薄膜磁気ヘッド用多層パーマロイ膜の磁区構造

Magnetic Domain Structures of Multilayered Permalloy Films for Magnetic Recording Thin Film Heads

光岡勝也・成重真治・華園雅信・杉田 愼

(株)日立製作所・日立研究所, 茨城県日立市久慈町 4026 (〒319-12)

K. Mitsuoka, S. Narishige, M. Hanazono and Y. Sugita

Hitachi Res. Lab., Hitachi, Ltd., 4026, Kuji-cho, Hitachi, 319-12

The domain structures of cores with patterned permalloy films are investigated in order to develop magnetic recording thin film heads with narrow track widths. For single layered permalloy films, domain patterns indicate that the writing and reading abilities decrease when the track width becomes less than $10\mu\text{m}$. For six layered permalloy films with an alumina interlayer of $0.02\mu\text{m}$ thickness, domain patterns show that domain walls remain oriented along the direction of the track width even at the width of $7\mu\text{m}$. Furthermore, six layered permalloy films with small anisotropy field show no change of wall positions when the external magnetic field is applied along the hard axis. It is thus concluded that six layered permalloy films with small anisotropy field are most suitable for magnetic recording thin film heads with narrow track widths.

1. ま え が き

磁気ディスク装置の高記録密度化には薄膜磁気ヘッドの採用が必須である。薄膜磁気ヘッドの電磁変換特性は磁気コアの磁区構造と磁化過程によって変わり^{1), 2)}, 記録・再生効率及び再生波形歪の点から, 磁気コア先端部近くで三角磁区が相対的に狭い方が有利と考えられる³⁾。一方, 磁気コアの磁区構造は磁気コア材料の磁気特性(異方性定数, 磁歪定数など), 内部応力及び磁気コア形状によって変化することが計算で示されている⁴⁾。また, 非磁性層を中間に介した多層パーマロイ膜は単層パーマロイ膜とは磁区構造が異なることが報告されている⁵⁾。

高記録密度用薄膜磁気ヘッドはトラック幅を狭くする必要がある。そこで, 本研究では磁気コア材料としてパーマロイ膜を用い, 異方性磁界の大小, 磁気コア形状の違い, 単層膜と多層膜の違いによる狭トラック磁気コアの磁気コア先端部近くでの磁区構造の差異を詳細に調べ, 狭トラック薄膜磁気ヘッドに適したパーマロイ膜の磁気特性, 層構成を見いだすことを目的とした。

2. 実験方法

パーマロイ膜としては厚さ $1.2\sim 1.4\mu\text{m}$ の単層膜と 6

層膜(1層のパーマロイ膜厚 $0.2\mu\text{m}$, 中間のアルミナ膜厚 $0.02\mu\text{m}$)をスパッタリング法で作製した。アルゴンガス圧力 0.07 Pa , 高周波出力 16 kW/m^2 , 基板温度 250°C であった。基板には熱膨張係数が $74\times 10^{-7}\text{ K}^{-1}$ のコーニング 0211 ガラスを用いた。6層膜の異方性磁界は一方向磁界中及び直交スイッチング磁界中スパッタリング法⁶⁾で変えた。直交スイッチング磁界方式の繰返し周期は 0.5 Hz とした。パーマロイ膜のスパッタリング速度は 2 nm/s であり, 1層の膜厚を $0.2\mu\text{m}$ としたことから, パーマロイ1層が堆積する間に50回直交磁界を印加したことになる。

磁気コア形状のパターニングにはイオンミリング法を用いた。Fig. 1 に実験に用いた磁気コアの形状を示す。

Fig. 1 Shape of a magnetic core.

トラック幅 W は 7, 10 及び $15\mu\text{m}$, 側面角 θ は 35° , 45° 及び 60° , 先端部長さ L は 10 及び $50\mu\text{m}$ であった。単層膜の実験に用いたトラック幅 7 及び $10\mu\text{m}$ の磁気コア形状は側面角を 2 段に変えており、磁気コアが広がり始める側面角は 35° と一定にした。磁気コア形状の異なるパターンを同一ウェハ内に形成して、磁区を観察した。磁区観察は磁性流体を用い、困難軸方向に交流消磁後、微分干渉顕微鏡で行った。ヒステリシス曲線は 50 Hz の B-H ループトレサで測定し、得られた B-H 曲線より保磁力及び異方性磁界の値を求めた。磁歪定数は困難軸方向に応力を印加した状態で異方性磁界を測定し、応力印加による異方性磁界の変化から求めた。実験に用いたパーマロイ膜は再生波形状のない負磁歪であった³⁾。

3. 実験結果と検討

Fig. 2 に実験に用いた単層及び 6 層膜のシートでの磁

Fig. 2 B-H loops and magnetic characteristics of single and six layered (laminated with alumina) permalloy films in sheets.

