Dependence of SPT Head Field Strength on Soft-Under Layer Thickness

T. Miyata and K. Yoshida

Kogakuin University, 1-24-2 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8677, Japan

We investigated the relationships between the head field strength and the time response of a single-pole-type head and the thickness of its soft under layer, using a micromagnetic simulator that takes into account the full interactions between SPT head and a double-layered medium. The results obtained showed that the head field strength is dramatically enhanced by a very thin soft under layer of 20 nm and that it saturates with a relatively thin layer of 60 nm. Moreover, the delay time and the response of the head field to the exciting field increase with a thicker soft under layer.

Key words: micromagnetics, single-pole-type head, soft under layer, track width, perpendicular magnetic recording

SPT ヘッド磁界強度の軟磁性下地膜厚依存性

宮田亮・吉田和悦

工学院大学電子工学科, 東京都新宿区西新宿 1-24-2 (〒163-8677)

1. はじめに

垂直磁気記録方式の実用化が推し進められており, その製品化も始まりつつある. 垂直磁気記録では, 200 Gb/in²以上の面記録密度を達成することが期待されており, 将来的には 1 Tb/in²の面記録密度も視野に入ろうとしている. このような高記録密度では, 記録ヘッドである単磁極 (Single-Pole-Type; SPT) ヘッドのメインポール先端のトラック幅を 100 nm以下とする必要がある. 一方, 記録媒体の磁気異方性定数は熱揺らぎの問題を克服するため増大し続けており, メインポールの微細化とより強い記録磁界を発生させるという, 相反する条件を満たすことが要求されている. 更に, 線記録密度向上に伴う高速転送に対応して, 記録ヘッド磁界の素早い応答性が求められる. すでに, 軟磁性下地膜 (Soft-Under Layer; SUL) 厚とメインポールの寸法変化による磁界強度¹⁾やSPTヘッドと2層膜媒体の各部による磁界応答²⁾, 励磁パルス, LLG方程式の制動定数による磁界応答の研究報告がある³⁾. しかし, これらの報告では検討対象が磁界強度か磁界応答のいずれかの問題に絞られており, 両者の項目の相互関係については述べられていない. そこで本報告では, 先に開発したマイクロマグネティックモデルをベースとしたSPTヘッドシミュレータを用いて^{4), 5)}, メインポールの寸法が小さくなったときの磁界強度および磁界応答性の両者に注目し, これらの特性が媒体下地膜の厚さやポール厚さによってどのような影響を受ける

Fig. 1 Schematic model of the SPT head and double-layered medium.

か検討したものである. 本研究により, 2層膜媒体のSUL厚が非常に薄くても, SPTヘッドの磁界を大幅に向上させる効果があるが, 厚すぎるとヘッド磁界の応答性が悪くなるなどの結果が得られた.

2. 計算方法

2.1 計算モデル

Fig.1に計算モデルを示す. 左図はトラック幅方向から見た鳥瞰図であり, 右図はトラック方向から見た断面図となっている. SPTヘッドと二層膜媒体を一辺 20 nm の立方体

で離散化し Landau-Lifshitz-Gilbert(LLG)方程式で磁化挙動を計算した。磁界はヘッドと媒体の静磁氣的相互作用を厳密に計算した。メインポールからの磁界と媒体からの磁界をメインポール先端の平面領域で平均化し足し合わせて記録磁界とした。観察面はヘッドの表面から 7.5 nm の位置とした。ヘッドと媒体のスペーシングは 15 nm であり記録層の中心位置(25 nm)での記録磁界は、この観察面における磁界強度と比較すると約 10%減少することが推定された。媒体は記録層(Recording Layer ; RL)の直下部に SUL を配置した二層膜媒体で、トラック方向 2560 nm、トラック幅方向 1280 nm とし、膜厚は RL を 20 nm と一定にし、SUL を 0~200 nm の範囲で変化させた。

2.2 計算条件

シミュレーションに用いた SPT ヘッドと RL, SUL の主なパラメータを Table 1 に示す。SPT ヘッドの磁化容易軸はトラック幅方向 Y に優先配向させた。SPT ヘッドと SUL の初期磁化方向は、それぞれ高さ-Z 方向とトラック方向+X とした。実際の SPT ヘッドでは Fig.1 の Excited region にコイルを巻き電流を流すことで励磁するが、本シミュレーションではこの領域に様な磁界を印加することで近似した。Fig.2 に Excited region での励磁方法を示す。励磁磁界を -500 kA/m から +500 kA/m まで、立ち上がり時間 0.4 ns で直線的に変化させ、0.4 ns 以降 1.6 ns まで +500 kA/m を保持した。本条件では励磁磁界が約 600 kA/m で記録磁界が飽和するため、本計算条件では飽和値よりやや低い値となっている。

本研究での計算目的は記録磁界の強度と応答性に対するメインポール厚と SUL 膜厚の依存性を調べることである。そこで Table 2 に示したように、メインポールのトラック幅と SUL の膜厚を 100 nm 一定とし、メインポール厚を 80 nm~200 nm まで変化させメインポール厚依存性を調べた。次に、二種類のメインポール形状について SUL の膜厚を

Table 1 Calculation conditions for the SPT head and double-layered medium.

