu/cm ²
Hk : 4 Oe	t : 0.03 μm
A : 1.0×10^{-6} erg/cm	Hc : 2000 Oe
MR ratio : 2.5 %	
ρ : 27 $\mu\Omega\text{cm}$	Spacing : 0.1 μm
t : 0.02 μm	
SAL:	
$4\pi M_s$: 4000 - 10000 G	
Hk : 4 Oe	
A : 1.0×10^{-6} erg/cm	
ρ : 54 $\mu\Omega\text{cm}$	
t : 0.02 μm	
Spacer:	
ρ : 180 $\mu\Omega\text{cm}$	
t : 0.02 μm	
Hard bias:	
Br : 7800 G	
t : 0.06 μm	

G, I_b が 16.5 mA の場合 (ケース A) と、10000 G, 7.5 mA の場合 (ケース B) を比較する。媒体からの磁束がない場合の MR 膜と SAL の磁化分布を、Fig. 6 の (A), (B) にそれぞれ示す。MR 膜の磁化分布に関しては二つのケースであまり差はなく、膜中央部の磁化はほぼ 45° を向いている。一方、SAL の磁化分布には大きな差がある。ケース A では SAL の磁化の傾き

Fig. 2 Bias current dependence of the magnetization distribution in the MR layer. The $4\pi M_s$ value in SAL is 10000 G.

Fig. 3 Bias current dependence of the magnetization distribution in the MR layer. The $4\pi M_s$ value in the SAL is 4000 G.

SAL- $4\pi M_s$ ★ 4000 ◆ 6000 ▲ 8000 ■ 10000

Fig. 4 MR signal amplitude asymmetry dependence on the bias current.

θ はほぼ 90° であるのに対し、ケース B ではほぼ 55° である。これは前者では $4\pi M_{sSAL}$ が小さいため磁化がほぼ 90° 向かなければ、MR 膜の磁化を 45° にするのに必要なバイアス磁界を得られないのに対し、後者では $4\pi M_{sSAL}$ が大きいいため磁化が斜めに向いていても必要なバイアス磁界を発生させることができるためである。

次に正の孤立磁化転移からの上向き漏洩磁界による、MR 膜と SAL の磁化分布の変化を Fig. 7 の (A), (B) にそれぞれ示す。この図で、矢印の長さは Fig. 6(A), (B) からの変化の大きさに比例させた。ケース A では漏洩磁界により SAL の磁化分布が

Fig. 5 MR signal sensitivity dependence on the SAL- $4\pi M_s$ value for zero signal amplitude asymmetry.

変化している領域は狭いのに対し、ケース B では SAL の磁化分布が ABS 側の広い領域で変化していることがわかった。また、MR 膜においてケース A の方が磁化分布の変化が大きいこともわかった。ケース A では SAL の磁化分布変化は小さく、媒体からの漏洩磁界がそのまま MR 膜への実効磁界になる。これに対して、ケース B では SAL の磁化が上向きに大きく変化するため、MR 膜への下向きのバイアス磁界が増え、それが上向きの漏洩磁界と相殺することにより MR 膜への実効磁界がその分減少する。この結果、ケース A の方がケース B に比べて抵抗値変化が大きいことになる。これを検証するために、SAL の磁化分布を Fig. 6(B) の磁化分布に固定しておいて、MR 膜の磁化変化のみを計算して出力感度を求めると、出力感度はほぼケース A の値に等しかった。

以上の数値シミュレーションの結果から、漏洩磁界による SAL の磁化分布変化が小さい条件では、例えば SAL を垂直方向に飽和させて使う場合には、そうでない場合と比較して出力感度が改善されることがわかった。

4. まとめ

MR ヘッド信号の非対称性に対するバイアス電流 (I_b) と SAL の飽和磁束密度 ($4\pi M_{sSAL}$) の依存性を数値シミュレーションにより検討した。 $4\pi M_{sSAL}$ を小さくすると SAL からのバイアス磁界が小さくなるため、非対称性 (A_s) がゼロになる I_b が高バイアス電流側にシフトする。これを利用して、 $4\pi M_{sSAL}$ を最適化することにより所定の I_b において非対称性をゼロにできる。また、 A_s をゼロとする I_b の条件でヘッド出力感度が、SAL の磁化の傾き θ に依存することと、SAL を垂直方向に飽和させて使うことにより向上できることがわかった。これは、SAL が飽和していない場合、媒体からの漏洩磁界により SAL の磁化が MR 膜の磁化変化と同じ方向に変化し、漏洩磁界と逆向きの SAL バイアス磁界が増えるため、MR 膜への実効磁界

SAL layer

MR layer

(A) 6000 G, 16.5 mA.

SAL layer

MR layer

(B) 10000 G, 7.5 mA.

Fig. 6 Magnetization distributions in the MR layer and the SAL for zero signal amplitude asymmetry.

が減少することによる。この結果から MR ヘッドの設計において、SAL の磁化分布を考慮することにより、出力感度向上を図れることがわかった。

文 献

- 1) J. S. Feng, J. Tippner, B. G. Kinney, J. H. Lee, R. L. Smith, and C. Chue: *IEEE Trans. Magn.*, **27**, 4701 (1991).

SAL layer

MR layer

(A) 6000 G, 16.5 mA.

SAL layer

MR layer

(B) 10000 G, 7.5 mA.

Fig. 7 Difference between the magnetization distributions in the MR layer and the SAL with the medium stray field.

- 2) Y. Nakatani, Y. Uesaka, and N. Hayashi: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, 2485 (1989).
- 3) 菊地慶子, 小林俊雄, 川井哲郎, 佐久間昭正, 品川公成: 第 18 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 多賀城, 1994, p. 12aG-8 (日本応用磁気学会, 東京, 1994).
- 4) F. E. Talke and R. C. Tseng: *IBM J. Res. Dev.*, **19**, 591 (1975).

1995 年 10 月 16 日受理, 1996 年 1 月 12 日採録