Fe-Pt 高密度垂直磁気記録媒体の記録特性

Recording Characteristics of Ordered Fe-Pt High-Density Perpendicular Magnetic Recording Media

鈴木淑男・梁瀬智・本多直樹・大内一弘

秋田県高度技術研究所、秋田市新屋町字砂奴寄4-21 (〒010-1623)

T. Suzuki, S. Yanase, N. Honda, and K. Ouchi

AIT (Akita Research Institute of Advanced Technology), 4-21 Sanuki, Araya, Akita 010-1623

(1998年10月14日受理, 1998年12月4日採録)

Ordered Fe-Pt(001) thin films on glass substrates were studied from the viewpoint of their application in future high-density magnetic recording media. A 13-nm-thick film with fine discrete domain patterns was successfully prepared by a high-pressure sputter-deposition method. The magnetic property showed a small value of H_c/H_k and a steep M-H loop, suggesting a strong exchange interaction. Judging from the high SNR for the Fe-Pt film medium, similar to that for a low noise Co-Cr₂₂-Nb₄ medium, it is concluded that the Fe-Pt medium may have high potential as a new recording medium.

Key words: perpendicular magnetic recording, ordered Fe-Pt, domain pattern, perpendicular magnetic anisotropy, thermal relaxation

1. はじめに

FePt 規則合金は大きな結晶磁気異方性エネルギー (7×10^7 erg/cm³) と飽和磁化 (1150 emu/cm³) を有し¹⁾, かつ化学的に安定であることが知られている。また大きな磁気光学効果を示し、物性的な興味からも近年 MgO 単結晶基板を用いた垂直異方性薄膜に関する研究が行われている^{2)~7)}。

著者らは、この FePt 規則合金の特徴をふまえ、以下の観点から磁気記録媒体としての可能性を検討してきた。すなわち、

①結晶磁気異方性エネルギーが反磁界によるエネルギーに比べ約一桁大きいことから、膜面法線方向に磁化容易軸を配向できれば、安定な垂直磁化の形成に有利である。

②同時に次式で与えられる超常磁性臨界径 (D_p)⁸⁾ が約 3 nm と極めて小さく、将来の高密度記録における熱磁気緩和の抑制に有望と考えられる。

$$D_p = (150 k_B T / (\pi K_u))^{1/3} \quad (1)$$

③さらに磁壁幅 (δ)⁹⁾ も次式から判るように狭くなる。したがって粒界などのきわめて小さな構造欠陥でも磁壁に対するピンニングサイトとなり、磁区を小さく制限することが可能とも考えられる。

$$\delta \sim \pi (A / K_u)^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 A は交換定数を表す。

④一方、大きな飽和磁化は次式のように小さな単磁区粒子径

(D_s)¹⁰⁾ が期待でき、たとえば CoPt 規則合金に比べ磁区の細分化の点で有利であると予想される。さらに高い再生出力も期待できる。

$$D_s = 9 \gamma / (4 \pi M S^2) \quad (3)$$

ここで、 γ は磁壁エネルギーを表す。

著者らは、記録媒体としての実用性を高める観点から、ガラス基板の使用も可能にする Fe-Pt 垂直異方性薄膜の作製について検討を行ってきた。その結果、高ガス圧スパッタ法による規則化促進と Cr(100) 下地層により fct-FePt[001] 垂直配向の可能性を示し⁹⁾、ガラス基板上への低温作製による Fe-Pt 規則合金垂直異方性薄膜の形成に初めて成功した¹⁰⁾。

本研究においては、磁気記録媒体としての観点から、このガラス基板を用いた Fe-Pt 垂直異方性薄膜の特徴と課題について報告する。

2. 実験方法

試料は、ハードディスク用硼珪酸ガラス基板を用い、MgO (10nm)/Cr(70nm)/Fe-Pt の順次構成で作製した¹⁰⁾。尚、Fe-Pt 層の製膜は、合金ターゲット (Fe₅₀Pt₅₀) を用い、基板温度 450°C、スパッタガス圧とターゲット-基板間距離 (T-S) については、70 Pa, T-S=95 mm と 100 Pa, T-S=50 mm の 2 条件で行った。