Items	SPT head	RL	SUL
<i>Geometry</i>			
Total length (nm)	600	2560	2560
Total width (nm)	1020	1280	1280
Total height (nm)	800	20	0-200
Throat height (nm)	100	...	...
<i>Magnetic properties</i>			
K (J/m ³)	3×10^3	1.5×10^5	3×10^3
A (J/m)	1×10^{-11}	0	1×10^{-11}
M_s (Wb/m ²)	2	0.6	1.8
Exciting field (kA/m)	500	...	...
Initial magnetization	-Z-direction	...	X-direction
Easy axis orientation	Y-direction	Z-direction	Y-direction

K : Anisotropy, A : Exchange constant,

M_s : Saturation magnetization

Fig. 2 Exciting field as a function of time.

Table 2 Calculation conditions for the main pole and SUL.

Main pole		SUL	Damping constant
Track width (nm)	Pole thickness (nm)	Thickness (nm)	α
100	80	100	0.1
100	120	100	0.1
100	160	100	0.1
100	200	100	0.1
100	160	0, 20, 60, 100, 200	0.1
60	100	20, 60, 100	0.1

0~200 nmの間で変化させSUL膜厚依存性を調べた。LLG方程式に使う制動定数は $\alpha=0.1$ 、時間刻み幅 $\Delta T=1.0 \times 10^{-12}$ secとした。

3. 計算結果及び考察

3.1 メインポール厚依存性

Fig. 3 にメインポール厚をパラメータとして SPT ヘッドからの磁界と、二層膜媒体からの鏡像磁界を合わせた記録磁界強度の時間経過を示す。トラック幅と SUL 膜厚は 100 nm 一定とし、メインポール厚を 80 nm~200 nm と変化させている。ポール厚 80 nm(■)では 1.6 ns 経過後の記録磁界は 819 kA/m であるが、ポール厚 160 nm(△)では 916 kA/m となりポール厚が厚くなるにつれて暫増している。

Fig. 3 Dependence of the head field on the main pole thickness for a track width of 100 nm and an SUL thickness of 100 nm.

Fig. 4 Dependence of the head field and delay time on the main pole thickness for a track width of 100 nm and an SUL thickness of 100 nm.

一方、励磁磁界に対するヘッド磁界の応答性を、励磁磁界と記録磁界が零をよぎる時間差を遅れ時間と定義して評価すると、メインポール厚が変わってもヘッド磁界の遅れ時間に影響のないことがわかる。

なお記録磁界の立ち上がり時に現れる振動現象は LLG 方程式の制動定数 α に依存しており、 $\alpha=1.0$ においてはこの振動現象が見られないことを確認している。したがって、初期段階に現れる振動現象は α が小さい場合に強調される磁化の歳差運動と関係しているものと考えられる。

Fig.3 の結果を整理すると Fig.4 になる。Fig.4 の記録磁界は磁界が飽和した 1.6 ns 時の値でありメインポールからの磁界と媒体からの磁界を足し合わせたものである。図中に参考のためにメインポールからの磁界(■)と媒体(▲)からの磁界を別々に示した。Fig.4 からメインポール厚を厚くすると記録磁界は緩やかに上昇する。記録磁界をメインポールと媒体からの磁界に分解すると、媒体から得られる磁界は記録磁界の 1/3 となり、かなり大きく寄与している。また遅れ時間はポール厚 160 nm で少し増えるが全体としてポール厚に依存しないことがわかる。スキュー角のことを考えるとポール厚は薄いほうが好ましいため、記録磁界が 900 kA/m とほぼ飽和するポール厚 120 nm~160 nm が良いといえる。つまりポール厚はトラック幅の 1.2 倍~1.6 倍が好ましい。

3.2 SUL 膜厚依存性

Fig.5 にメインポールのトラック幅 100 nm, ポール厚 160 nm の一定条件において、SUL 膜厚を 0 nm~200 nm と変化させたときの記録磁界強度の時間経過を示す。Fig.5 から SUL 膜がない状態(▲)では媒体からの相互作用が得られず、記録磁界は 476 kA/m と非常に弱い。膜厚 20 nm の SUL(■)を設けるだけで記録磁界は 824 kA/m と大幅に増加する。さらに SUL 膜厚 60 nm(*)にすると記録磁界は 940 kA/m となり、それ以上厚くしてもあまり変化しない。

一方、記録磁界の遅れ時間は SUL 膜厚が厚くなるに従

Fig. 5 Dependence of the head field on the SUL thickness for a track width of 100 nm and a pole thickness of 160 nm.

Fig. 6 Dependence of the head field and delay time on the SUL thickness for a track width of 100 nm and a pole thickness of 160 nm.

Fig. 7 Dependence of the head field on the SUL thickness for a track width of 60 nm and a pole thickness of 100 nm.

