

In-plane components of FePt nanogranular films on MgO underlayer with and without carbon segregant

J. Wang, Y.K. Takahashi and K. Hono

National Institute for Materials Science, Sengen 1-2-1, Tsukuba 305-0047, Japan

$L1_0$ -ordered FePt granular thin film is considered as the most promising candidate for heat assisted magnetic recording (HAMR) media [1]. To achieve recording density higher than 2 Tbit/in², $L1_0$ -FePt based granular media need to have an ultra-small grain size of about 4 nm, a narrow size distribution below 10% and columnar structure with strong (001)-texture. However, FePt grains deposited on (001) textured polycrystalline underlayer usually show remarkable in-plane components which can severely degrade the signal-to-noise ratio (SNR) of the recording medium [2]. It is believed that the clarification of the origin of the in-plane components for the FePt grains deposited on polycrystalline underlayer would make significant impact on the future development of HAMR media. In this work, we study the effect of carbon segregant on the in-plane components of the FePt thin films deposited on the polycrystalline MgO underlayer. The FePt films with optimized volume fraction of carbon segregant show not only smaller grain size but also enhanced perpendicular coercivity. Moreover, it is worth noticing that the in-plane components is also significantly suppressed compared with the FePt films without carbon segregant.

Figure 1 shows the in-plane TEM images of FePt films (a) without and (b) with carbon segregant. Without carbon segregant (Fig.1a), $L1_0$ -ordered FePt grains form an island-like microstructure with broad size distribution. By introducing 28 vol.% of carbon segregant (Fig.1b), the FePt grain size is reduced down to 9 nm with improved grain size distribution (15%). Such physical isolation weakens the ferromagnetic exchange coupling and lead to the enhancement of the perpendicular coercivity from 2.87 T (without carbon) to 3.90 T (with carbon). Moreover, from the shrunk in-plane M-H loop and reduced remanence ratio ($M_{r\parallel} / M_{r\perp}$), the in-plane component is also suppressed by introducing carbon segregant. To clarify the origin of such improvement, detailed microstructure characterization was carried out. Figure 2 presents the cross-sectional TEM image of the FePt film without carbon. It was found that the 001 plane of FePt grains is energy favorable to rotate 72.6° to match with MgO underlayer with different orientation when the big FePt grains grow cross the grain boundary. It can be detected that the crystal rotation do not triggered immediately at the grain boundary (Fig. 2a). So there is buffer zone in which FePt grains can maintain their initial texture meantime accumulate the strain energy due to the change of template. When the FePt grains grow beyond the buffer zone, it start to misalign to release the strain energy. So, the possibility is higher for big FePt grains to exceed the buffer zone and form in-plane components than small FePt grains on the poly- MgO underlayer.

Reference

- 1) A. Perumal, Y. K. Takahashi, and K. Hono, Appl. Phys. Express 1, (2008) 101301.
- 2) J. Wang, S. Hata, Y.K. Takahashi, H. Sepehri-Amin, B. Varapasad, , T. Schrefl, K. Hono, Acta Mat., 91 (2015) 41

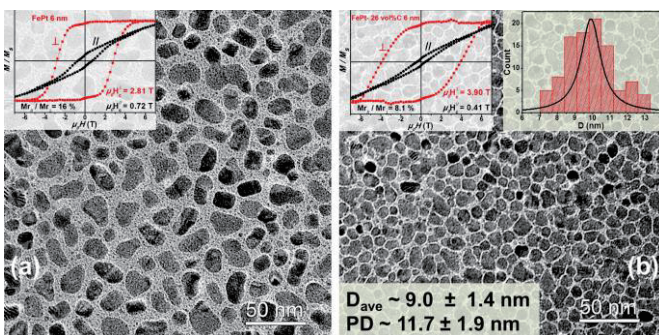


Fig.1 In-plane TEM images of 6 nm FePt- X vol. % C granular thin film on MgO (001) underlayer: (a) $X = 0$ and (b) $X = 28$. Inset: corresponding M-H curves and grain size distribution.

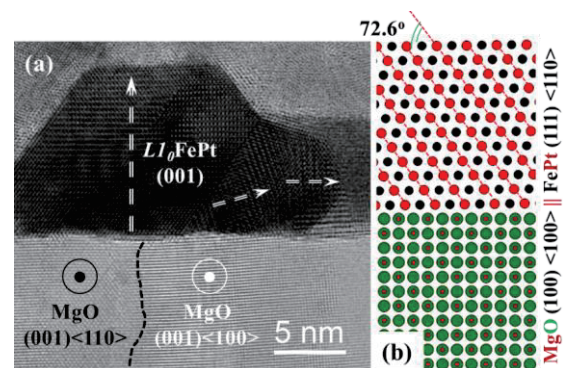


Fig.2 Cross-sectional TEM image FePt-28 vol.% on MgO (001) underlayer (a) and epitaxial relation of misaligned FePt grains at the grain boundary of MgO underlayer (b).

