

CoPt 基合金/グラニューラ積層媒体の実効ダンピングファクター

○日向 慎太郎^{a,b)}, 斉藤 伸^{b)}^(a)日本学術振興会特別研究員 (PD), ^(b)東北大学)

Effective damping factor for CoPt based continuous/ granular stacked medium

○Shintaro Hinata^{a),b)}, Shin Saito^{b)}^(a)JSPS Research Fellow (PD), ^(b)Tohoku University)

はじめに マイクロ波アシスト磁気記録 (Microwave assisted magnetic recording: MAMR) は, トリレンマ課題打破に有用な技術として提案され, 近年実際の媒体へのアシスト磁化反転結果が報告され始めた¹⁾. 実用化には第一世代として CoPt 基合金を用いたグラニューラ媒体の適用が検討されている²⁾. MAMR 媒体の材料開発にあたっては, 静的な磁気定数 (飽和磁化 M_s , 一軸結晶磁気異方性定数など) に加え, 動的磁気定数, 特にマイクロ波への応答に関わる実効ダンピングファクター α_{eff} および磁気回転比 γ の把握が重要である. 一般に垂直磁気記録媒体では, 粒間交換結合の分散を抑制する目的でグラニューラ層上に極薄の非磁性中間層を介して異方性磁界の異なる CoPt 基合金薄膜を積層した積層構造が適用されており, マイクロ波を印加した際には, 磁氣的層間結合の強さに応じて角度差を有する上下層の磁化がほぼ同位相で歳差運動することが知られている³⁾. しかしながら, このような積層媒体の α_{eff} については明らかとなっていない. 本研究では, 種々の CoPt 基グラニューラ層と CoPt 基合金層とを組み合わせた積層媒体について Q-band キャビティを用いて強磁性共鳴 (FMR) を測定し, 積層媒体の α_{eff} の振る舞いについて検討したので報告する.

実験結果 Fig. 1 には一例として種々の膜厚 d_{CL} を有する CoPt 基合金薄膜層 (CL) を CoPt 基グラニューラ層 (GL) 上に直接積層させた $\text{Co}_{82}\text{Cr}_{10}\text{Pt}_8$ (d_{CL} nm) / $\text{Co}_{84}\text{Pt}_{16}\text{Cr}_{10}$ -8mol(SiO_2) (16 nm) 媒体の Q-band FMR 観測結果を示す. 外部磁界 $H_{\text{DC}}^{\text{ext}}$ は膜面直方向に印加した. GL (16 nm) および CL (4 nm) 単層 (図中灰色の実線) の FMR はそれぞれ共鳴磁界 $H_{\text{DC}}^{\text{res}} = 2.6$ および 10.5 kOe にほぼ同じ線幅で観測された. また, 積層媒体の $H_{\text{DC}}^{\text{res}}$ は d_{CL} を増加させるにしたがい増加の傾向を示した.

Fig. 2 には積層媒体の (a) 共鳴磁界 $H_{\text{DC}}^{\text{res}}$ および (b) α_{eff} の d_{CL} 依存性を示す. (a) 中の実線には各単層膜の内部磁界 ($H_k - 4\pi M_s$) および磁気回転比 γ の加重平均値からの算出値 $H_{\text{DC}}^{\text{res, calc}}$ を示した. α_{eff} は共鳴線幅 $\Delta H_{\text{DC}}^{\text{res}}$ から $\alpha_{\text{eff}} = \gamma \Delta H_{\text{DC}}^{\text{res}} / 2\omega$ により導出した. $H_{\text{DC}}^{\text{res}}$ は d_{CL} を 0 (GL 単層膜) から 4 nm へと増加させるにしたがい 2.6 から 4.5 kOe へと増加した. これらの値は $H_{\text{DC}}^{\text{res, calc}}$ とほぼ対応しており, 積層化により媒体の内部磁界が平均化されたと考えられる. GL および CL 単層の α_{eff} はそれぞれ 0.033 であり, ほぼ同値であった (図中細破線および点線). しかしながら, CL を GL 上に積層させ d_{CL} を 0 から 4 nm へと増加させるにしたがい, 0.033 から 0.053 へと大きく増加することが判明した. この傾向は, 積層媒体における α_{eff} が CL および GL の α_{eff} の加重平均値では定まらないことを示唆しており, 興味深い. 講演では他の GL および CL の組み合わせにおける結果も紹介し, 上記線幅変化のメカニズムについて考察する.

