垂直磁気ヘッド主磁極膜の磁区構造制御法

Wall Pinning Effect of Co-Zr-Nb Main-Pole Film on Recording Characteristics of Single-Pole Heads

伊勢和幸・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)

K. Ise and Y. Nakamura

Res. Inst. of Electrical Communication, Tohoku Univ., 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai 980

The effect of domain structures of main-pole films on reproducing sensitivities were investigated for various single pole type perpendicular magnetic heads. The reproducing sensitivity of the heads made of a Co-Zr-Nb single layer becomes unstable and decreases with the increase of closure domain size when the track width narrows and the anisotropy field H_k decreases. On the other hand, when the wall of closure domains can be pinned by grooving at the only edge of a main-pole film, the magnetization rotates without any disturbance in main domains. Using this novel domain control method, closure domains become smaller even for smaller H_k , and a stable and highly sensitive single-pole head can be obtained.

Key words: perpendicular magnetic recording, single-pole head, domain control, wall pinning, narrow track head, thin film head

1. はじめに

垂直磁気記録方式では 600 kFRPI を超える線記録密度での記録が可能であり, 原理的にはトラック幅方向にも同様に高い分解能での記録が実現できる^{1), 2)}. 高い面記録密度を実現するためには, 狭トラックでも高感度でしかも安定に動作する単磁極ヘッドが不可欠である. しかし, トラック幅が狭くなると, 主磁極膜の磁区構造とその挙動が記録再生特性に顕著に影響を及ぼす. したがって, 主磁極膜のミクロな磁氣的振舞いを捉え, 微視的な磁化挙動を制御できる技術が必要になる.

これまでに筆者らは, 補助磁極励磁形単磁極ヘッドの場合について, Co-Zr-Nb 単層膜におけるトラック幅や異方性磁界による主磁極膜の磁区構造を調べ, それが記録再生特性に与える影響を実験的に明らかにした³⁾. これによると, トラック両端に生じる還流磁区の高さがトラック幅の 30% 以上になると再生電圧が不安定になり, それ以下でも再生感度が低下する. そこで, 狭ト

ラックヘッドを安定に動作させるために, 還流磁区の高さがトラック幅の 30% 程度となるように H_k の最適化を行うことが有効であることを示した³⁾. さらに, 明瞭な還流磁区構造が観察されないような, SiO_2 膜を中間層とする Co-Zr-Nb 積層膜や Fe-Si 積層膜を用いたり⁴⁾, H_k の小さな主磁極膜でもトラック幅方向全体に溝を付けることにより還流磁区の小さな磁区構造にする⁵⁾, などのことが有効であることを示した.

しかし, H_k の最適化を行って再生出力の安定性を高める方法では, 膜が本来持つ高い透磁率を犠牲にして用いていることになる. すなわち, トラック幅方向の強い磁気異方性のために主磁区内での磁化回転が抑制され, 再生出力が低下する. また, トラック幅方向全体に溝を付けるという方法でも, 出力の安定性を得るためにはある程度溝を深く付ける必要があり, 溝付近に生じる反磁界のために主磁区内での磁化回転が抑制されて, 再生出力が低下すると考えられる. さらに, この様な磁化回転の抑制は記録時にも影響を及ぼし, オーバーライト特性の劣化にも深く関わってくるものと予測される.

今回筆者らは, 主磁区内での磁化回転を妨げないように, H_k の小さな主磁極膜のエッジ部のみに溝を付ける方法を試みた. その結果, この膜は磁化回転を妨げることなく溝を付けた位置に還流磁区の底辺をピン止めで, これを主磁極とする単磁極ヘッドは高感度で安定に動作することを見いだした. 以下これについて述べる.