FePt グラニューラー薄膜の成長過程における粒子密度変化

鈴木一平、Jian Wang、高橋有紀子、宝野和博
(物質・材料研究機構)

Change in grain density of FePt-based granular thin films with film growth process

I. Suzuki, J. Wang, YK. Takahashi, and K. Hono
(NIMS)

はじめに: 超高記録密度が求められる次世代磁気記録方式として、 $L1_0$ -FePt グラニューラー膜を用いた熱アシスト磁気記録方式が有望視され、その開発が急がれている。目標とされる記録密度 4 T/in^2 を実現するには、カラム状結晶粒径とピッチサイズの低減が不可欠であり、粒径 4 nm およびピッチサイズ 5 nm 程度にまで均一に微細化されたグラニューラー膜が必要である。そのために様々な研究がなされてきたが、多くが粒径制御に主眼が置かれている。しかし、記録密度は平均の結晶粒径とその分散に大きく依存するため、薄膜の成長初期過程における粒子密度と分散の制御が必要である。そこで今回我々は、FePt 媒体の成長過程における微細組織変化を、結晶粒径のみならず粒子密度を基板温度と非磁性マトリックス材料の体積比を変えて調べたので、これを報告する。

実験方法: FePt または FePt-C、および FePt/FePt-C 積層試料を magnetron-sputtering 法を用いて作製した。基板は下地層の品質影響を除外するため MgO(001)単結晶を使用した。構造及び規則度は XRD、磁気特性は SQUID-VSM、微細組織は TEM を用いてそれぞれ評価した。

実験結果: 初期成長時の微細組織を調べるため、膜厚 0.5nm -FePt を異なる基板温度で作製した。基板温度 100°C では、平均粒径 2.0 nm 、ピッチ距離 3.9 nm 、粒子密度 $6.5 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ であった(Fig. 1(a))。基板温度の上昇とともに粒子密度は低下していき(Fig. 1(c))、基板温度 650°C では平均粒径 2.6 nm 、ピッチ距離 5.1 nm 、粒子密度 $3.9 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ にまで低下することがわかった。記録密度 4 T/in^2 を実現する媒体においては、1 bit あたり 6.2 個の粒子が必要とされる⁽¹⁾。つまり、最低 24.8 T/in^2 、即ち $3.85 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ を必要とするが、 650°C では初期成長時において既にこの値に達してしまっている。FePt グラニューラー膜は、核生成-核成長・合体を経て成長していくため、膜の堆積とともに粒子サイズが大きくなってしまふ⁽²⁾。そのため初期成長時においては、最終的な粒子密度以上の密度が求められることから、初期成長時にはより低温での製膜が有効であるといえる。発表では、膜成長とともに段階的に基板温度および非磁性マトリックス材のカーボン量を変えて作製した試料について、微細構造及び磁気特性を調べた結果についても併せて報告する。

参考文献

- 1) Roadmap of Advanced storage technology consortium (2016).
- 2) T. Shiroyama, *et. al.*, AIP Advances **6**, 105105(2016).

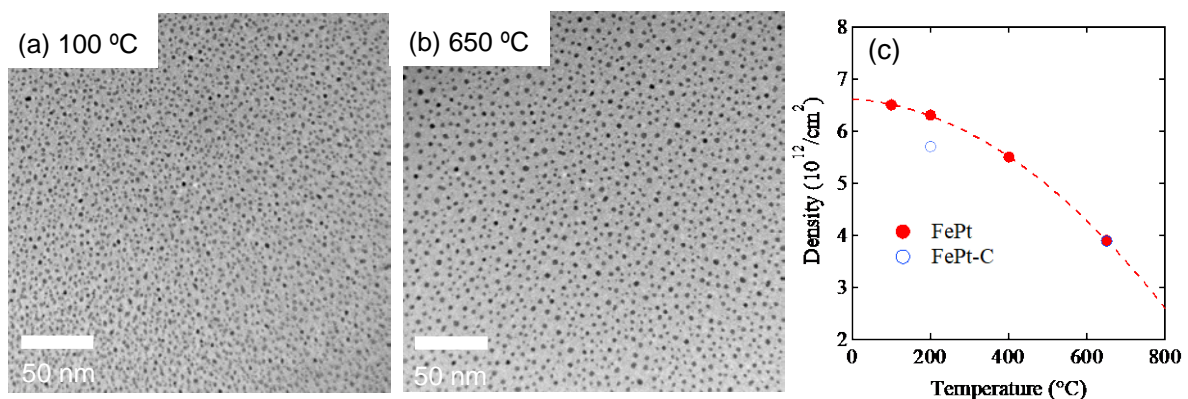


Fig.1 Plane-view TEM of 0.5-nm-thick FePt grown at (a) 100°C , (b) 650°C . (c) Grain density of 0.5-nm-thick FePt as a function of growth temperature.

粒界拡散を利用した網目状隆起下地層の提案

～ L₁₀ FePt グラニューラ媒体のコラム状微細組織実現のために

○清水 章弘, 日向 慎太郎, 徐 晨, 斉藤 伸 (東北大学)

Proposal of network-formed upheaval structure using grain boundary diffusion in underlayer for L₁₀ FePt-based granular media with columnar nanostructure

○Akihiro Shimizu, Shintaro Hinata, Shin Jo, and Shin Saito (Tohoku Univ.)

