

Fe-Si 裏打ち層を有する高記録分解能 Fe-Pt 垂直複合膜媒体

Ordered Fe-Pt Composite Media with Fe-Si Back-Layers
for High-Density Perpendicular Recording

鈴木淑男・木谷貴則・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, T. Kiya, N. Honda, and K. Ouchi

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

(1999年10月21日受理, 2000年1月25日採録)

An ordered Fe-Pt(001) perpendicular composite medium was designed with a high B_s soft-magnetic Fe-Si back-layer. When an MgO layer was introduced between the Fe-Si back-layer and the Fe-Pt layer, a square-shaped Kerr loop was obtained for the Fe-Pt recording layer, as a result of the exchange-decoupling between the two layers. Introduction of the MgO layer led to a slight improvement of the crystallinity and orientation. The medium showed a high signal output and a recording resolution D_{50} of 220 kFRPI for an MR reproducing head with a G_s of 0.2 μm . A high SNR, 38.9 dB_{p-rms}, was achieved for a track width of 1.2 μm at a recording density of 40 kFRPI. Furthermore, an MFM image of a 500-kFRPI recorded pattern was obtained, even though a strong exchange interaction in the lateral direction of the film was implied. It is safe to conclude that the Fe-Pt composite medium will be useful for future ultra-high-density recording.

Key words: perpendicular magnetic recording, ordered Fe-Pt, perpendicular composite medium, Fe-Si back-layer, exchange-decoupling layer, wall pinning

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⁾, その薄膜は, fct(001) 格子面が基板と平行に配向することにより, 大きな垂直磁気異方性を示す^{2)~7)}. これまでに著者らは, Fe-Pt 垂直磁気異方性薄膜の磁気記録媒体としての検討を行い, 記録層厚約 13 nm の薄膜単層記録媒体における高記録分解能の可能性と高い SN 比を報告した^{8), 9)}.

垂直記録方式においては, 膜厚の比較的厚い記録層の方が, 媒体として基本的な優位性を示す¹⁰⁾. 一方, 飽和記録の達成と高分解能性の発揮には, 大きな垂直記録磁場の誘起とその勾配の急峻性が必要となる. 記録層の薄膜化は, この点に関して, 特に二層膜媒体-単磁極ヘッド系において有効である^{11), 12)}. これまで Co-Cr 系垂直二層膜媒体においては, 裏打ち層としてパーマロイ膜を用い高線記録密度が達成されている^{13), 14)}. Fe-Pt 系においても, 窒素を添加したパーマロイ膜を裏打ち層とすることで垂直二層膜媒体として機能することを既に報告した¹⁵⁾.

本研究においては, 窒素添加パーマロイ膜を裏打ち層を持つ二層膜媒体の磁気特性から, Fe-Pt 垂直複合膜媒体の設計

について述べる. 次に, 新たに高 B_s 材料として Fe-Si 膜を裏打ち層とした Fe-Pt 垂直複合膜媒体を作製し, 記録分解能の観点からこの系の記録特性評価を行ったので, その特徴と課題について報告する.

2. 実験方法

媒体は, ハードディスク用ディスク基板/MgO(5 nm)/Cr(70 nm)/裏打ち層(500 nm)/Fe-Pt(12.5 nm)の順次構成で作製した. 裏打ち層としては窒素添加パーマロイ膜, 高 B_s 材料の Fe-Si 膜を用いた. また, 実験目的により裏打ち層と Fe-Pt 層の間に厚さ 1 nm の MgO 層を製膜した. Fe-Pt 層の製膜は, 合金ターゲット (Fe₅₀Pt₅₀) を用い, 基板温度 300℃, 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, 50 Pa, $T-S=95$ mm の条件で行った. 他の層は, 基板温度 50℃, 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, 0.2 Pa, $T-S=50$ mm の条件で行った.

薄膜の結晶解析は, Cu-K α 線を用いた X 線回折 (XRD) により行った. この時, FePt 規則相形成量は fct(001) 格子面の回折ピークの積分強度と膜厚の比 $I/d^{(0)}$ を, また結晶配向性は fct(001) 格子面のロックンガープの半値幅 $\Delta\theta_{50}$ を指標とした.

電磁変換特性の評価は, カーボン保護膜を 8 nm 製膜し, 潤滑剤を塗布した後, 記録に SPT ヘッド (CoZrNb 主磁極, $T_w=1$ μm , $T_r=10$ μm)¹⁷⁾, 再生に MR ヘッド ($G_s=0.2$ μm , $T_r=1.2$ μm) を用い, 走行速度 5.08 m/s にて行った.