参考文献 1) Y. Nozaki *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **112**, 083912 (2012). 2) K. Yamada *et al.*, *Digest of the 24th Magn. Rec. Conference (TMRC)*, **24**, 64 (2013). 3) S. Hinata *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **109**, 083935 (2011).

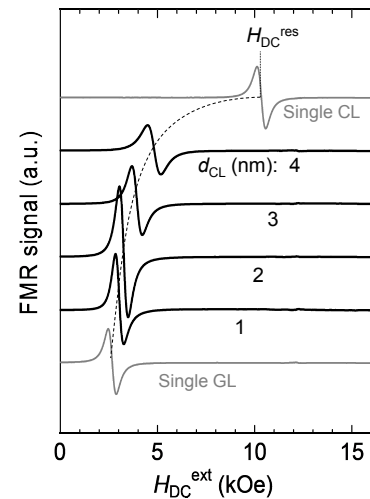


Fig. 1 FMR signal for stacked media with layered structure of CoPtCr (d_{CL}) / CoPtCr-SiO₂ (16) / Ru (20) / Pt (6) / Ta (5) / sub.

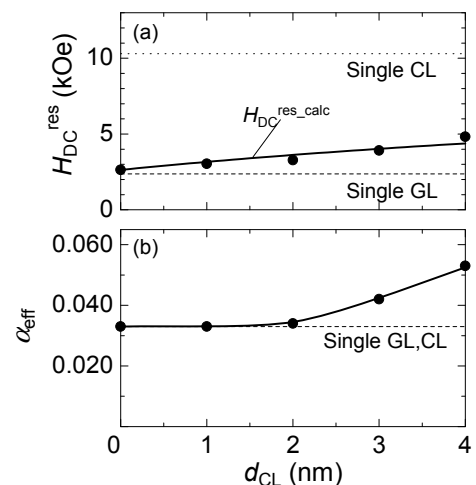


Fig. 2 FMR resonance field $H_{\text{DC}}^{\text{res}}$ and effective damping factor α_{eff} as a function of capping layer thickness d_{CL} for stacked media.

六方晶 $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜の原子層組成変調構造に及ぼす添加元素の効果 (I)

○日向 慎太郎^{a,b)}, 山根 明^{b)}, 齊藤 伸^{b)}

(^{a)}日本学術振興会特別研究員 (PD), (^{b)}東北大学)

Effect of additional element on compositional modulated atomic layered structure of the hexagonal $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ alloy film (I)

○Shintaro Hinata^{a), b)}, Akira Yamane^{b)}, Shin Saito^{b)}

(^{a)}JSPS Research Fellow (PD), (^{b)}Tohoku University)

はじめに マイクロ波アシスト磁気記録は、トリレンマ課題打破に有用な技術として提案され、近年実際の媒体へのアシスト磁化反転の結果が報告され始めた¹⁾。実用化の際には第一世代としてCoPt基合金を用いたグラニューラ媒体の適用が検討されている²⁾。CoPt基合金磁性結晶粒の一軸結晶磁気異方性 (K_u) を高めるためには、基板加熱成膜により組成の異なる原子層の交互積層構造 (原子層組成変調構造) を有する稠密面配向六方晶を形成させることが有効である³⁾。しかしながら、CoPt基合金を用いたグラニューラ媒体では、加熱成膜を行うと磁性結晶粒の K_u が合金薄膜の値の半分程度にまで低下してしまうことが判明している⁴⁾。この原因としてはグラニューラ化のために添加した非磁性粒界相に含まれる金属元素 (Si, Ti, ...etc) またはガス元素 (O等) が磁性結晶粒中に残存し、積層欠陥の発生や原子層組成変調構造形成の抑制が生じている可能性が指摘されているが、実験的には明らかにされていない。本講演では、 $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜を基準として添加元素 (Si, Ti, Zr, Cr, W) の磁性結晶粒への固溶が結晶構造および K_u に与える影響について検討した結果を報告する。