はじめに 磁気記録媒体の記録密度は 2022 年までに 4 Tbit/in² もの高密度化が求められており、これを実現する次世代の記録方式として熱アシスト磁気記録 (Heat Assisted Magnetic Recording, HAMR) が注目されている。再生信号の出力を確保し、かつ信号/雑音比が高く熱擾乱耐性を有する高記録密度 HAMR 媒体の実現には、室温で 2×10^7 erg/cm³ 以上の高い一軸結晶磁気異方性エネルギーを有する磁性結晶粒を微細かつコラム状に成長させたグラニューラ組織を実現する必要がある¹⁾。しかしながら現状最も実用化検討が進んでいる平坦表面を有する MgO 下地層を用いた L₁₀ 型 FePt-C 媒体では FePt 磁性結晶粒が球状に成長してしまい、孤立したコラム状結晶粒からなるグラニューラ組織が実現できていない。本研究では、熱絶縁層 (MgO 層)/ 結晶軸配向制御層 (bcc-Cr 合金層)/ 配向誘導層 (アモルファス層) からなる一般的な層構成の下地層の組織を詳細に解析し、その知見を元にコラム状磁性グラニューラ層を実現する新たな媒体設計指針を提案する。

実験結果 試料の層構成は MgO (5 nm)/Cr₈₀Mn₂₀ (30 nm)/a-Co₆₀W₄₀ (50 nm)/sub. とした。配向制御のため、アモルファス層の成膜後 620 °C への加熱と 20 ラングミュア相当の酸素暴露を施した。また MgO 層の成膜後には、記録層成膜を想定して試料に 630 °C への加熱を行った。成膜後には Out-of-plane XRD 測定により CrMn 層および MgO 層が bcc (002) および fcc (002) 面配向していることを確認した。Fig. 1 に MgO 層表面の原子間力顕微鏡 (AFM) 像を示す。表面には一様に網目状に盛り上がった構造 (逆オパール構造) が形成されている。この隆起部分は周期 15 nm - 60 nm、高さ 2 nm 程度であった。この表面組織の形成要因を調べるために試料の断面を透過電子顕微鏡 (TEM) にて高倍率観察した (Fig. 2)。MgO 層に形成された表面隆起部の下層には CrMn 粒界が存在していることがわかる。この CrMn 層の粒界には Co や W が存在していることを走査型 TEM の特性 X 線強度マッピングにより別途確認した。またアモルファス層材料を Cr₅₀Ti₅₀、Ni₆₀W₄₀ とした場合でも同様の現象が生じることがわかった。これらのことより MgO 層表面における網目状隆起構造は、作製時の高温プロセス時にアモルファス層構成元素が bcc-Cr 合金層の粒界を表層側に拡散することにより形成されることが示唆される。

粒界拡散を活用した新規媒体の提案 以上の結果を踏まえると、網目状隆起構造を活用したコラム状グラニューラ磁性層の形成法を提案できる。Fig. 3 に新たに考案した HAMR 媒体のモデル図を示す。積層構成は FePt-酸化物グラニューラ層/ FePt/ MgO/ bcc-Cr 合金層/ アモルファス層である。すなわち、MgO 層の網目状隆起構造上に純 FePt 層を成膜し、隆起構造が隣接結晶粒の初期核同志の接触を阻害した島状成長組織の形成を促す。このとき表面は結晶粒部分が盛り上がった構造 (オパール構造) となる。さらにその上に FePt-酸化物層を 2 相析出させることで、FePt 結晶粒をコラム状成長させたグラニューラ組織が実現されると期待される。

参考文献 1) Roadmap of Advanced storage technology consortium (2016).

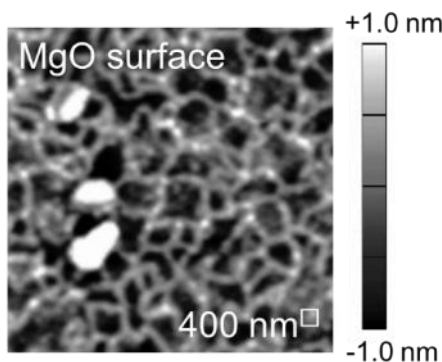


Fig. 1 AFM topography image of a MgO/ CrMn/ CoW film.

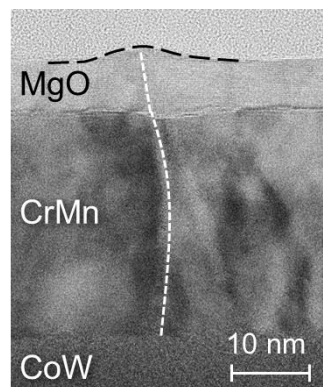


Fig. 2 Cross sectional view of TEM image.

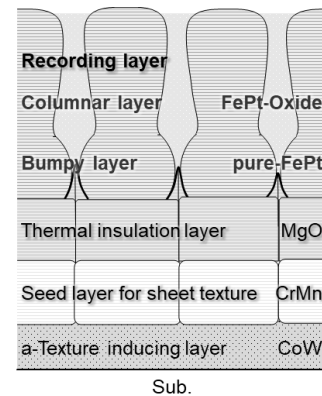


Fig. 3 Schematic of proposed structure for FePt granular media.