3. 実験結果

3.1 Fe-Pt 垂直複合膜媒体の設計

Fig. 1 に窒素添加量の異なるパーマロイ膜を裏打ち層とする Fe-Pt 垂直二層膜媒体の極カールブを示す. なお, 窒素を添加しないパーマロイ膜を裏打ち層とした場合, 垂直二層膜は得られていない¹⁵⁾. パーマロイ膜への窒素添加量が 5% と 10% の場合においては, 両者のループ形状に大きな相違はなく, とともに印加磁場ゼロ近傍でループにステップが見られる. 20% 添加により角形性が向上するものの, ステップもわずかながら観測される. 50% 添加でステップはなくなり, 単層垂直媒体と同様のループ⁹⁾が得られる.

Fig. 2 にこの時の FePt-fct 規則相形成量と fct(001) 配向性を示す. 50% 添加では, 規則相形成量および配向性が向上

しているものの、5%～20%における極カーループの変化はこのような結晶学的指標では説明することができない。一方、パーマロイ膜の飽和磁化は窒素添加にともない、Fig. 3のように減少する。従って、この裏打ち層の飽和磁化量の変化に伴う Fe-Pt 層との磁気的結合の強さの変化が、Fig. 1における極カーループの形状変化を起したものと考えられる。

一般的に、二層膜媒体における裏打ち層は、記録磁場の飽和を避けるため、また薄膜化もはかれることから、高い B_s を有することが好ましい。そこで本研究における Fe-Pt 垂直複合膜媒体の設計では、① Fe-Pt 層との格子整合性も考慮して、高 B_s 材料として Fe-Si 膜 (1430 emu/cm^3) を裏打ち層として用い (媒体 #1)、② 前記、裏打ち層と Fe-Pt 層の間に考えられる磁気的結合を断つために、両層の間に厚さ 1 nm の MgO 層 (介在層と記す) を導入した (媒体 #2)。

3.2 Fe-Si 裏打ち層を有する垂直複合膜媒体の作製

Fig. 4 に媒体 #1, #2 に対する極カーループを示す。両媒

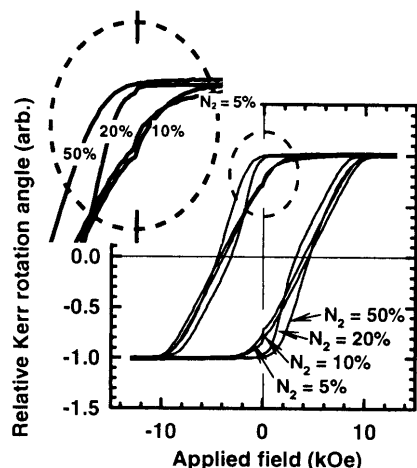


Fig. 1 Polar-Kerr loops for Fe-Pt media with Nb-permalloy back-layers having various N_2 contents.

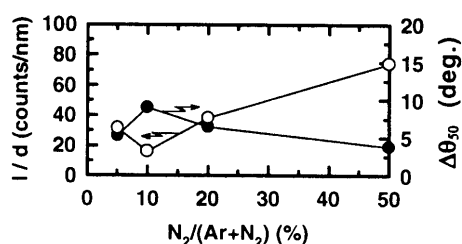


Fig. 2 Effect of N_2 addition to the Nb-permalloy layer on the crystallographic properties of Fe-Pt layers. I/d : integrated intensity unit thickness for FePt-fct(001).

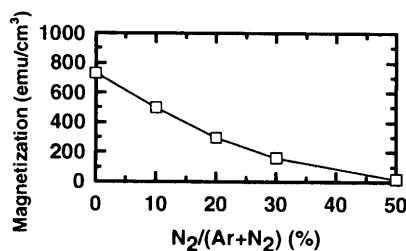


Fig. 3 Effect of N_2 addition to the Nb-permalloy layer on the magnetization of Nb-permalloy films.