磁気特性は、交番力磁力計 (AGFM) を用い最大印可磁場 22 kOe で測定した。また磁区観察には磁気力顕微鏡 (MFM) を用いた。試料消磁は、電磁石を用い最大磁場 13 kOe の交番磁場中で行った。なお、結晶解析には Cu-K α 線を用いた X 線回折 (XRD) により行った。

電磁変換特性の評価は、C 保護膜を 10 nm 製膜し、潤滑剤を塗布した後、記録に MIG ヘッド ($T_w=6.46 \mu\text{m}$, $G_l=0.15 \mu\text{m}$)、再生に MR ヘッド ($T_r=2.7 \mu\text{m}$, $G_s=0.26 \mu\text{m}$) を用い、走行速度 5.08 m/s にて行った。

3. 実験結果

3.1 磁気特性と磁区パターン

Fig. 1 にスパッタガス圧を 70 Pa, T-S 間距離を 95 mm として作製した膜厚約 13 nm の試料の M-H ループを示す。本試料の C 軸配向性はロッキングカーブ半値幅で約 8° であり、面内ループの外挿から求めた垂直異方性磁界 (H_k) は約 30

Fig. 1 M-H loops for Fe-Pt(001) film prepared at T-S = 95 mm with 70 Pa. Structure: glass sub./MgO(10 nm)/Cr(70 nm)/Fe-Pt(13 nm) as in sample (a1) in Fig. 2(a1).

kOeと推定される。ただし面内ループの立ち上がりから軟磁性相の存在が示唆される。その原因は、規則化が十分行われていないfcc相、もしくは初期層の影響と考えられる。なお、飽和磁化については、薄膜全体として約800 emu/cm³が得られている。一方、垂直ループの傾きは薄膜の反磁界補正值より大きく、また $H_{c\perp}/H_k$ 値は0.12と小さい。ループの傾き及び $H_{c\perp}/H_k$ 値は磁気的結合に関する指標と考えられており¹¹⁾、本試料の値は磁気的結合の強い薄膜であることを示唆する。

Fig. 2(a1)にこの薄膜の交流消磁後のMFM像を示す。M-H

Fig. 2 Magnetic domain patterns in the ac-demagnetized state for Fe-Pt(001) films. Structure: glass sub./MgO/Cr/Fe-Pt.

ループから予想される強い磁気的結合に反して、微細な磁区パターンが得られている。Fig. 2(a2), (b1)~(b3)に、他のFe-Pt製膜条件や膜厚による磁区パターンの変化を示す。スパッタ条件により磁区パターンが異なること、また膜厚増加によりメイズ状磁区になり、またその磁区の幅が増加する傾向が見られる。

このような挙動を考察するため、Fig. 3に磁区理論¹³⁾に基づき計算した磁区幅の膜厚依存性を、実験結果と比較して示す。計算はストライプ状磁区を仮定し静磁エネルギーと磁壁エネルギーの和を最小にする条件を求めることにより行った。計算結果は実験結果の傾向を大まかに予想しているものの、スパッタ条件による差や磁区幅の絶対値を説明することができない。本計算においては、磁気的に欠陥の無い均質な薄膜を仮定したものであり、構造的な欠陥の多いスパッタ薄膜においては、磁区の形状や大きさが理想的な薄膜のそれから大きく逸脱していることが予想される。特に結晶磁気異方性の高い材料の場合、式(2)で述べた磁壁幅が狭いことから、薄膜内の小さな構造欠陥による磁壁ピンニングにより、磁壁エネルギーを低減でき、その結果静磁エネルギーを減少する微細な磁区ができたと考えられる。さらにスパッタ条件による差は、そのピンニングサイトの密度の差に起因した現象と推察することも可能であろう。