急速昇温熱処理による微細加工 Pt/Fe 積層ドットの規則合金化

苗木俊樹¹⁾, 三吉啓介¹⁾, 吉川大貴²⁾, 塚本新²⁾
 日本大学大学院理工学研究科¹⁾, 日本大学理工学部²⁾

Order alloying of microfabricated Pt/Fe stacked dots by Rapid Thermal Annealing

Toshiki Naeki¹⁾, Keisuke Miyoshi¹⁾, Hiroki Yoshikawa²⁾, and Arata Tsukamoto²⁾

Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ.¹⁾ College of Science and Technology, Nihon Univ.²⁾

はじめに Pt/Fe 薄膜に数秒間の急速昇温熱処理(RTA)を施すことで、高密度磁気記録用媒体の候補である $L1_0$ -FePt 微粒子群を形成可能であることを報告している¹⁾。媒体の超高密度化には単分散かつ規則配列したナノドットを作製する技術が要求されており、連続膜に対する RTA においては粒子群が不均一に形成することが課題である。また微細加工技術を用いたナノドット作製において、加工処理により生じるドット内部の微細構造欠陥は磁気異方性の低下や反転磁界分散を増大させる報告がある²⁾。そこで我々は微細加工後に RTA を施す工程を試みた。本報告では微細加工した Pt/Fe ドットの規則合金化、及び基板上への(001)配向誘起について RTA の到達温度、並びに積層する Pt/Fe の組成比検討を行い、形状及び磁気特性につき評価を行った。

実験方法 熱酸化 Si 基板上に電子線描画・リフトオフ法により直径約 65 nm の Pt/Fe ドットパターンを作製した。成膜は DC マグネトロンスパッタリング法により Pt/Fe (3.75 nm, Fe:Pt=50:50)を積層した。Pt/Fe ドットは真空炉にて赤外線照射により昇温速度 120 °C/sec. で昇温し、到達温度(a)450 °C, (b)630 °C, (c)800 °C の RTA を行った。ドット形状観察は走査型電子顕微鏡(SEM), 原子間力顕微鏡(AFM)を用い、磁気特性の計測には振動試料型磁力計, 磁気力顕微鏡(MFM)を用いた。

実験結果 Fig. 1 に各試料の表面 SEM 像と平均ドット径(D_a), 標準偏差(StD)を示す。高い温度においてもドット同士は結合せず、加工後の配置を保持し、低いサイズ分散であることを確認した。Fig.2 に膜面垂直, 水平方向にそれぞれ磁場を印加し計測した磁化曲線及び、(c)の残留磁化状態を MFM により局所的に観察した結果を示す。(a)は軟磁性及び面内磁気異方性を示した。(b),(c)より RTA の温度上昇に伴い規則合金化と考えられる高い保磁力を発現し、等方的な磁化曲線を示した。磁気像からはドット形成位置に2種の濃淡領域が確認でき、磁化容易軸が様々な方位を向いた $L1_0$ -FePt ドット群の形成が示唆される。次に磁気異方性軸の膜面垂直配向化の検討について報告する。過去に熱酸化 Si 基板上の Pt/Fe 連続膜の RTA において、数 at. % の Fe の組成比増加により、膜面垂直方向に高い磁気異方性を有する粒子群の形成を報告している³⁾。そこで本作製法においても積層する Fe の組成比を 5 at. % 増加し、Pt/Fe (3.75 nm, Fe:Pt=55:45)にて作製した。800 °C の RTA を施し形成したドット群の磁化曲線及び、残留磁化状態を表した磁気像を Fig. 3 に示す。磁化曲線は高保磁力(28 kOe)かつ高い残留磁化比(0.94)を示した。磁気像よりドット形成位置には濃い領域のみが現れたことから、膜面垂直方向に配向した磁化状態が保持されていることを示した。本作製工程において、高温の RTA 及び 5 at. % の Fe 組成比の増加により、膜面垂直に磁気異方性を誘起し、高い保磁力を示すナノドットパターンが形成可能であることを示した。

謝辞 本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤支援事業(S1311020)の助成により行った。

参考文献 1) A. Itoh, *et al.*, "IEICE technical report. Magnetic recording.", 105 (167),13 (2005).

2) D. Wang *et al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41 (2008) 195008 (6pp).

3) Masayuki Imazato *et al.*, MORIS2015, Penang, Malaysia, Tu-P-12, (2015).

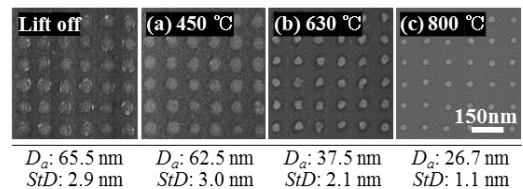


Fig. 1 SEM planer view, average diameter of FePt dots (D_a) and standard deviation of D_a (StD).

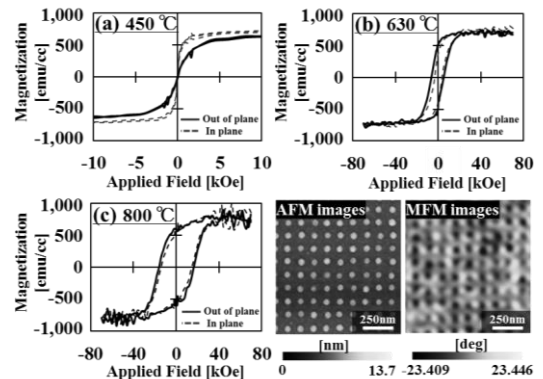


Fig. 2 Hysteresis loops measured at 300 K for FePt dots and AFM/ MFM images of (c)800 °C sample which were applied field from +70 kOe to 0 kOe.