体のループ形状は大きく異なり、MgO 介在層が無い媒体 (#1) においては、Fig. 1 で見られたようなステップがより顕著に見られる。ただし、ゼロ磁場付近ではなく、1 kOe 以上の高い磁場で起こっている。一方、MgO 介在層を導入した媒体 (#2) においては、これまでに述べてきたステップは見られず、また角形性が大きく向上している。

Fig. 5 に両媒体の XRD パターンを示す。ともに Fe-Pt 層は fct(001) が優先配向していることがわかる。この fct(001) 配向性と規則相形成量を Table 1 に示す。MgO 介在層導入により、配向性の向上と規則相形成量の増加が認められ、また Scherrer の式から求めた結晶粒もわずかに増大した。

3.3 MgO 介在層の効果

磁化反転機構の観点から MgO 介在層の効果を調べるために、Fig. 6 に示す層構造の試料を作製し、交番力磁力計

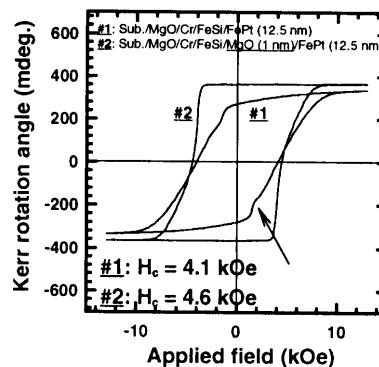


Fig. 4 Polar-Kerr loops for Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer.

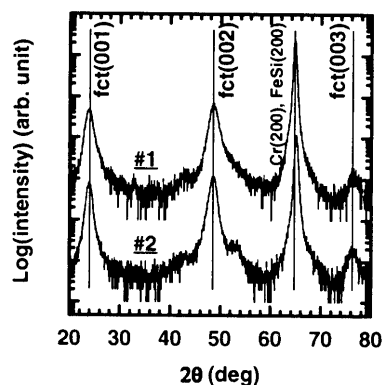


Fig. 5 XRD patterns for Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer.

Table 1 Crystallographic properties of Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer. I/d : integrated intensity unit thickness for FePt-fct(001).

	$\Delta\theta_{50}$ (deg.)	Crystallite (nm)	I/d (counts/nm)
#1	6.1	6.1	45.8
#2	4.4	7.4	67.8

(AGFM)を用いて磁気特性を測定した。なお、基板の反磁性は補正していない。Fig. 6(a), (b)で示した構造において、Fe-Pt層は共に同等の結晶学的特性を有するにもかかわらず、MgO介在層の有無で、ループの肩の形状に大きな違いが見られる。測定後、Fe-Si層を塩酸溶液を用いて溶解し再度測定を行った結果、試料のループは両者ともに肩の張ったほぼ同様の形状と垂直異方性を有していることを確認した。従って、ループの肩の形状は、層間交換結合の有無に対応すると考えられ、MgO介在層が無い場合、Fe-Pt層とFe-Si層が層間交換結合により結合し磁化反転していることが推察される。以上から、Fig. 4の垂直複合膜媒体に対する極カーループの形状変化は、Table 1に示した結晶学的特性の改善による効果というより、MgO介在層導入により裏打ち層との層間交換結合を断ったことによる効果であると考えている。

一方、振動試料型磁力計による面内磁化曲線の測定において、垂直複合膜媒体#1, #2に対する抗磁力はそれぞれ40 Oe, 8 Oeと大きく異なった。このような軟磁気特性の変化については、Co-Cr系二層膜媒体においても報告されている^{18)~20)}。この現象は、上記層間交換結合、もしくは静磁気的な結合²¹⁾に起因すると考えられるが、今後詳細な検討を要する。

3.4 垂直複合膜媒体の記録特性

Fig. 7に両媒体の入出力特性を示す。Fig. 4のそれぞれの極カーループのHcにおけるループ傾きに対応し、MgO介在層を有する媒体#2においては、#1に比べ、再生出力の立ち上がりが急峻である。

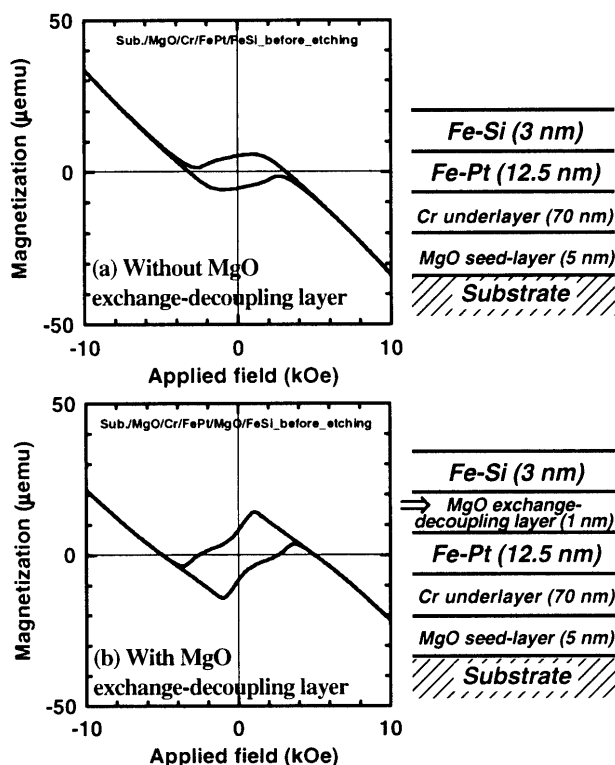


Fig. 6 Effect of MgO exchange-decoupling layer on magnetization reversal, measured by AGFM without diamagnetism correction. (a) without an MgO exchange-decoupling layer, (b) with an MgO exchange-decoupling layer.

