Pt 下地層改良による BaM フェライト薄膜の微粒子化

Decreasing the Grain Size of BaM Ferrite Films by Improving Pt Under Layers

船橋 信彦・馮 潔・松下 伸広・中川 茂樹・直江 正彦

東京工業大学 電子物理工学専攻 目黒区大岡山 2-12-1 (152-8552)

N. Funabashi, J. Feng, N. Matsushita, S. Nakagawa, and M. Naoe

Dept. of Phys. Elec., Tokyo Inst. of Tech., 2-12-1 O-okayama Meguro-ku, Tokyo 152-8552, JAPAN

(2000 年 10 月 5 日受理, 2000 年 12 月 6 日採録)

Magnetoplumbite-type BaM ferrite films deposited on Pt under layers have a large perpendicular anisotropy which is enough for the contact type of perpendicular magnetic recording media. Addition of Ta proved thoroughly effective in attaining smaller grain size in BaM ferrite films. By adding 1 at.% of Ta into Pt under layers, we decreased the grain size of those Pt under layers. BaM ferrite films with smaller grain size have higher perpendicular coercivity (3.5 kOe) and greater squareness (0.69). Lower noise level and higher recording density were obtained through this improvement.

Key words: perpendicular magnetic recording, BaM ferrite films, Pt under layers, Ta addition, decreasing grain size

1. はじめに

六方晶マグネトプランバイト型酸化物の Ba フェライト (以下 BaM と略記) の一軸磁気異方性定数が, 3×10^6 erg/cc と CoCr 系合金の 2 倍程度であり, 超高密度垂直磁気記録媒体として有望である。また, BaM は, 化学的に安定で耐磨耗性にも優れていることから, BaM 膜は保護層無しのコンタクト型媒体としての応用が可能であり, 従来の金属系媒体よりも高密度化に向けて有利であると考えられる。

BaM 薄膜は(111)面配向した Pt 下地層を用いることで結晶子の c-軸が膜面垂直に配向する。Pt(111)面は, 垂直配向した BaM の結晶の骨格となる酸素の再密面とのミスフィットが -7 % と小さく, また, Pt には酸素を活性状態で吸着する効果があることから, ヘテロエピタキシャル成長の効果がある。

本研究では, BaM/Pt 二層膜媒体において, 低ノイズ化を実現するために, BaM 粒子サイズの微細化を試みた。そのための手段として, Pt 下地層の微粒子化を考え, Pt 下地層への Ta 微量添加を試みた。

この結果, BaM 粒子が微細化され, 垂直保磁力の増加も見られ, 低ノイズ化とともに記録分解能も改善されたので報告する。

2. 実験方法

試料は全て対向ターゲット式スパッタ法により作成した。ガラスセラミックス基板 ((株) OHARA TS-CZ) 上に Pt 下地層を基板温度 $T_{s(Pt)}$ を 100 から 350 °C に変化させて堆積後, BaM 層を $T_{s(BaM)} = 550$ °C で堆積した。Pt 下地層厚 t_{Pt} は 15 nm で一定とし, BaM 層厚 t_{BaM} は 25 から 100 nm まで変化させた。

Pt 下地層への Ta 添加は Pt ターゲット上に 1×1 cm² の Ta チップをのせ, 添加量はチップの枚数により制御した。

本研究では, 最大 1 at.% の Ta を添加したが, 1 at.% 未満では添加による効果がなかったため, 添加量 1 at.% の結果のみ報告する。

堆積後のアニール処理を行っていない as-deposited の状態で, 膜表面の状態を原子間力顕微鏡 (AFM), 結晶性を X 線回折ダイアグラム (XRD), 磁気特性を振動試料式磁気力計 (VSM) およびトルク磁力計により評価した。

記録再生特性の評価はマージ型 MR ヘッドにより行い, その仕様は書き込みギャップ長 0.3 μ m, 書き込みトラック幅 1.3 μ m, 読み込みギャップ長 0.18 μ m, 読み込みトラック幅 0.71 μ m である。

3. 結果

Fig. 1 に 15 nm 厚の Pt 下地層表面の AFM 像を示す。(a) が $T_{s(Pt)} = 250$ °C で Pt を堆積直後の状態で, (b), (c) は Pt 堆積後, BaM 膜堆積時と同じ条件である基板温度 550 °C で 2 時間の annealing を行ったものである。(a) と (b) を比較すると, annealing により粒子が肥大化しているのがわかる。これは, BaM 膜の結晶化に必要な 550 °C という高い基板温度により Pt 粒子が成長しているためで, この粒成長により Pt の粒子サイズは約 50 nm と肥大化している。従って, この上に堆積する BaM の粒子サイズは必然的に大きくなることが予想される。そこで, Pt の粒成長を抑制するために Pt 下地層中に Ta を添加したところ, (c) に見られるように Pt の粒子サイズを 35 nm 程度に抑制することができた。

Fig. 1 AFM images of Pt and Pt-Ta under layers.