2. 主磁極膜の作製

Fig. 1 は, 本実験に用いた溝を有する主磁極膜の構造である. 主磁極膜に用いた Co-Zr-Nb 単層膜は, 表面を鏡面研磨した結晶化ガラス基板上に RF スパッタ法で成膜してから, 回転および一方向磁界中で熱処理を行い, 所望の磁気異方性を与えた. 熱処理後, トラック幅 50 μm にパターンニングを行い, さらに, (a) のようなピン止めのための溝を主磁極膜のエッジ部のみにドライエッチ

Fig. 1 Structures of (a) a pinned and (b) a grooved type main-pole films.

ングにより付けた。今回の実験において、溝は、幅を $4\mu\text{m}$ 、ピッチを $14\mu\text{m}$ 、深さを $0.09\mu\text{m}$ 、エッジ部からの高さを $5\mu\text{m}$ とした（以下、タイプ A）。比較のために、(b) の様にトラック幅方向全体に、幅 $2\mu\text{m}$ 、ピッチ $14\mu\text{m}$ 、深さ $0.06\mu\text{m}$ の溝を付けたもの（タイプ B）や⁵⁾、溝を付けていない従来のもので、上記のタイプ A、B の二種類と同じ低異方性磁界（異方性磁界 $H_k \approx 1.8\text{ Oe}$ 、初透磁率 $\mu_i \approx 7000$ ）のもの（タイプ C）と、最適異方性磁界（ $H_k \approx 5.1\text{ Oe}$ 、 $\mu_i \approx 2500$ ）³⁾ に近いもの（タイプ D）も用意し、同様に単磁極ヘッドに加工した。

3. 主磁極膜の磁区構造

磁区観察は、交流消磁をした試料を、蒸留水で希釈した強磁性コロイド液を用いてビッター法で行った。

Fig. 2 はタイプ A、B、C の主磁極膜の磁区構造を観察した一例である。膜の H_k はいずれも 1.8 Oe 程度である。膜のエッジ部のみに溝を付けて還流磁区のピン止めを行ったタイプ A や、トラック幅方向全体に溝を付けたタイプ B では、溝を付けていないタイプ C に比べて、還流磁区の小さな磁区構造となっており、溝を付ける手法が磁区構造の制御を行う上で有効であることがわかる⁵⁾。

Fig. 3 はピン止めを行ったタイプ A の磁化挙動と、それをモデル化したものである。消磁状態においては、溝を付けた位置に還流磁区の底辺が固定されて、 H_k の小さな膜でも還流磁区の占める割合を小さくすることが可能である。また、筆者らは、溝のピッチを変えてもほぼ同様に磁区構造を制御できることも確認している。長さ方向（困難軸方向）に一樣な磁界を加えるとその磁化挙動は、還流磁区の底辺はピン止めされた位置に固定されたままで、還流磁区の頂点のみが移動しており、 90° 磁

Fig. 2 Domain structures of (a) a pinned, (b) a grooved and (c) a conventional type main-pole films with low anisotropy field, observed by Bitter method.

Fig. 3 Domain structures and its schematic diagrams for a pinned type main-pole film.

Table 1 Parameters of various type heads and a medium used for experiments

Head (Main Pole: Co-Zr-Nb)				
T_e	0.3 μm			
W	50 μm			
L	100 μm			
N	50 turns			
B_0	12,500 Gauss			
Type	Type A	Type B	Type C	Type D
Type	pinned	grooved	conventional	
H_k	1.8 Oe	1.8 Oe	1.8 Oe	5.1 Oe
Medium (Co-Cr/Nb-Perm)				
H_{c1}	1,210 Oe			
M_s	378 emu/cc			
$\delta_{\text{Co-Cr}}$	1,150 Å			
δ_{perm}	19,900 Å			
δ_{SiO_2}	80 Å			

壁の移動が比較的抑制されたものとなっている。これは、筆者らがすでに報告した Co-Zr-Nb 単層膜の場合とは異なっており⁶⁾、還流磁区の頂点のみが 180° 磁壁上を移動するとした Jones のモデル⁷⁾と同様なものになっている。