Fig. 8に記録密度特性を示す。媒体#2では再生出力が増加し、また D_{50} として220 kFRPIの高い記録分解能が得られた。この効果により、媒体ノイズは記録密度と共に増大するものの、Fig. 9に示すように、200 kFRPIでも比較的高いSN比が得られることがわかった。

Fig. 10に媒体#2の記録パターンのMFM像を示す。4 kFRPIでも転移間に逆磁区のない飽和記録ができていていることを示す。また500 kFRPIの明瞭な記録パターンも得られており、

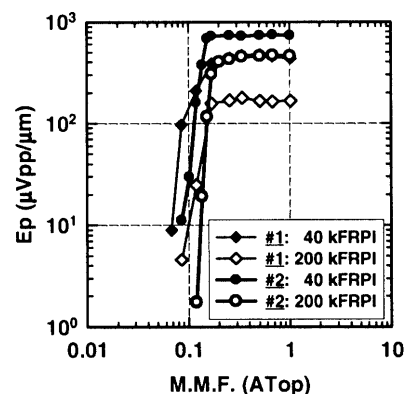


Fig. 7 Dependence of the output on MMF for Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer.

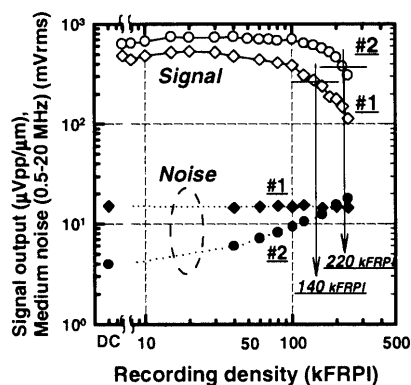


Fig. 8 Density response for Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer.

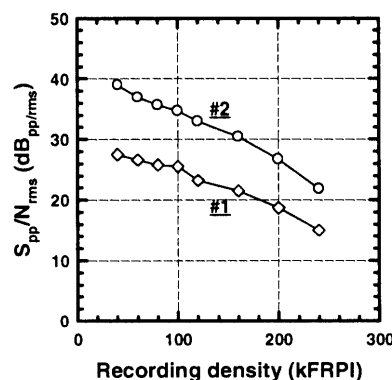


Fig. 9 SNR ($dB_{p-p/rms}$) for Fe-Pt media with Fe-Si back-layers. #1: without an MgO exchange-decoupling layer, #2: with an MgO exchange-decoupling layer. An MR reproducing head was used ($G_s = 0.2 \mu m$, $T_w = 1.2 \mu m$).

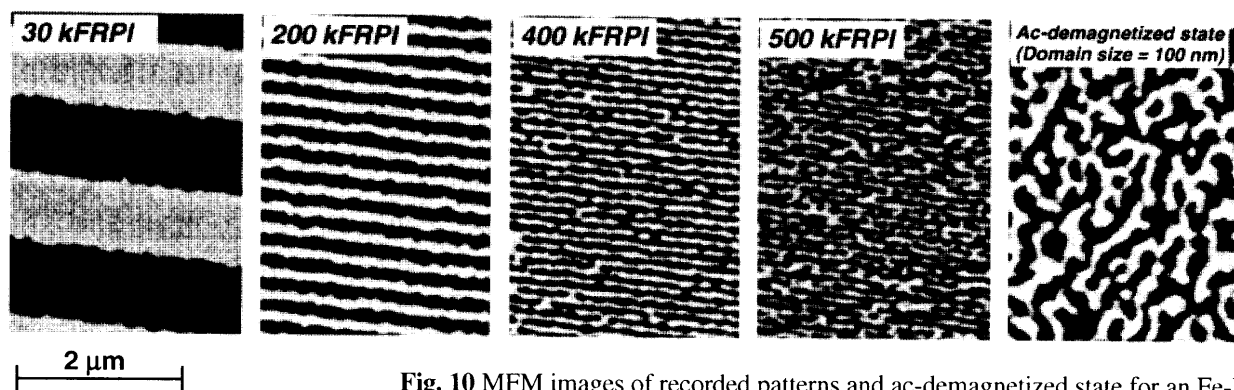
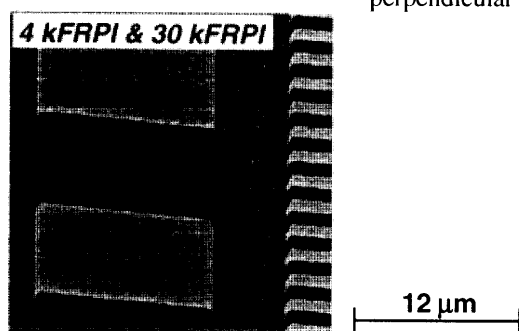