い増えることから、応答性は悪くなることがわかる。Fig.6 は Fig.5 の結果を整理したものである。Fig.6 から SUL 膜厚を 60nm まで厚くするに従い記録磁界(◆)は大きく増加するが SUL 膜厚 60nm 以降 200nm まで厚くしても記録磁界の大きさに変化がないことがわかる。遅れ時間(□)は SUL 膜厚が厚くなるに従い一様に増え、SUL を設けなかった時

0.15ns であったのに対し、200 nm では 0.21 ns と応答性は悪くなることがわかった。以上の結果から記録磁界が飽和し、かつ遅れ時間が 0.19 ns と小さな値を示す SUL の膜厚 60 nm が最適であると考えられる。以上はトラック幅が 100 nm の場合の結果である。

記録密度を上げるにはメインポールのトラック幅をさらに狭くする必要がある。そこで、トラック幅 60 nm、ポール厚 100 nm とした場合の SUL 膜厚依存性について調べた。

Fig.7 はメインポールのトラック幅 60 nm、ポール厚 100 nm の一定条件において、SUL 膜厚を 20 nm~100 nm と変化させたときの記録磁界強度の時間経過を示す。SUL 膜厚 20 nm(*)では記録磁界は 772 kA/m であり、SUL 膜厚の増加とともに 60 nm(□)では記録磁界 827 kA/m と増大するが、それ以上厚くしてもほとんど変化しない。トラック幅 100 nm の場合と比較すると記録磁界は 12 %減少する。遅れ時間は先ほどと同様に SUL 膜厚が厚くなるに従い増えており、応答性は悪くなることが分かる。またトラック幅 100 nm の場合と比較しても遅れ時間に違いは見られなかった。このように応答性がメインポールの厚さより、SUL 膜厚に強く依存する理由として、SUL は体積が大きく必要以上の膜厚領域では十分に磁化することができないため複雑な磁化構造を形成し、磁界応答を妨げていると考えられる。

以上よりメインポールサイズをトラック幅 60 nm、ポール厚 100 nm と小さくした場合でも、SUL 膜厚 60 nm が最適であると考えられる。また応答性について考えると、SPT ヘッドの磁界応答性だけでなく、SUL の応答性も考慮すべき重要な要素であることが分かる。

応答性に関しては、他の研究報告では最大記録磁界の -90 % から +90 % まで変化するのに要する時間としたもの²⁾、励磁磁界を印加後、最大記録磁界の +85 % に達するまでの時間としたものがある³⁾。そこで、後者の定義に順じた応答性の評価を行い、本研究結果との比較を行った。

Fig.8 にメインポールのトラック幅 100 nm、ポール厚 160 nm(■)の場合と、トラック幅 60 nm、ポール厚 100 nm(*)の場合の二種類について、上記したように定義して、SUL膜厚依存性を示した。この結果からSULが無い場合、応答時間は 0.6 ns であるがSUL膜厚を 20 nm から 60 nm にすると応答が速くなり、それ以上の膜厚では応答時間が振動する複雑な挙動を示した。この定義で得られた応答時間 0.6 ns から 0.7 ns は、SUL膜厚は異なるものの、文献値²⁾、³⁾とほぼ一致するものである。しかし、SUL膜厚の変化による振動現象は報告されていない。この原因として、SUL内に形成される磁化分布が膜厚によって複雑に変化するためと考えられるが、今後の検討が必要である。

Fig. 8 Dependence of response time on SUL thickness. Response time is defined as the time until head field reaches 85 % of the maximum head field.

4. まとめ

マイクロマグネティックシミュレータを用いてメインポール厚と SUL 膜厚が記録磁界強度と磁界応答性に与える影響を調べた。その結果、本研究における計算条件においては、記録磁界強度はSUL膜厚 20 nm と非常に薄い条件においても、SPT ヘッドの記録磁界を大幅に増加させる効果をもち、60 nm でほぼ飽和することが分かった。また、メインポール厚はトラック幅の 1.2 倍から 1.6 倍が最適条件であることが分かった。

一方、磁界の応答性はポール厚にはほとんど依存せず、SUL 膜厚に依存することが分かった。これは、SUL は体積が大きく必要以上の膜厚領域では SPT ヘッドからの磁界強度が弱くなり、磁界応答性が悪くなるためと考えられる。

謝辞 本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構 (SRC) の支援によって行われた。ここに謝意を表します。

References

- 1) M. E. Schabes, B. Legsfield, and T. Schrefl, "Micromagnetic modeling of soft underlayer magnetization process and fields in perpendicular magnetic recording," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 38, no. 4, pp. 1670-1675, July 2002.
- 2) K. Takano, "Micromagnetic-FEM models of a perpendicular writer and reader," IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 2, pp. 696 - 701, Feb. 2005.
- 3) W. Scholz and S. Batra, "Micromagnetic modeling of head field rise time for high data-rate recording," IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 2, pp. 702-707, Feb. 2005.
- 4) K. Yoshida, A. Suzuki, H. Yanagihara: J. Magn. Magn. Mater., 287, 83 (2005).
- 5) K. Yoshida, A. Suzuki: Technical report of IEICE., MR2004-5, p.25.

2005 年 10 月 19 日受理, 2006 年 7 月 14 日採録