(a) Pt as-deposited ($T_{s(Pt)} = 250$ °C)

(b) Pt post-annealed (550 °C)

(c) Pt-Ta post-annealed (550 °C)

Fig. 2 に Pt および Pt:Ta 下地層上に形成した BaM 層表面の AFM 像を示す。(a) が Pt 下地層上の BaM で、(b) が Pt:Ta 下地層上の BaM である。(a-1) と (b-1) では下地層の微粒子化による効果をはっきりと確認することは難しいが (a-2) と (b-2) の比較により BaM 粒子の微細化が確認できる。

Fig. 2 AFM images of BaM layers.

- (a-1) BaM (50 nm)/Pt
- (a-2) BaM (100 nm)/Pt
- (b-1) BaM (50 nm)/Pt:Ta
- (b-2) BaM (100 nm)/Pt:Ta

Fig. 3 に XRD 測定より見積もった Pt 下地層の深さ方向の結晶子サイズ $\langle D \rangle_{\text{Pt}(111)}$ と c-軸分散角 $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ の Pt 堆積温度依存性を示す。 $\langle D \rangle_{\text{Pt}(111)}$ は Ta 添加によりほとんど変化を見せないが、 $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ は Ta 添加により増加した。

Fig. 3 $\langle D \rangle_{\text{Pt}(111)}$ and $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ of Pt under layers as a function of Pt deposition temperatures $T_{\text{s(Pt)}}$.

BaM 層についても Pt 下地層と同様の傾向を示している。Fig. 4 に Pt 堆積温度 250 °C での深さ方向の結晶子サイズ $\langle D \rangle_{\text{Pt}(111)}$ と c-軸分散角 $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ の BaM 層厚依存性を示す。Ta 添加により Pt 下地層の $\Delta \theta_{50}$ が増加したため、BaM 層の $\Delta \theta_{50}$ も増加した。また、層厚の減少に伴い深さ方向の結

晶子サイズが減少しているが、Ta 添加による効果は見られなかった。

Fig. 4 $\langle D \rangle_{\text{Pt}(111)}$ and $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ of BaM layers deposited on Pt and Pt:Ta under layers as a function of BaM layer thickness.

Fig. 5 $H_{\text{c}\perp}$ and $H_{\text{c}\parallel}$ of BaM layers deposited on Pt and Pt:Ta under layers as a function of Pt deposition temperature.

Fig. 5 に保磁力の Pt 堆積温度依存性を示す。BaM 層厚は 100 nm である。Pt 下地層への Ta 添加により膜面垂直方向保磁力 $H_{\text{c}\perp}$ が 1 kOe 以上増加し、 $T_{\text{s(Pt)}}=250$ °C 以上で $H_{\text{c}\perp}$ が約 3.5 kOe となった。また、 $T_{\text{s(Pt)}}=250$ °C 付近で面内保磁力 $H_{\text{c}\parallel}$ が約 1 kOe 増加している。

$H_{\text{c}\perp}$ の増加の主な理由として膜内での粒子の微細化による単磁区粒子の増加が考えられる。面内保磁力の増加は $\Delta \theta_{50(\text{Pt})}$ の増加と相関が見られることから、結晶子の配向分散が増加したことが単磁区粒子の増加に関係があると考えられる。

また、 $T_{\text{s(Pt)}}=250$ °C において Ta 添加により垂直磁気異方性定数 $K_{\perp}$ が 1.59×10^6 erg/cc から 1.91×10^6 erg/cc に、

異方性磁界 H_k が 11.9 kOe から 13.8 kOe にそれぞれ増加している。

Fig. 6 にす $T_{s(Pt)}=250$ °C における保磁力の BaM 層厚依存性から、層厚の減少に伴い保磁力の増加量が減少していることがわかる。Fig. 2 で示したように、層厚が薄くなると粒子サイズの微細化の効果が少なくなっており、このことから垂直保磁力増加は二次元的な粒子の微細化によるものであると考えられる。

Fig. 6 $H_{c\perp}$ and $H_{c\parallel}$ of BaM/Pt and BaM/Pt:Ta films as a function of BaM layer thickness.