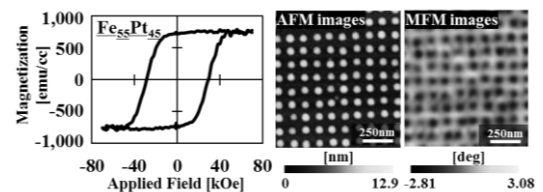


Fig. 3 Out of plane hysteresis loops measured at 300 K for $Fe_{55}Pt_{45}$ dots and AFM/ MFM images of $Fe_{55}Pt_{45}$ sample which were applied field from +70 kOe to 0 kOe.

ビットパターン媒体のための Si 基板上 MnGa (001)配向膜の作製

三輪 佳嗣, 石川 徹, 大島 大輝, 加藤 剛志, 岩田 聡
(名古屋大学)

Fabrication of (001) oriented MnGa film on Si substrate for application to bit patterned media

Y. Miwa, T. Ishikawa, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata
(Nagoya Univ.)

はじめに

局所的なイオン照射は、表面形状にほとんど影響を与えず微細な磁気パターン構造を作製できる手法であり、低コストで高密度なビットパターン媒体(BPM)の作製に応用できると考えられる。我々は、このイオン照射型ビットパターン媒体に適する材料として大きな垂直磁気異方性を有する $L1_0$ -MnGa 規則合金膜に注目し、ビットパターン膜を作製してきた¹⁾。しかし MgO(001)単結晶基板上に成長させた MnGa を用いた。応用上は安価なガラス基板上等に作製する必要があるため、そこで我々は、熱酸化膜付き Si 基板上に(001)配向させた $L1_0$ -MnGa の検討を行ってきた²⁾。本報告では CrB 下地層の利用や熱処理条件の検討を行うことで、高配向の $L1_0$ -MnGa (001)膜を熱酸化膜付き Si 基板上に成膜したので報告する。

実験方法

$L1_0$ -MnGa 規則合金膜の膜構成は Cr (2 nm) / MnGa (15 nm) / Cr (20 nm) / MgO (20 nm) / CrB (5 nm) / NiTa (25 nm) / Si sub. とした。MgO 層のみ超高真空蒸着により室温で成膜し、その他の層は、マグネトロンスパッタリング法で行った。なお、マグネトロンスパッタ室と真空蒸着室は真空中で繋がれており、試料を大気暴露することなく成膜した。MgO 層上の Cr バッファ層は室温でスパッタ成膜後、800°C で 60 分間、真空中で熱処理を行った。その後 200°C で MnGa 膜を成膜し、成膜後 $L1_0$ 規則化のため 400°C で 60 分間、真空中で熱処理を行った。膜の磁気特性は交番磁界勾配型磁力計、結晶構造は X 線回折装置で評価した。磁区構造は磁気力顕微鏡(MFM)により観察した。

実験結果

Fig. 1 は、Si 基板上に作製した MnGa 膜の X 線回折プロファイルである。MgO のバッファ層として CrB 層を挿入することにより、MgO の(001)配向性が向上した。また、規則格子線である MnGa 001 ピークが見られ、規則度を見積もると約 0.9 以上であった。Fig. 2 は、(a) Si 基板上、(b) MgO(001)基板上に作製した MnGa 膜の M - H ループである。Si 基板上の MnGa 膜は大きな垂直磁気異方性を示し、飽和磁化は 300 emu/cc となった。この大きな垂直磁気異方性は Fig. 1 で示した良好な(001)配向性に起因すると考えられる。なお、MgO 基板上の MnGa 膜 (Fig. 2 (b)) と比較すると、Si 基板上の MnGa の飽和磁化は半分程度であり、面内方向のループにヒステリシスも見られ、異方性分散があると考えられる。今回、CrB 層の挿入や熱処理条件の検討により、良好な磁気特性を有する MnGa(001) 配向膜を Si 基板上に作製することができたが、MgO 基板上の MnGa 膜の特性に近づけるためにはさらなる成膜条件の検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) D. Oshima et.al., IEEE Trans. Magn., vol.49, p.3608 (2013)
- 2) 根来翼 他, 第 38 回 日本磁気学会学術講演会, 3pA-2 (2014)

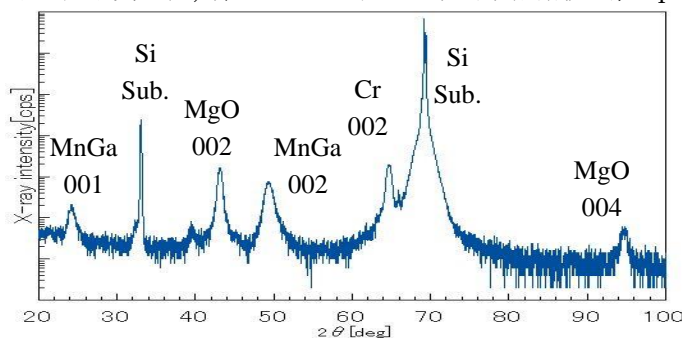


Fig. 1 X-ray diffraction profile of MnGa films: Cr (2 nm) / MnGa (15 nm) / Cr (20 nm) / MgO (20 nm) / CrB (5 nm) / NiTa (25 nm) / Si substrate.

