薄膜磁気ディスクの磁化反転遷移へのヘッド磁界、媒体特性の影響

Influence of Head Fields and Media Properties on Transitions of Magnetization Reversals on Thin Film Disk

飯塚雅博・金井 靖・畑内隆史・小西孝弘・武笠幸一*

アルプス電気(株)長岡工場, 長岡市東高見 1-3-5 (〒940)

*北海道大学工学部, 札幌市北区北 13 条西 8 (〒060)

M. Iizuka, Y. Kanai, T. Hatanai, T. Konishi and K. Mukasa*

Alps Electric Co., Ltd., 1-3-5 Higashitakami, Nagaoka 940

*Hokkaido University, Kita 13-Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060

This paper describes a relationship between transition lengths and head fields with media of various coercivities. The transition lengths were written by a single sided and a double sided MIG head on three thin film media which have the coercivity of 874, 1121 and 1270 Oe. The transition lengths were surveyed through the colloid SEM observation. The head fields of the MIG heads were analyzed by the finite-element method (FEM) with magnetic saturation taken into account. The following phenomena were found. First, the 2nd fields stray from saturated ferrite region near the interface between a metal film and ferrite core of the MIG head. Second, the transition lengths are spread by the influence of the 2nd field when the strength of the 2nd field is higher than a half of the media coercivity. On the other hand, if the media coercivity is two-times higher than the 2nd field strength, the transition length is strongly related to the field gradient of the primary field at the recording zones.

Key words: zig-zag transition, transition length, thin film media, MIG head, 2nd field, field gradient, colloid SEM method, the finite-element method

1. ま え が き

固定ディスク装置の記憶容量向上のために盛んに研究されている長手記録薄膜媒体では磁化反転が鋸歯状に入り組んだ遷移領域、いわゆるジグザグ遷移を形成することが知られている¹⁾。これに対し、線記録密度向上のためには狭小な遷移長すなわちジグザグ振幅の抑制、また狭トラックにおける S/N の確保と言う意味では、ジグザグ遷移の一様化が必要²⁾である。

筆者らは、ジグザグ遷移形成に対するヘッド磁界の影響を定量的に明らかにすることを試みてきた。遷移長が記録磁界勾配の 1/2 乗に反比例することを見だし、高

密度記録特性に優れる MIG、薄膜ヘッドではギャップ後縁で大きな記録磁界勾配が得られるために、ジグザグ遷移の振幅が小さい急峻な磁化反転が記録されることを報告してきた^{3)~5)}。これらの実験では同一の薄膜媒体を用い、ヘッド磁界の違いのみを検討対象としてきた。しかしながら、ジグザグ遷移長が媒体保磁力に反比例することが指摘されており⁶⁾、これまでの結果との関連を明らかにする必要がある。また、媒体はますます高保磁力化する傾向にあるが、そういう意味でも保磁力の違いによるヘッド磁界とジグザグ遷移のかかわり合いを明らかにすることは興味深い。

そこで本報告では、ジグザグ遷移と媒体保磁力、ヘッド磁界などの関係を検討した。また、MIG ヘッド特有の 2 次磁界現象についても知見を得たので報告する。

2. 実験方法

実験に用いた磁気ヘッドは、いわゆる C コアをトレリング (ギャップ後縁) 側としたミニモノリシックタイプの固定ディスク用 MIG ヘッドである。高飽和磁束密度 ($B_s = 10$ kG) のセンダスト膜を Mn-Zn フェライト ($B_s = 5.2$ kG) から成るコアのギャップ対向面両側に有するタイプ (D-MIG) とギャップ後縁側片面のみに配したものの (S-MIG) の 2 種類を用いた。仕様の詳細を Table 1 に示す。センダスト膜の膜厚、配置が異なるが、それ以外はほぼ同一の条件である。

媒体は、Table 2 に示す保磁力の異なる 3 種類の 3.5 インチ薄膜スパッタディスク、 $L-H_c$ 、 $M-H_c$ 、 $H-H_c$ を用いた。ここで、 $B_r \cdot \delta$ は記録時の反磁界を同一にするために同じ値に揃えた。角形比 (S)、保磁力角形比 (S^*) は、異方性分散の度合をおおまかに表す、すなわち磁性層結晶粒間の交換結合の度合をマクロに示すパラメーターの一つと考えられるため、この差による遷移構造の違いが大き

Table 1 Specifications of examined minimonolithic type MIG heads.

Head name	S-MIG	D-MIG
Head type	C-Single Sided	Double Sided
FeAlSi thicken. [μm]	3.0	1.5 X 2
Gap length [μm]	0.29	0.28
Gap depth [μm]	5.4	5.0
Track width [μm]	14.3	12.6
Flying height [μm]	0.2	0.2
Coil [turn]	19	19

Table 2 Specifications of the sputtered media.