Fig. 3 Relation between track widths and domain patterns in single layered films at three kinds of track width.

気特性を示す。単層膜 (a) 及び 6 層膜 (b) は一方磁界中で膜作製した。6 層膜 (c) は直交スイッチング磁界中で膜作製し、異方性磁界 H_K を小さくしてある。6 層膜 (b), (c) の保磁力は単層膜 (a) に比べて小さい。この原因は積層したパーマロイ膜の磁壁間の静磁結合により磁壁エネルギーが小さくなるためと考えられる⁷⁾。

Fig. 3 にトラック幅の異なる単層膜の磁気コア先端部近くの磁区図形を示す。磁気コアは先端部長さ L を $50\mu\text{m}$ と一定にしてある。磁区構造は三角磁区と六角磁区とからなる環流磁区である。トラック幅が $15\mu\text{m}$ から $10, 7\mu\text{m}$ と狭くなるにつれて、先端部長さ L の磁気コア先端部領域内での三角磁区の占める割合が大きくなる。これは、異方性エネルギーと磁壁エネルギーを考慮した簡単な計算によるとトラック幅が狭くなるにつれて三角磁区の割合が大きくなること⁴⁾と一致している。したがって、単層膜では狭トラック化により三角磁区の割合が増すことから、狭トラック薄膜磁気ヘッドに単層膜を用いることは不利である。

Fig. 4 に異方性磁界が異なる 6 層膜を用いて、トラック幅 W を $15\mu\text{m}$, 先端部長さ L を $50\mu\text{m}$ 及び側面角 θ を 45° とした磁気コア全体の磁区図形を示す。異方性磁界が 1.0 Oe と小さい膜では磁気コアが広がり始める位置から磁気コア後端までの領域に磁壁が存在し、しかも磁壁が湾曲している。磁壁が湾曲するのは磁気弾性効果によるものと考えられる。すなわち、基板とパーマロイ膜との熱膨張係数差によりシート状の膜には等方的な引張応力が加わっている。パターンニングするとパターン端部に沿って引張応力が生じる。膜の磁歪定数が負であり、磁界誘導異方性よりも磁気弾性効果が顕著になるため端部近くの磁化はパターンと直角方向に向きやすくなる。一方、磁気コア中央部では応力の効果が小さいと考えられることから磁界誘導異方性のために磁化はトラック方向に向き易くなる。したがって、パターン端部で磁

Fig. 4 Domain patterns in core shapes of six layered films with different anisotropy field.

壁は湾曲しているものと推定される。一方、異方性磁界が 3.6 Oe と大きい膜では磁気コアが広がり始める位置から磁気コア後端までの領域に磁壁は認められない。これは、異方性エネルギーが大きい磁気弾性効果の影響が小さく、磁化はトラック幅方向を向き、層間結合により単磁区化しているものと考えられる。このような磁壁の湾曲及び単磁区化はトラック幅 W 、側面角 θ 及び先端部長さ L を変えた磁気コア形状でも同様であった。

Fig. 5 に先端部長さ L を $10\mu\text{m}$ 、側面角 θ を 45° と一定にしてトラック幅 W が異なる 6 層膜（異方性磁界が 1.0 Oe と 3.6 Oe）の磁気コア先端部近くの磁区図形を示す。同じトラック幅の単層膜の磁区構造と比較すると、6 層膜では三角磁区の割合は小さい。6 層膜で三角磁区の割合が小さくなるのは層間結合があるためと考えられる。異方性磁界が 1.0 Oe の小さい膜では三角磁区の割合はさらに小さくなるが、この原因については不明である。側面角 θ が 45° の磁気コア形状ではトラック幅を $7\mu\text{m}$ と狭トラックにすると、6 層と多層化しても先端部長さ L の磁気コア先端部領域での三角磁区の占める割合は依然として大きい。

次に、トラック幅を $7\mu\text{m}$ と一定にして側面角を 35° 、 45° 及び 60° と変えた磁気コアを用いて、異方性磁界が異なる 6 層膜の磁気コア先端部近くの磁区図形を Fig. 6 に示す。側面角 θ が 35° 及び 45° の磁気コア形状では、先端部長さ L の磁気コア先端部領域内で三角磁区のみからなり、 180° 磁壁は観測されない。これに対して側面角 θ が 60° の磁気コア形状では 180° 磁壁が観測できる。特に、異方性磁界が 1.0 Oe の小さい膜では三角磁区が存在しない。このように 6 層膜を用いることにより

Fig. 5 Relation between track width and domain patterns at the front part of the core in six layered films with different H_K .