Fig. 10 MFM images of recorded patterns and ac-demagnetized state for an Fe-Pt perpendicular composite medium with an MgO exchange-decoupling layer (#2).



部分的には非常に高い記録分解能を有することがわかる。一方、転移部における磁化のゆらぎは見られるものの、その記録密度による変化は顕著ではない。さらに、交流消磁後のパターンからは、膜面内方向に磁氣的結合の強さが示唆されるものの、高密度記録ができることもFe-Pt系の特徴と考えられる⁸⁾。

飽和記録と高出力についてはM-Hループの形状に関係することが報告されており²²⁾、MgO介在層を有する媒体#2における結果は、ループ形状が矩形に近づいたことによる効果と考えられる。一方、このようなループの形状と記録分解能については、磁区寸法も考慮に入れて、今後詳細な検討が必要と考えている。

4. 結論

Fe-Pt垂直複合膜媒体においては、裏打ち層とFe-Pt層との層間交換結合がFe-Pt層のループ形状に影響する。高 B_s 材料Fe-Si裏打ち層とFe-Pt層との間にMgO介在層を導入した垂直複合膜媒体で、矩形に近い極カーループが得られた。この媒体は、40 kFRPIにおいて38.9 dB_{pp/rms} ($T_w=1.2 \mu\text{m}$)のSN比を示した。また低記録密度においても逆磁区のない飽和記録が実現でき、さらに膜面内方向に強い磁氣的結合が予想されるにもかかわらず、500 kFRPIの高密度記録が可能であると言える。さらなる超高密度記録の達成には、記録密度とともに増加する媒体ノイズを抑制することが課題である。

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。また単磁極ヘッドを作製したA I T山口香研究員に感謝する。

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).
- 7) Y. Ide, T. Goto, K. Kikuchi, K. Watanabe, J. Onagawa, H. Yoshida, and J. M. Cadogan: *J. Magn. Magn. Mater.*, **177-181**, 1245 (1998).
- 8) T. Suzuki, N. Honda, and K. Ouchi: *J. Appl. Phys.*, **85**, 4301 (1999).
- 9) 鈴木淑男, 梁瀬智, 本多直樹, 大内一弘: 日本応用磁気学会, **23**, 957 (1999).
- 10) S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 16, 71 (1980).
- 11) Y. Nakamura, S. Yamamoto, and S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 22, 376 (1986).
- 12) H. Muraoka, K. Sato, Y. Sugita, and Y. Nakamura: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 35, 643 (1999).
- 13) S. Yamamoto, Y. Nakamura, and S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 23, 2070 (1987).
- 14) N. Honda, K. Ouchi, and S. Iwasaki: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 32, 3804 (1996).
- 15) T. Suzuki, N. Honda, and K. Ouchi: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 35, 2748 (1999).
- 16) T. Suzuki, K. Harada, N. Honda, and K. Ouchi: *J. Magn. Magn. Mater.*, **193**, 85 (1999).
- 17) K. Taguchi, K. Yamakawa, N. Honda, and K. Ouchi: *The 3rd ICMR '98*, BP113, PS-123 (1998).
- 18) 杉田, 本田, 西田, 野田, 小林: S59年度電子通信学会全国大会予稿, 204, 1-205 (1984).
- 19) 本多直樹, 佐本哲雄, 法橋滋郎: 第8回日本応用磁気学会学術講演概要集, 14aA-1, 110 (1984).
- 20) K. Kuga, H. Yoshimoto, Y. Yoneda, J. Numazawa, and M. Naoe: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **15-S2**, 507 (1991).
- 21) W. Schmitt: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 27, 4216 (1991).
- 22) N. Honda, S. Yanase, and K. Ouchi: *J. Appl. Phys.*, **85**, 6130 (1999).