Sample	Hc[Oe]	Bs $\cdot\delta$ [G $\cdot\mu\text{m}$]	Br $\cdot\delta$ [G $\cdot\mu\text{m}$]	S	S*
L-Hc	874	563	490	0.87	0.95
M-Hc	1121	561	492	0.88	0.96
H-Hc	1270	568	493	0.87	0.96

く現れないようにほぼ同一の値とした。

媒体はあらかじめ DC 消去し、孤立遷移を記録した。記録された遷移長は、ビットパターンを乾燥固着し、走査型電子顕微鏡 (SEM) により直接観察するコロイド SEM 法により求めた。ジグザグ遷移にはコロイド溶液中の磁性粉末が付着しないビットパターンが得られることが知られており¹⁾、筆者が早速でこの手法による実験結果を報告している^{3)~5)}。

さらに、これらの実験結果を解釈しヘッド開発の指針を明らかにするために、磁気飽和を考慮した 2 次元の非線形有限要素により、実験に供したヘッドの記録磁界を解析した。

3. 実験結果および考察

3.1 磁化反転遷移長

各媒体に S, D-MIG 両ヘッドにより起磁力 0.19~0.76 AT で記録した際の遷移長の変化を Fig. 1 に示す。S-MIG と M-H_c, H-H_c の高保磁力媒体との組み合わせでは、起磁力に対して遷移長がわずかず縮小し、以前に報告した MIG ヘッドの特長^{3)~5)}を示している。しかしながらそれ以外の場合には、起磁力の増加に対し遷移長が拡大している。M-H_c に D-MIG で記録した際には 0.76 AT で、L-H_c と D-MIG では約 0.6 AT で遷移が拡大しビットが消滅してしまう。さらに興味深いことに、L-H_c と D-MIG の場合には、遷移が消失するまでに拡大するだけでなく、その 0.6 AT を頂点に、それ以上の起磁力で再び遷移長が縮小している。

これらの現象は、ヘッドコアギャップ近傍の磁気飽和による記録磁界分布の広がり起因する磁界勾配の劣化や、それによる記録減磁によるものだけではない。起磁

Fig. 1 Zig-zag transition length vs. magnetomotive force of S and D-MIG head with three media coercivities.

力の増加に対し遷移長が拡大するだけでなく、いったん遷移が消失したものがさらに高起磁力で、より狭小な遷移が記録されることが説明できないからである。L-H_c に D-MIG で記録した場合に、遷移が消失した際には記録磁界分布が広がり著しくなだらかな磁界勾配となっていたものが、さらに起磁力を増すと再び磁界分布が急峻となり、より狭小な遷移が記録されたとは考えにくい。

そこで次節では、有限要素法による記録磁界解析により、これらの実験結果の解釈を試みる。

3.2 2 次磁界とその影響

S, D-MIG 両ヘッドを起磁力 0.76 AT で励磁した際の記録磁界分布を Fig. 2 に示す。横軸は、ギャップ中心からトレーリング側への位置を示す。いずれのヘッドもギャップ幅が約 0.5 μm であるから、横軸 0.25 μm の位置がギャップ後縁である。また、D-MIG はギャップ後縁側に 1.5 μm の金属膜を有するから、横軸 1.75 μm の位置が金属膜/フェライト界面に当たる。同様に S-MIG では、3.25 μm の位置が界面である。これらの位置関係に対し、ギャップからの漏れ磁界がギャップ後縁で最小の値となった後、金属膜/フェライト界面よりさらにトレーリング側数 μm に渡り第 2 の漏れ磁界の山、いわゆる 2 次磁界 (2nd field⁷⁾) が現れている。この 2 次磁界の発生は、狭小な疑似ギャップからの漏洩とするには、その分布がフェライト側に大きく広がりがすぎている。解析

Fig. 2 Head field distribution of the S- and D-MIG from the gap center to the trailing side.

モデルにも磁氣的に劣化した疑似ギャップは考慮していない。一方、Fig. 3 に示す 2 次磁界強度と主記録磁界強度の起磁力による変化によれば、S-MIG の 2 次磁界がフェライトが未飽和と思われる 0.4 AT 以下では発生していない。これらを考え合わせると、2 次磁界の発生原因は金属膜に集中する磁束により金属膜と接するフェライト部が飽和し、この部分より磁界が漏れ出ると考えられる。また D-MIG では、I コア側にも金属膜を有するため磁束がより多く集中し、フェライトの飽和が低起磁力においても起きる。このため Fig. 3 に示すように、2 次磁界が S-MIG より強く、かつ起磁力の増加に対し単調に増大し 1100 Oe を起える値に達する。

媒体は、ギャップより発生した主記録磁界を通過した後、この 2 次磁界にさらされることになる。Fig. 1 における遷移の拡大、消去等の現象を、この 2 次磁界の影響として以下のように考えられる。

Fig. 3 よれば、 $L-H_c$ に D-MIG で記録した際に遷移の消滅した 0.6 AT では、2 次磁界のピークが $L-H_c$ の保磁力と等しく、ここでの磁界勾配が 0 であるから、それにより遷移が消去されたと考えられる。さらにそれ以上の起磁力では、2 次磁界強度がその保磁力を越え単調に増加している。この時、 $L-H_c$ と D-MIG の実験結果において、より起磁力の大きい方が急峻な遷移が記録されたのは、2 次磁界後録側の媒体保磁力と等しい点でその磁界勾配に見合った遷移が記録されたものと解釈できる。同様に $M-H_c$ と D-MIG の組み合わせにおいても、遷移が

Fig. 3 Dependence of primary and secondary maximum field of the S- and D-MIG on magnetomotive force.