粒子の微細化に成功するとともに、垂直保磁力の増加や角形比の増加など低ノイズ化に向けての磁気特性の改善も見られたことから記録再生特性評価を行った。Fig. 7 および Table 1 にその結果を示す。

Ta 添加の有無によらず BaM 膜の飽和磁化は 3.5 kG 程度であったため、信号強度はほぼ膜厚で決まる値となり、BaM 層厚を半分にすると信号強度も 50 % 程度減少した。

Ta 添加により記録分解能 D_{50} が向上し、最大で 181 kFRPI を達成した。これは、 H_k の増加など垂直磁気異方性の向上によるものであると考えられる。

ノイズレベルは $t_{BaM}=100$ nm においては Ta 添加により 25 % 程度低減することができた。また、BaM 層厚を 50 nm に薄くすることでノイズレベルを約 $20 \mu V_{rms}$ まで減少することができた。

Ta 添加により信号強度はほとんど変化せずにノイズレベルが減少したため、SN 比が改善された。また、BaM 層の薄層化により信号強度が減少したが、それ以上にノイズレベルが減少したため、SN 比は更に改善され、最大で 27 dB を達成した。

Table 1 Read/Write characteristics.

	BaM (100 nm) /Pt:Ta	BaM (100 nm) /Pt	BaM (50 nm) /Pt:Ta	BaM (50 nm) /Pt
D_{50} [kFRPI]	181	140	175	159
$S/N(D_{50})$ [dB]	16.0	16.4	21.5	19.6

(a) Signal output vs recording density.

(b) Noise power vs recording density.

(c) S/N ratio vs recording density.

Fig. 7 Read/Write characteristics of BaM/Pt and BaM/Pt:Ta media.

4. まとめ

本研究では、BaM/Pt 二層膜において BaM 粒子の微細化を目的として、Pt 下地層への Ta 微量添加を試みた。

Pt 下地層に 1 at.% の Ta を添加することにより Pt の粒子サイズを 35 nm 程度に抑制することができた。また、これにより BaM 粒子を微細化することができた。

磁気特性では Ta 添加により垂直および面内保磁力がそれぞれ増加した。垂直角形比も増大したが飽和磁化は変化しなかった。垂直保磁力の増加は粒子の微細化、面内保磁力の増加は c-軸分散角の増大によるものと考えられる。

Ta 添加により記録分解能 D_{50} が向上し、最大で 181 kFRPI を達成した。これは、 H_k の増加など垂直磁気異方性の向上によるものであると考えられる。

ノイズレベルは $t_{\text{BaM}}=100$ nm において Ta 添加により 25 % 程度低減することができた。また、BaM 層厚を 50 nm にまで減少させることでノイズレベルを約 $20 \mu\text{V}_{\text{rms}}$ まで減少することができた。

Ta 添加により SN 比が改善され、また、BaM 層の薄層化によっても SN 比は更に改善され、最大で 27 dB を達成した。

謝辞

TS-CZ Disk 基板を御提供戴いた(株)オハラ、R&D センターの後藤直雪副参事、山口勝彦主任に感謝いたします。

参考文献

- [1] M. Matsuoka, M. Naoe, and Y. Hoshi, "Ba-ferrite thin-film disk for perpendicular magnetic recording," *J. Appl. Phys.* vol. 57 pp4040-4042, 1985.
- [2] M. Matsuoka, M. Naoe, and Y. Hoshi, "Sputter deposition and read/write characteristics of Ba-ferrite thin film disk," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 21 pp1474-1476, 1985.
- [3] X. Sui, B. K. Cheong, D. E. Laughlin and M. H. Kryder, "Growth of perpendicular barium hexaferrite thin film media on a Pt underlayer for high density perpendicular magnetic recording," *J. Magn. Soc. Jpn.*, vol.18, No. S1, pp319-322, 1994.
- [4] T. Siosawa, M. Ichinose, N. Matsushita, S. Nakagawa and M. Naoe, "Crystallographic and magnetic characteristics of c-axis oriented Ba ferrite layer deposited on Pt(111) underlayer," *J. Magn. Soc. Jpn.*, vol.21, No. S2, pp73-76, 1997.
- [5] N. Honda, T. Kiya and K. Ouchi, "Correspondence of media noise and recording characteristics to M-H loop in perpendicular recording media," *J. Magn. Soc. Jpn.* vol. 21, No. S2, pp505, 1997.