実験結果 Fig.1 には $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金へ元素Mを x at.% 添加し基板温度 $T_{\text{sub}} = 300$ °Cにて加熱成膜した $(\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2})_{100-x}\text{M}_x$ (M: Si, Ti, Zr, Cr, W) 薄膜の六方晶積層度合いの添加元素濃度依存性を示す。縦軸はIn-plane X線回折の10.0回折線の11.0回折線との比をローレンツ因子および原子散乱因子で補正したCorrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ である。副軸はCorrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ から統計的な手法を用いて算出した $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金が不規則相を形成した場合のfcc原子積層出現割合 P_{fcc} である⁵⁾。Corrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ は $x = 0$ の $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 薄膜においては約0.20を示した。これはhcp原子積層中に導入されるfcc原子積層の出現割合が約0.5%であることを示唆している。添加の効果はM元素の族によって傾向が分かれており、CrおよびWを添加した試料では、10 at.%の添加においてもCorrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ に変化はほとんど見られなかった。また、TiおよびZrを添加した試料では値が低下し、0から5 at.%の添加で P_{fcc} は約0.5から3%に増大した。Siを添加した際には顕著な低下が見られ、わずか2 at.%の添加で主としてfcc原子積層となることが判明した。

Fig. 2 には上記試料における原子層組成変調構造の形成度合いの x 依存性を示す。縦軸はout-of-plane X線回折の超格子線の基礎線との比をローレンツ因子および原子散乱因子で補正したCorrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ である。Corrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ はM元素の添加により0.015から単調に減少した。Crでは10 at.%添加しても組成変調構造が残った。しかしながらTiおよびWでは約10 at.%, SiおよびZrでは約4%の添加でほぼ不規則相となった。上記結果から、Siは僅か2 at.%の添加で $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜の六方晶積層および原子層組成変調構造の形成を著しく阻害することが判明した。したがってCoPt基合金のグラニューラ化において SiO_2 を非磁性粒界相として使用する場合、化学量論組成の SiO_2 形成が必須となる。講演では添加元素が K_u に与える影響についても報告する。

参考文献 1) Y. Nozaki et al., *J. Appl. Phys.*, **112**, 083912 (2012). 2) K. Yamada et al., *Digest of the 24th Magn. Rec. Conference. TMRC*, **24**, 64 (2013). 3) S. Saito, et al., *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 3201205 (2014). 4) K. Tham, et al., *J. Appl. Phys.*, **115**, 17B752-1 (2014). 5) S. Saito, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **42**, 145007-1 (2009).

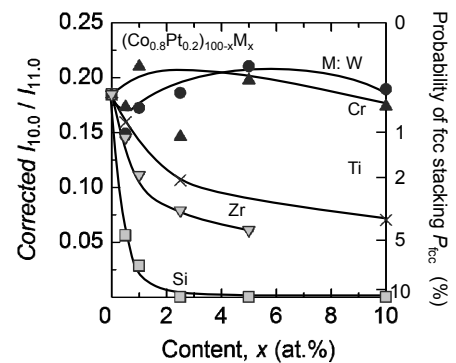


Fig. 1 Corrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ as a function of additional material M content x for $(\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2})_{100-x}\text{M}_x$ (M: Si, Ti, Zr, Cr, W) films.

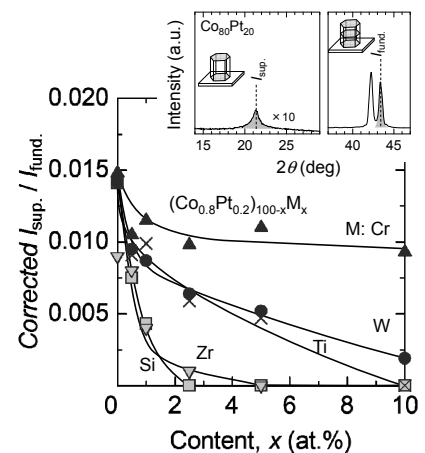


Fig. 2 Corrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ as a function of x for $(\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2})_{100-x}\text{M}_x$ films.

六方晶 $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜の原子層組成変調構造に及ぼす添加元素の効果 (II)○日向 慎太郎^{a,b)}, 山根 明^{b)}, 斉藤 伸^{b)}^(a)日本学術振興会特別研究員 (PD), ^(b)東北大学Effect of additional element on compositional modulated atomic layered structure of the hexagonal $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ alloy film (II)○Shintaro Hinata^{a), b)}, Akira Yamane^{b)}, Shin Saito^{b)}^(a)JSPS Research Fellow (PD), ^(b)Tohoku University

はじめに 基板加熱成膜したグラニューラ媒体において磁性結晶粒の K_u が合金薄膜の半分程度にまで低下してしまう要因について検討した. 本講演では, 添加元素 (O) の磁性結晶粒への残存が原子層組成変調構造および K_u に与える影響について報告する.