Fig. 4に磁気特性の膜厚依存性を示す。異方性磁界は、Fig. 1と同様にM-Hループの困難軸方向を外挿して求めたものである。 H_k は22 nm以下の薄膜においては厚い膜厚の試料に比べ小さい。これはFig. 5に示す9 nmの薄膜におけるXRDパターンから、初期層の存在に起因すると考えられる。また、75 nm以上の膜厚における面内方向 H_c の増加は、XRDパターンからfcc(100)配向の影響と考えられる。

なお、fcc(001)のロッギングカーブの半値幅は本実験の範囲で4~8°の値を示し、MgO単結晶基板を用いたエピタキシャル膜^{2)~7)}とは異なり、多結晶粒から構成された膜であることが推察される。

3.2 磁気緩和

Fig. 6にFig. 2(a1)の微細磁区からなる薄膜の抗磁力の測定時間依存性¹⁴⁾を調べた結果を示す。孤立粒子系で提案され

Fig. 3 Thickness dependence of the magnetic domain size. Samples (a1), (a2), and (b1)~(b3) are also shown in Fig. 2.

Fig. 4 Film thickness dependence of H_c and H_k . Structure: glass sub./MgO/Cr/Fe-Pt(001).

Fig. 5 Film thickness dependence of XRD pattern. Structure: glass sub./MgO/Cr/Fe-Pt(001).

ている Sharrock の式を, H_c/H_k の小さい本薄膜に適用するため, 磁化反転のエネルギー障壁を $K_{eff}V$ とモデル化し, 測定データからフィッティングにより $K_{eff}V/k_B T$ 値を求めると約 100 となる. 約 13 nm の薄膜でありながら熱磁気緩和の抑制に有望であることが予想される.

3.3 記録特性

Fig. 7 に 2 kFRPI の信号を MIG ヘッドで記録し MR ヘッドで再生することにより得られた波形を示す. 孤立磁化転移に対して垂直磁気異方性単層媒体の MR ヘッド再生に特有のダイパルス状の波形 (ダイパルス比 ~ 0.77) が得られており, 垂直磁化転移モードが実現されていることがわかる.

Fig. 8 にこの系の入出力特性を示す. 垂直磁気記録においては記録減磁が一つの問題とされているが¹⁵⁾, 本媒体においては大きな記録減磁は見られず, 最適電流もほぼ同じ値である. 原因としては膜厚が約 13 nm の薄膜であることから, ヘッド磁界分布の急峻な垂直磁界による記録が可能になったこと, また M-H ループの傾きが比較的大きな薄膜であることから, 急峻な磁化転移が得られた可能性があり, これらの効果が関与していると考えられる.

Fig. 9 に SN 比の記録密度依存性を示す. 飽和磁化の大きな Fe-Pt 薄膜による本媒体は, 現状では低ノイズ Co-Cr₂₂-Nb₄ 記録媒体¹⁶⁾と比較し媒体ノイズは大きい, 出力も大きく, 結

Fig. 6 Time dependence of the coercivity for sample (a1) in Fig. 2.

Fig. 7 Reproduced waveform (2 kFRPI) for an Fe-Pt medium (the same as sample (a1) in Fig. 2).

果として Co-Cr 系と同等の SN 比が得られている.

Fig. 10 に MIG ヘッドを 2 μ m ピッチ送りで記録を行った記録パターンの MFM 像を示す. 200 kFRPI 信号において明瞭な磁化転移とシャープなトラックエッジが得られている. しかしながら 10 kFRPI において, ビット間には小さな逆磁区も現れている.

Fig. 11 は, 記録パターンの MFM 像から FFT 解析により信号成分を除去しノイズ源に対応するスペクトル¹⁷⁾を求めた結果である. ノイズ源スペクトルの中心波長は交流消磁後のスペクトルのそれより大きい約 210 nm であり, この波長は Fig. 9 において媒体ノイズが増加し始める記録密度にほぼ対応している. また, 媒体ノイズが増加し始める記録密度のあたりから, ノイズ源スペクトルの長波長成分が増加している. したがって, 100 kFRPI より高い記録密度での媒体ノイズの上昇は, ベクトル的なヘッド磁界で形成される最小磁区の結合に起因していることが示唆される. 今後, 磁化反転機構の観点から記録分解能についての検討が必要と考えられる.