4. 電磁変換特性

ビッター法を用いた観察から、主磁極膜のエッジ部のみに溝を付けることで、磁区構造を制御できることを確認した。そこで、上述の主磁極膜を用いて実際に単磁極ヘッドを作製し、測定を行った。測定は、主磁極膜の磁区構造に起因した再生出力の不安定性をより正しく評価するために、長寿命で安定に記録再生を行える非浮上形単磁極ヘッドと二層構造のリジッド垂直磁気ディスクという組合せを用い⁸⁾、相対走行速度 2 m/s で行った。実験に使用したヘッド、メディアの諸元を Table 1 に示す。

Fig. 4 は線記録密度 80 kFRPI における各ヘッドの入出力特性である。トラック幅 50 μm の場合の H_k の最適値が 5 から 6 Oe 程度であるのに対し³⁾、 H_k がそれよりも小さく、溝を付けていない主磁極膜を用いたタイプ C では、磁区構造が不安定になるために、特に低起磁力側で再生出力が綱掛けをした範囲内でかなり大きく変動することがわかる。 H_k をほぼ最適にした主磁極膜を用いたタイプ D では、再生出力の不安定性は改善されているものの、タイプ C よりも H_k を大きくしたことによってトラック幅方向の磁気異方性が強まり、磁化回転が抑制されて、出力の低下がみられる。一方、エッジ部のみに溝を付けて還流磁区のピン止めを行った主磁極膜を用いたタイプ A やトラック幅方向全体に溝を付けた主磁極膜を用いたタイプ B に関しては、今回の溝のパターンでは再生出力を低下させるような反磁界を再生時に生じることもなく、 H_k の小さな主磁極膜でも磁区構造の制御を行えたことにより、溝を付けていないタイプ C と同等以上の高い再生出力が得られ、さらに出力の不安定性も改善されている。なお、タイプ B では起磁力 0.05 AT_{0-p} 以下の範囲でも出力が出ている。この理由は現在まだ不明で、今後検討する予定である。

Fig. 5 はオーバーライト特性を示したものである。ここでのオーバーライトの定義は、30 kFRPI 信号を記録した後に、70 kFRPI 信号を重ね書きしたときの 30 kFRPI 信号の減衰量である。トラック幅方向全体に溝を付けたタイプ B では、微小な磁束の伝達を行う再生時とは異なり、大量の磁束の伝達を行う記録時には、溝の部分で断面積が小さくなることで主磁極膜の飽和が起こ

Fig. 4 Comparison of recording and reproducing characteristics for various type heads made of a pinned and a grooved type main-pole with low anisotropy field (Type A and Type B) and a conventional type main-pole with low and optimum anisotropy fields (Type C and Type D).

Fig. 5 Comparison of Over-Write characteristics for various type heads.

りやすくなることと、溝付近に反磁界が生じ、そのため、主磁区内の磁化回転が抑制されることによって、十分な記録感度が得られていない。また出力を安定にするために異方性磁界を最適値まで大きくしたタイプ D では、そのトラック幅方向の強い磁気異方性のために主磁区内の磁化回転が抑制されており、タイプ B と同様に十分な記録感度が得られていない。それに対して、エッジ部のみに溝を付けて還流磁区のピン止めを行ったタイプ A では、溝をエッジ部のみに付けたことにより、主磁区内の磁化回転を妨げるような反磁界が生じることもなく異方性磁界の小さな主磁極膜の磁区構造を制御することができる。これにより、溝を付ける前に比べて、磁壁移動が抑制されて、磁化の大半が主磁区の磁化回転によって進行し、さらに、トラック幅から還流磁区の高さを引いた

Fig. 6 Comparison of reproduced voltage vs. recording m.m.f. and bit density characteristics for a pinned type main-pole with low anisotropy field (Type A) and a conventional type main-pole with optimum anisotropy field (Type D).