実験結果 CoPt 合金薄膜は, $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ ターゲットを使用し基板温度 $T_{\text{sub}} = 300^\circ\text{C}$, 総ガス圧を 2.0 Pa に固定して, Ar 中の酸素分圧 P_{O_2} を調節し作製した. Fig. 1には酸素を添加して基板加熱成膜した $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金の六方晶積層度合いの P_{O_2} 依存性を示す. 副軸には $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金が不規則相を形成した場合のfcc原子積層の出現割合 P_{fcc} を示す. P_{fcc} は $5 \times 10^{-4} < P_{\text{O}_2} < 5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域 (図中灰色の領域) において5%以上を示しており, hcp原子積層中に導入される積層欠陥が P_{O_2} が 10^{-5} Pa の試料に比すると増大する傾向を示した. $P_{\text{O}_2} > 2.5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域においては急激に P_{fcc} が減少し, ほぼ完全なhcp原子積層となることがわかった.

Fig. 2には上記試料における原子層組成変調構造の形成度合いの P_{O_2} 依存性を示す. Corrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ は $P_{\text{O}_2} < 1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域においてほぼ一定値を保っているが, $P_{\text{O}_2} > 5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域 (図中灰色の領域) においては急激に値が低下し, $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金が不規則相を形成することが判明した.

Fig. 3にはVSMおよび磁気トルク計により評価した $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金薄膜の K_{u1} , K_{u2} , K_u ($K_{u1} + K_{u2}$) および M_s の P_{O_2} 依存性を示す. M_s は $P_{\text{O}_2} < 7.5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域においてほぼ一定値を保っているが, それ以上の領域では急激に減少し, $1 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ では約半分まで低下した. また, K_u は $P_{\text{O}_2} < 1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ の領域までは 10^7 erg/cm^3 台の値を保持しているが, それ以上の領域 (図中灰色の領域) では値が 10^6 erg/cm^3 台にまで低下した. この結果は, 定性的には上記Corrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ とCorrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ との影響が重畳してもたらされたものと解釈できる. 以上の結果から, グラニューラ媒体の作製においてプロセス中に微量酸素が存在すると, CoPt 基合金が酸化する前に原子層組成変調構造が乱されて不規則相化し, K_u が低下することが示唆される. 当日は断面構造を直接透過電子顕微鏡で観察した結果を交えて議論する.

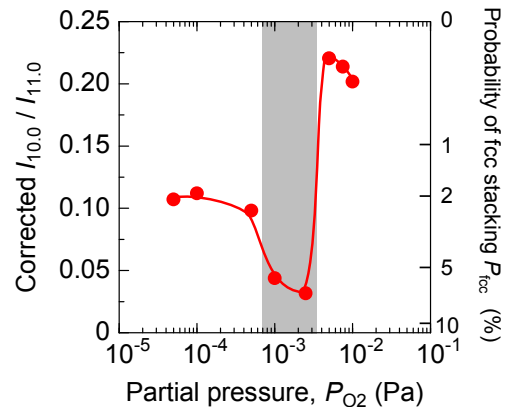


Fig. 1 Corrected $I_{10.0}/I_{11.0}$ as a function of partial pressure of O P_{O_2} for $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ films.

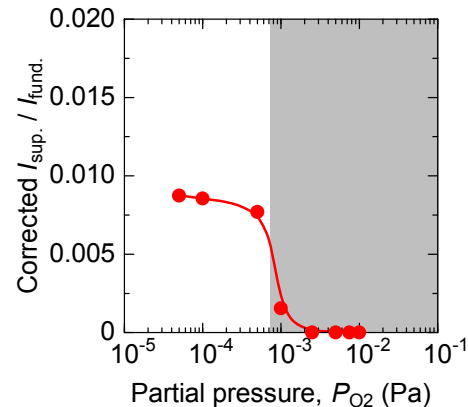


Fig. 2 Corrected $I_{\text{sup.}}/I_{\text{fund.}}$ as a function of P_{O_2} for $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ films.

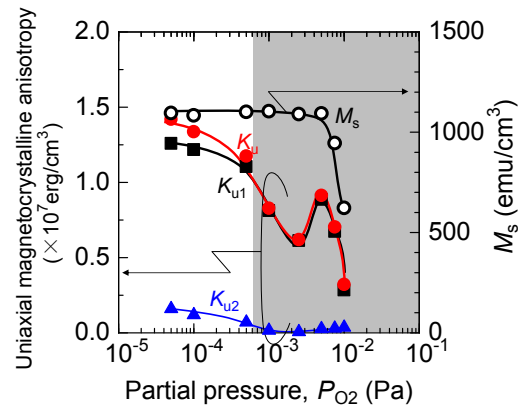


Fig. 3 K_u , K_{u1} , K_{u2} and M_s as a function of P_{O_2} for $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ films.