トラック幅が $7\mu\text{m}$ でも、先端部長さ L の磁気コア先端部領域の三角磁区を狭くでき、単層膜より狭トラック化に有利である。

また、異方性磁界が異なる 6 層膜を用いて、側面角 θ を 60° 、トラック幅 W を $15\mu\text{m}$ 及び先端部長さ L を $10\mu\text{m}$ と一定にした磁気コアに、困難軸方向に外部磁界

Fig. 6 Relation between the side angle and domain patterns in six layered films with different H_K . (track width of $7\mu\text{m}$)

Fig. 7 Changes of the domain patterns at $1\mu\text{m}$ of track width against the external field. (six layered films with different H_K)

Fig. 8 Changes of the walls in each track width against the external field:

—, +8 Oe; ---, 0 Oe; ···, -8 Oe.

(six layered films with different H_k)

を印加したときの磁気コア先端部領域の磁壁位置の変化を調べた。Fig. 7 に +8, 0 及び -8 Oe の直流磁界印加時の磁区図形を示す。異方性磁界が 1.0 Oe と小さい膜では先端部長さ L の磁気コア先端部領域に 90 度磁壁が観測されない。磁気コア先端部の磁化は誘導異方性のためにトラック幅方向に向いている。一方、異方性磁界が 3.6 Oe と大きい膜では先端部長さ L の磁気コア先端部領域に 90 度磁壁が観測され、三角磁区が存在する。異方性磁界の小さい膜で 90 度磁壁が観測されないのは 90 度磁壁が存在しないか、90 度磁壁が存在しても磁壁エネルギーが小さいためにピッチ法で観測されないかの二つが考えられる。本研究の範囲ではこの区別はできないが、今後磁化方向を直接観察できるスピン SEM 法⁹⁾を用いて正確な磁区構造を調べる予定である。

Fig. 8 は異方性磁界が大小の 6 層膜を用いてトラック幅が異なる先端部長さ L の磁気コア先端部領域での磁壁位置を外磁界の有無に対して整理したものである。異方性磁界が大きい膜ではいずれのトラック幅でも磁壁が移動しているのに対し、異方性磁界が小さい膜ではいずれのトラック幅でも磁壁はほとんど移動しない。異方

性磁界が小さく、側面角が 60° の膜では先端部長さ L の磁気コア先端部領域に三角磁区がどのトラック幅でも観測されず、磁化がトラック幅方向を向いていると考えられる。このため、外部磁界が印加されても磁壁が移動せず、磁化過程は磁化回転のみであると考えられる。

4. 結 言

磁気ディスク装置を高トラック密度化するには薄膜磁気ヘッドを狭トラック化する必要がある。そこで、単層及び異方性磁界の異なる多層パーマロイ膜を用いた狭トラック磁気コアの磁区構造を調べた。単層膜ではトラック幅が 10 μm 以下になるとヘッドの記録・再生特性が劣化すると考えられる三角磁区のみからなる磁区構造となる。これに対して、中間にアルミナ膜を介した 6 層膜を用いることによりトラック幅 7 μm でも側面角が 60° の場合には磁壁がトラック幅方向を向いた磁区構造を示す。さらに、異方性磁界が小さい 6 層膜では、外部磁界印加に伴う磁壁の移動は観測されず磁化過程が磁化回転のみであると考えられる。これらのことより、異方性磁界の小さい多層膜は狭トラック薄膜磁気ヘッドに有効である。

文 献

- 1) R. E. Jones: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-15**, 1619 (1979).
- 2) Y. Nakamura, K. Yamakawa and S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 1578 (1985).
- 3) S. Narishige, M. Hanazono, M. Takagi and S. Kuwatsuka: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-20**, 848 (1984).
- 4) 成重, 今川, 華園: 日本応用磁気学会研究会資料 MSJ 39-5, 41 (1985).
- 5) J. S. Y. Feng and D. A. Thompson: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-13**, 1521 (1977).
- 6) W. R. Beam and W. T. Siegle: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-1**, 66 (1965).
- 7) F. J. Friedländer and L. F. Silva: *J. Appl. Phys.*, **36**, 946 (1965).
- 8) K. Koike, H. Matsuyama, K. Hayakawa, K. Mitsuoka, S. Narishige, Y. Sugita, K. Shiiki and C. Saka: *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 980 (1986).

1986 年 12 月 12 日受理, 1987 年 2 月 23 日採録