消滅した 0.76 AT では、2 次磁界が $M-H_c$ の保磁力に一致しておりこの点での消去効果と説明できる。

ところで、媒体の記録過程は、ヘッド磁界とそれにより発生した媒体磁化による反磁界との和によりセルフコンシステントに磁化される過程である。上述の結果では、ヘッド磁界（この場合 2 次磁界である）が媒体保磁力と等しいときに遷移が消去され、越えた時点で記録されている。すなわち、媒体磁化による反磁界が非常に小さく、薄膜媒体の記録磁界勾配として媒体保磁力と等しい強度での値を評価することが妥当であることを裏付けている。

Fig. 1, 3 によれば、D-MIG の 2 次磁界強度が 1100 Oe 程度のときにも、保磁力 1270 Oe の $H-H_c$ の遷移長が拡大する。同様に S-MIG では、2 次磁界が 450 Oe の時に保磁力 874 Oe の媒体の遷移長に影響を与えている。すなわち、記録磁化が媒体保磁力より小さい磁界に対しても影響を受けている。以上の結果より、2 次磁界の影響を避けるためには媒体保磁力を 2 次磁界強度の 2 倍以上とする必要があることがわかる。

3.3 媒体保磁力と遷移長

遷移長に対する媒体保磁力とヘッド磁界の影響を明らかにするために、2 次磁界強度が媒体保磁力の 1/2 を越えた書き込み条件であったものを除外し、遷移長と起磁

Fig. 4 Zig-zag transition length excluded the influence of secondary field vs. magnetomotive force of the S- and D-MIG with three media coercivities.

力の関係を Fig. 4 に示す。同図によれば、ヘッドによる差はなく、図中に実線で示したように各保磁力ごとに、ヘッド起磁力の増加に対して遷移長が単調に縮小する。また、いずれの起磁力においても媒体保磁力が大きいものほど遷移長が短い。このように、起磁力の増加に対し遷移長が縮小する点³⁾、遷移長が保磁力に反比例する点⁶⁾など、これまでの結果と良い対応を示している。

ところで、媒体保磁力と等しい記録磁界強度での磁界勾配が記録に関与していることを前節にて指摘した。したがって、遷移長の保磁力に対する依存性は、各媒体に対する記録磁界勾配の違いを反映していることも考えられる。そこで、記録磁界勾配に対する遷移長の変化を Fig. 5 に示す。また図中には、Williams-Comstock モデルより導出した遷移長⁸⁾を理論値として実線で示す。なお、この理論値は記録磁界勾配の 1/2 乗に反比例するものである³⁾。Fig. 5 より、遷移長は磁界勾配の 1/2 乗に反比例した理論値と良い一致を示しており、媒体保磁力による遷移長の違いは、記録磁界勾配に対する依存性として統一的に表されることがわかる。

4. ま と め

ギャップ後縁側のみセンダスト膜を有する S-MIG、および両面にセンダスト膜を有する D-MIG なる 2 種類の MIG ヘッドを用いて、保磁力が 874, 1121, 1270 Oe

Fig. 5 Dependence of zig-zag transition length excluded the influence of secondary field on field gradient.

の 3 種類の薄膜ディスクを用いて、ジグザグ遷移長と媒体保磁力、ヘッド磁界の関係を検討した。

その結果、MIG ヘッドにおける 2 次磁界の発生を見だし、その影響について定量的に議論した。また、遷移長の保磁力依存性は、記録磁界勾配の 1/2 乗に反比例するものとして統一的に表されることを見いだした。

最後に本研究を進めるに当たり有益な助言をいただいた、アルプス電気(株)長岡工場小田原勝夫統括部長、大西人司技術部長、ならびに解析計算にご協力いただいた高野弘恵氏に感謝いたします。

文 献

- 1) H. C. Tong, R. Ferrier, P. Chang, J. Tzen and K. L. Parker: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-20**, 1831 (1984).
- 2) N. R. Belk, P. K. George and G. S. Mowry: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 1350 (1985).
- 3) 飯塚雅博, 畑内隆史, 小西孝弘, 武笠幸一: 日本応用磁気学会誌, **14**, 115 (1990).
- 4) M. Iizuka, T. Hatanai, T. Konishi, S. Okitsu and K. Mukasa: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-26**, 1694 (1990).
- 5) 飯塚雅博, 畑内隆史, 小西孝弘, 興津淳, 武笠幸一: 信学会技術研究報告・電子部品材料研究会資料, **CPM 90-31**, 19 (1990).
- 6) 山岸文男, 岩崎俊一: 信学会技術研究報告・磁気記録研究会資料, **MR 75-29**, 25 (1975).
- 7) G. V. Kelley: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-24**, 2392 (1988).
- 8) T. Rash, P. Iverson and J. H. Judy: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-26**, 2400 (1990).

1990 年 11 月 30 日受理, 1991 年 2 月 28 日採録