有効磁路幅が広がったことによって、溝を付けていないタイプCなどより低起磁力側でも良好な記録感度が得られている。また、先に70 kFRPI信号を記録した後に、30 kFRPI信号を重ね書きした場合にも同様な傾向となった。

Fig. 6はタイプAとタイプDの記録再生特性である。タイプDは異方性磁界をほぼ最適にした標準的なヘッドである。タイプAの膜のエッジ部のみに溝を付けるピン止め形の磁区構造制御法を用いることによって、 H_k の小さな主磁極膜の磁区構造の制御を行え、その結果、低密度では標準的なヘッドの2倍近い70 nV_{0-p}/μm·turn·m/s以上という高い規格化出力が安定に得られた。

Fig. 7は補助磁極励磁形ヘッド(●)と主磁極励磁形ヘッド(▲)、それとピン止め形の磁区構造制御法を用いたヘッド(○)について、 $H_k=5.1$ Oeにおける値で規格化した再生出力と H_k との関係をプロットしたものである。磁区構造の影響で再生出力に極大値を持つ補助磁極励磁形ヘッドの場合とは異なり³⁾、現在筆者らが研究を行っている主磁極励磁形ヘッドでは、最適値よりも H_k を小さくしても再生出力は増大する。しかし、 H_k の減少に伴いしだいに出力に変動がみられるようになり、最適値よりも小さな H_k の主磁極膜を用いることは困難であった。しかし、ピン止め形の磁区構造制御法を用いることにより、 H_k の小さな膜を用いることも可能となり、狭トラックヘッドの高感度化が十分に期待できる。

5. む す び

垂直磁気ヘッドの狭トラック化に伴い、微視的な磁化挙動の影響が無視できなくなり、マクロ的な磁気特性の

Fig. 7 Normalized reproduced voltage vs. anisotropy field strength H_k of main-pole film for various main-pole-driven heads made of a pinned and conventional type films and auxiliary-pole-driven heads made of conventional type films.

評価のみならず、ミクロ的な磁化挙動をいかに制御するかということが重要な課題となっている。

本報告では、異方性磁界の小さな主磁極膜のエッジ部のみに溝を付けて還流磁区のピン止めを行うことによって、磁化回転を妨げることなく主磁極膜の磁区構造の制御を行うことが可能であり、先に示したトラック幅方向全体に溝を付けるという溝付け形の磁区構造制御法に比べて、狭トラックヘッドの高感度化および高安定化を図る上で有効な方法であることを示した。加工技術の問題などもあるが、本方法によって効果的な磁区構造の制御が可能であり、単磁極ヘッドの主磁極膜以外に、他の磁気デバイスへの応用も期待できる。

今後、溝の付け方が再生出力や安定性に与える影響について詳細に検討を行うが、さらに高感度な狭トラックヘッドを実現させるためには、ミクロな磁化挙動を明らかにし、適切に磁区構造制御を行うことが必要である。

文 献

- 1) 山本, 中村, 岩崎: 日本応用磁気学会誌, **11**, 109 (1987).
- 2) 沼澤, 米田, 有賀, 堀内: 日本応用磁気学会誌, **13**, 121 (1989); 同上, **11**, 109 (1987).
- 3) 山川, 中村, 岩崎: 日本応用磁気学会誌, **9**, 79 (1985).
- 4) 岩崎, 中村, 渡辺, 山川, 長谷川: 日本応用磁気学会誌, **10**, 97 (1986).
- 5) 原, 中村: 電子情報通信学会春季全国大会講演論文集, SC-2-3 (1989).
- 6) 中村, 久保, 岩崎: 日本応用磁気学会誌, **12**, 125 (1988).
- 7) R. E. Jones, Jr.: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-15**, 1619 (1979).
- 8) 中村, 大内, 渡辺: 日本応用磁気学会誌, **14**, 135 (1990).

1990年12月3日受理, 1991年2月28日採録