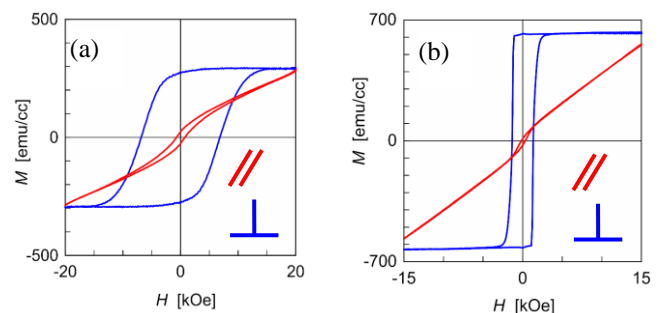


Fig. 2 (a) M - H loops of MnGa film grown on Si substrate and (b) on MgO (001) substrate.

CoGa 下地層を用いた極薄 L1₀-MnGa 膜の磁気パターンニング

堀江祐貴, 三輪佳嗣, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡
(名古屋大学)

Magnetical patterning of L1₀-MnGa ultrathin film grown on CoGa buffer layer

Y. Horie, Y. Miwa, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata
(Nagoaya Univ.)

はじめに

低コストでビットパターン媒体を作成する手法として、イオン照射により磁気パターンを作成する方法がある。我々は、大きな垂直磁気異方性を有する L1₀-MnGa 規則合金に着目し、これまでに 30 keV の Kr⁺イオン照射により、ピッチサイズ 80 nm までのビットパターン媒体を実現している¹⁾。さらなるピッチサイズの微細化にはレジストの薄膜化、照射イオンの低エネルギー化、MnGa の薄膜化が必要となる。今回は、近年報告された CoGa 下地層上の L1₀-MnGa²⁾を作製し、10 keV の Kr⁺イオン照射を行うことで MnGa 膜の磁気パターンニングを試みたので報告する。

実験方法

rf マグネトロンスパッタリングにより、Cr (2 nm) / MnGa (5 nm) / CoGa (30 nm) / Cr (20 nm) / MgO(001) 基板の構成で MnGa 膜を作製した。Cr バッファ層は 400 °C で成膜し、600 °C で 60 分間ポストアニールを行った。CoGa 層は基板温度 400 °C で成膜した後、600 °C で 30 分間ポストアニールを行った。MnGa 層は 300 °C で成膜し、400 °C で 60 分間ポストアニールを行った。最後に 100 °C 以下になるまで冷却し、Cr 保護層を成膜した。その後、電子ビーム露光装置と、イオン注入装置を利用して磁気パターンを形成した。

実験結果

Fig. 1 は、MnGa 膜に 10 keV の Kr⁺イオンを照射したときの(a)膜法線方向の *M-H* ループと、(b) *M_s* の照射量依存性のグラフを示す。*M-H* ループには急峻な磁化変化を示す成分と、緩やかな変化を示す超常磁性的な成分の2つが見られる。急峻な変化は膜表面からの Kerr ループに対応していることから、これは膜表面側の MnGa の磁化反転によるものであり、0 磁場付近の緩やかな磁化変化は CoGa のものであると考えられる。(b) のグラフからイオンの照射量を増やしていくにつれて MnGa の磁化成分が減少していき、 1×10^{14} ions/cm² 以上で一定値となっていることから、この照射量で MnGa の磁化成分はほぼ消失したと考えられる。Fig. 2 は Kr⁺イオン照射により、ピッチサイズ 100 nm でパターンニングをした MnGa 膜の磁気力顕微鏡の画像である。図からランダムに垂直磁化した MnGa ドットパターンの明暗の磁気的信号が、イオン照射により非磁性化した領域で区切られていることが確認できる。また、ここでは示していないが、同様の条件で、ピッチサイズ 60 nm の磁気パターンニングに成功しており、30 keV でイオン照射したときの最小ピッチサイズ 80 nm よりも微細な磁気パターンを作製できることが分かった。

参考文献

- 1) D.Oshima et.al., IEEE Trans. Magn., **49**, 3608 (2013).
- 2) K. Z. Suzuki et al, J. Appl. Phys., **55**, 010305 (2016).

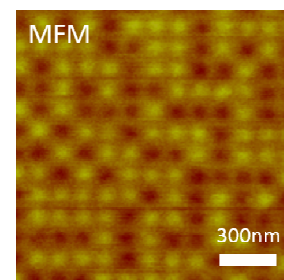
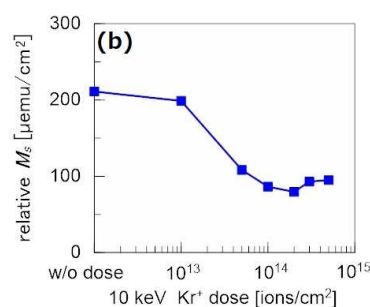
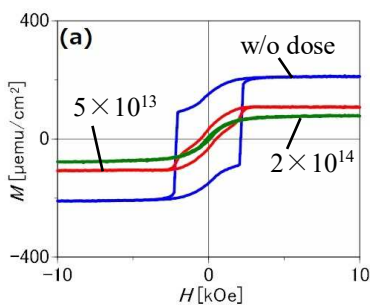


Fig. 1 (a) Out of plane *M-H* loops of MnGa film without and with ion irradiation at doses of 5×10^{13} ions/cm², 2×10^{14} ions/cm². (b) 10 keV Kr⁺ ion dose dependence of the *M_s* of MnGa (5 nm) film.

Fig. 2 MFM image of bit patterned MnGa (5nm) film with a pitch size of 100 nm.