積層記録層を有するハードディスクにおける 消磁磁区構造の磁場印加方向依存性

齋藤久紀, 杉田龍二
(茨城大)

Dependence of demagnetized domain structure on applied field direction
in hard disks with recording layers consisting of a stacked structure

H.Saito and R.Sugita
(Ibaraki Univ.)

はじめに

ハードディスク (HD) における記録層の消磁磁区構造を明らかにすることは、記録特性向上にとって有益である。市販 HD の記録層は、酸素を含まない磁性層 (上層) と酸素を含むグラニューラー磁性層 (下層) から成る積層構造を有しており¹⁾、消磁磁区構造は消磁磁場印加方向に依存し、面内消磁した場合に漏れ磁場が最も低くなる²⁾。また、記録ヘッドにはトレーリングシールドが設けられており、記録磁場の面内成分を増加させることで媒体の磁化反転を容易にしている³⁾。本研究では、消磁磁区構造の磁場印加方向依存性を、上層と下層の消磁磁区構造の相違に着目して検討した。

実験方法

2種類の市販 HD (媒体 A 及び B) を用いた。媒体 A は、記録層が 3 nm の上層 (cap layer) と 13 nm の下層 (granular layer) から成る面記録密度 530 Gb/in² の capped 媒体、媒体 B は、記録層が 8 nm の上層 (hard layer) と 8 nm の下層 (granular soft layer) から成る面記録密度 120 Gb/in² の Exchange coupled composite (ECC) 媒体である。磁気力顕微鏡 (MFM) 観察に用いたサンプルを Table 1 にまとめる。

実験結果

Fig. 1 に垂直消磁または面内消磁されたサンプル A₁, A₂, B₁ 及び B₂ の MFM 像を示す。サンプル A₁ 及び B₁ における磁区サイズは、消磁磁場の印加方向に関わらず約 40~50 nm であり、面内消磁されたサンプル A₁ 及び B₁ からの漏れ磁場のコントラストは、垂直消磁された A₁ 及び B₁ に比べていずれも減少している。また、垂直消磁の場合、サンプル A₁ 及び B₁ の磁区サイズは、A₂ 及び B₂ とそれぞれほぼ等しいことが分かる。これは、垂直消磁の場合、下層が上層の影響を受け、両層が一体となった磁区が形成されたことを示している。一方、面内消磁の場合、サンプル A₁ 及び B₁ の磁区構造は A₂ 及び B₂ とはそれぞれ大きく異なっている。これは、面内消磁の場合、両層の磁区が一体化していないことを示している。以上の結果は、記録層構造の違いに依らず、印加磁場における面内成分の増加に伴い、上層及び下層の磁区構造が一体化しにくくなることを示している。

Table 1 Demagnetized samples used

for MFM observation.

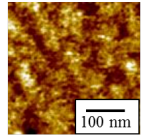
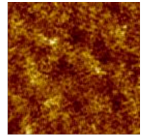
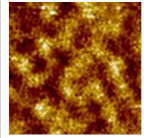
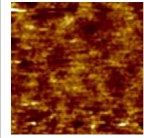
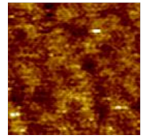
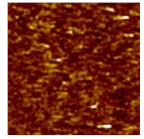
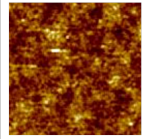
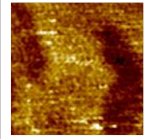
Sample	Remarks	Sample A ₁	Sample A ₂	Sample B ₁	Sample B ₂
A ₁	Medium A demagnetized perpendicularly or in-plane				
A ₂	Upper layer was etched from sample A ₁				
B ₁	Medium B demagnetized perpendicularly or in-plane				
B ₂	Upper layer was etched from sample B ₁				

Fig.1 MFM images of samples A₁, A₂, B₁ and B₂.

参考文献

- 1) G. Choe, J. Park, *IEEE Trans. Magn.*, 47, 4058 (2011).
- 2) S. Sato, Y. Yamaguchi, T. Komine, and R. Sugita, *IEEE Trans. Magn.*, 48, 3181 (2012).
- 3) L. Guan, T. Shimizu, J. Smyth, M. Dovek, Y. Liu, and K. Takano, *IEEE Trans. Magn.*, 44, 107 (2008).