4. まとめ

実用的なガラス基板上の Fe-Pt 高磁気異方性垂直磁気記録媒体は, 強い磁氣的結合が示唆されるものの, 磁区寸法を小さくでき, 熱磁気緩和の抑制に有望であることが予測でき

Fig. 8 Reproduced voltage versus the recording current for an Fe-Pt medium (the same as sample (a1) in Fig. 2).

Fig. 9 SNR and noise for an Fe-Pt medium (the same as sample (a1) in Fig. 2).

た。また磁化が大きいかかわらず、良好な垂直記録特性を示した。今後逆磁区の低減、記録分解能の向上により、媒体ノイズを低減できる可能性があり、高密度記録媒体として特性向上が期待できる。

謝辞 日頃ご指導頂きますA I T名誉所長、岩崎俊一東北工業大学長に深謝致します。

文献

- 1) O. A. Ivanov, L. V. Solina, V. A. Demshina, and M. Magat: Fiz. Metal. Metalloved., **35**, 92 (1973).
- 2) B. M. Lairson, M. R. Visokay, R. Sinclair, and B. M. Clemens: Appl. Phys. Lett., **62**, 639 (1993).
- 3) A. Cebollada, D. Weller, J. Sticht, R. Harp, R. F. C. Farrow, R. F. Marks, R. Savoy, and J. C. Scott: Phys. Rev. B, **50**, 3419 (1994).
- 4) M. R. Visokay and R. Sinclair: Appl. Phys. Lett., **66**, 1692 (1995).
- 5) S. Mitani, K. Takanashi, M. Sano, H. Fujimori, A. Osawa, and H. Nakajima: J. Magn. Magn. Mater., **148**, 163 (1995).
- 6) M. Watanabe and M. Homma: Jpn. J. Appl. Phys., **35**, L1264 (1996).

Fig. 10 MFM image of 2 μm-pitch writing patterns using a 6.46-μm-track-width MIG head (the same as sample (a1) in Fig. 2).

Fig. 11 MFM analysis of the recording noise of an Fe-Pt medium (the same as sample (a1) in Fig. 2).

- 7) Y. Ide, T. Goto, K. Kikuchi, K. Watanabe, J. Onagawa, H. Yoshida, J. M. Cadogan: J. Magn. Magn. Mater., **177-181**, 1245 (1998).
- 8) B. D. Cullity: Introduction to Magnetic Materials (Addison-Wesley Publishing Company, 1972).
- 9) T. Suzuki, N. Honda, and K. Ouchi: J. Magn. Soc. Jpn., **21-S2**, 177 (1997).
- 10) T. Suzuki, K. Harada, N. Honda, and K. Ouchi: "Preparation of ordered Fe-Pt thin films for perpendicular magnetic recording media", to be published in J. Magn. Magn. Mater.
- 11) I. Tagawa, A. Takeo, and Y. Nakamura: J. Magn. Magn. Mater., **155**, 341 (1996).
- 12) M. Takahashi, H. Shoji, and A. Kikuchi: J. Magn. Soc. Jpn., **21-S2**, 499 (1997).
- 13) Z. Malek and V. Kambersky: Czech. J. Phys., **8**, 416 (1958).
- 14) P. J. Flanders and M. P. Sharrock: J. Appl. Phys., **62**, 2918 (1987).
- 15) 梁瀬智, 有明順, 本多直樹, 大内一弘: 信学技報, MR98-4, 23 (1998).
- 16) J. Ariake, N. Honda, and K. Ouchi: J. Magn. Soc. Jpn., **21-S2**, 509 (1997).
- 17) J. Chen, H. Saito, S. Ishio, and K. Kobayashi: J. Magn. Soc. Jpn., **21-S2**, 513 (1997).