熱アシスト磁気記録における書き込み磁界感度

本間 一匡, 仲谷 栄伸*, 小林 正, 藤原 裕司
(三重大, *電通大)

Writing field sensitivity in heat-assisted magnetic recording

K. Honma, Y. Nakatani*, T. Kobayashi, Y. Fujiwara
(Mie Univ., *UEC)

はじめに

熱アシスト磁気記録では、媒体を加熱して書き込むので保磁力 H_c はいくらでも小さくできるが、必要な書き込み磁界 H_w は大きい。モデル計算¹⁾を用いてこの理由を考える。

計算結果と考察

LLG 方程式を用いたマイクロマグネティック計算とモデル計算による媒体の信号対雑音比を Fig. 1 に示す。どちらも H_w が 10 kOe 程度必要である。

Fig. 2 は、モデル計算におけるグレイン磁化 M_s の反転確率 P_{\pm} の時間変化であり、グレインの温度 T がキュリー温度 T_c 以上から T_c まで下がったときの時間を 0 とする。 M_s が H_w に対して反平行から平行に反転する確率が P_+ 、平行から反平行に反転する確率が P_- である。図中の●は試行時間の一例を示している。モデル計算では、試行時間ごとの P_{\pm} を用いて、Monte Carlo 法により M_s の方向を決めている。(a)は $H_w = 2.5$ kOe のときであるが、 P_- が高いときの試行回数(●の数)が少なく、また P_- と P_+ の値が近いので、write-error (WE) が大きい。(b)の $H_w = 5$ kOe のときは、 P_+ の値は十分小さいが、やはり P_- が高いときの試行回数が少なく、WE が大きい。(b)の $H_w = 10$ kOe のときは、 P_- が高くなるので、 P_- が高いときの試行回数が増え、WE が小さくなる。

試行時間の間隔の逆数は試行周波数 f_0 である。 f_0 は近似的に $\alpha/(1+\alpha^2)$, \sqrt{V} , $1/\sqrt{T}$, $K_u(T)$ に比例する^{1,2)}。ここで、 α はダンピング定数、 V はグレイン体積、 $K_u(T)$ は異方性定数であり、 $K_u(T_c) = 0$ である。 T_c 直下では f_0 が低く、試行回数が少ない。 H_w が低いと P_+ が高いときの試行回数が少なくなり、WE を小さくできない。

本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構(ASRC)の助成のもとに行なわれました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) T. Kobayashi *et al.*: submitted to *J. Magn. Soc. Jpn.*
- 2) E. D. Boerner and H. N. Bertram: *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 1678 (1998).

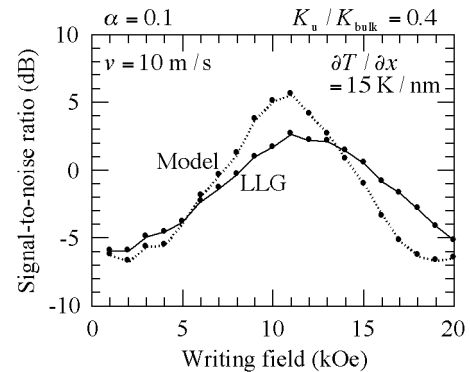


Fig. 1 Dependence of signal-to-noise ratio on writing field employing micromagnetic (LLG) calculation and model calculation.

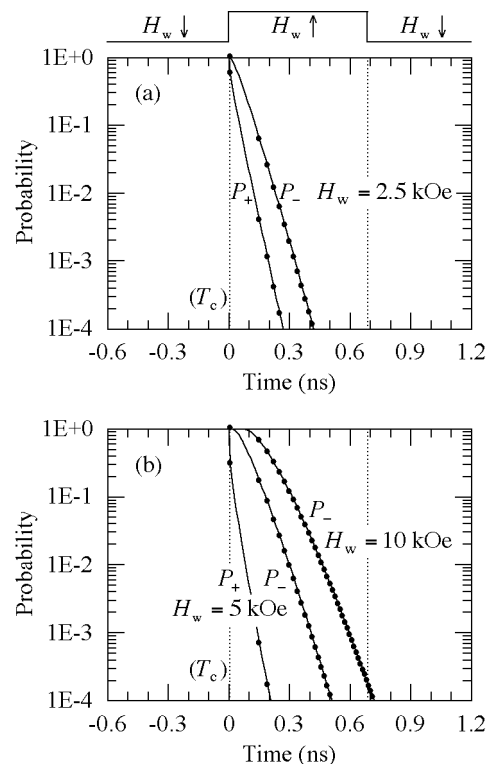


Fig. 2 Time dependence of grain magnetization reversal probability P_{\pm} for (a) writing field $H_w = 2.5$ kOe and (b) 5 and 10 kOe.

小型・簡便な熱アシスト磁気記録媒体評価装置の開発

○赤羽 浩一, 目黒 栄*, 斉藤 伸 (東北大学, *ネオアーク(株))

Development of compact and convenient HAMR evaluation equipment

K. Akahane, *S. Meguro, S. Saito (Tohoku Univ., *Neoark Corp.)

1. はじめに

実用化を目前に控えた熱アシスト磁気記録では、記録媒体の開発に際して従来媒体と同様の室温での磁気特性評価に加え、磁気特性の温度特性を評価する必要がある。これまで我々は、赤外光における光学反射率変化の温度依存性を計測することにより磁性体のキュリー温度を評価する小型・簡便な装置を開発し、原理検証として 100 nm 膜厚の MnSb 薄膜 (キュリー温度 320°C 程度) のキュリー温度を検出できることを示した。しかしながらこの計測を実際の熱アシスト媒体材料である FePt-C グラニュラ媒体に展開したところ、不可逆的な反射率の温度変化が大きく、磁気相変態点付近で現れる微少な温度特性の傾向変化検出が困難であった。これはヒータを用いてグラニュラ媒体を長時間加熱したことにより、グラニュラ媒体の酸化や構造変化が生じたためと推察している。媒体の構造変化を抑制するためには計測のための加熱を短時間かつ局所領域に限定する必要がある。そこで今回はレーザパルス光を加熱源に付加した光学計測装置を開発したので報告する。

2. 装置概要および実験結果

局所領域の昇温動作の検証には、従来の CoPt-SiO₂ 媒体を用いてパルス光照射による熱磁化反転を検出することで行うこととした。Fig. 1 (a) に製作した装置の光学系の構成図を示す。装置は加熱用レーザ光学系、Kerr 効果計測光学系、顕微鏡観察光学系、及び試料励磁用の電磁石系により構成した。加熱光源には波長が 950 nm でシングルモード発振出力 300 mW の小型半導体レーザを用いた。シングルモードのレーザ光は対物レンズで集光した際にスポットサイズを最小化できるので比較的小さな光出力で集光点を高温化することができる。Kerr 効果計測光源には、加熱光源の波長よりも短波長の 650 nm の赤色半導体レーザを用いた。観察光学系には、緑色 LED 光源と CCD カメラとを組み合わせた。Fig. 1 (b) には、試料面における加熱用レーザ光と、Kerr 効果計測用レーザ光のスポット径をビームウエストとして計算した結果を示す。計算によると、加熱レーザの集光径は 2.0 μm 、計測プローブの集光径は 1.4 μm となるので、計測光では加熱スポット中央部の Kerr 効果を検出できる。Fig. 2 には CoPt-SiO₂ 媒体に対して磁場を掃引中に、反転磁場よりも小さな磁場でパルス光を照射した際の熱磁化反転を評価した結果を示す。加熱パルス幅を 10 μs から 1 ms まで変化させて試料の計測ポイントに繰り返し照射したが、Kerr 磁化曲線の終点はほぼ同一点に回帰しており、試料が酸化や構造変化等のダメージを受けていないこと確認できた。パルス光加熱、磁界印加、Kerr 効果による反転検出が可能となったため、今後、赤外光プローブ光学系、表面温度計測光学系を共存させていく予定である。

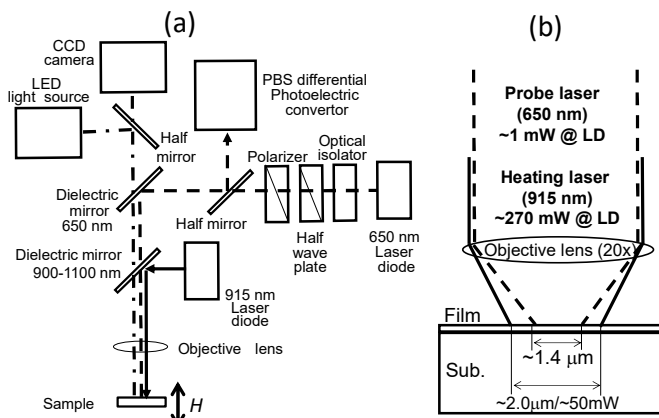


Fig. 1 (a) Schematics of optical layout of the system. (b) Calculated result of spot size of heating and Kerr detection light.

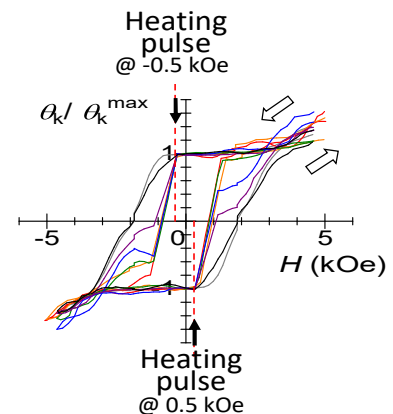


Fig. 2 Magnetization reversal of CoPt-C media by heating pulse at different pulse width.

連続波を用いた CoCrPt グラニューラ記録媒体の マイクロ波アシスト磁化反転実験

佐藤勝成, 菊池伸明, 岡本 聡, 北上 修, 島津武仁
(東北大)

Microwave assisted magnetization switching experiments with continuous rf wave on CoCrPt granular media

K. Sato, N. Kikuchi, S. Okamoto, O. Kitakami, and T. Shimatsu
(Tohoku University)

はじめに

マイクロ波アシスト磁化反転(MAS: Microwave Assisted magnetization Switching) は次世代の高密度磁気記録技術として注目されている。MAS の実験手法としては、大振幅の高周波磁場を印加するために幅 $1\ \mu\text{m}$ 程度の線路上に高周波電流を印加する手法が多く用いられている。この場合、ジュール熱による試料の温度上昇や破損を防ぐために高周波電流はナノ秒レベルのパルス状で印加される。この手法を用いて測定する場合、パルス磁場の時間でのマイクロ波アシスト効果と、直流磁場による測定時間 ($10 \sim 10^3\ \text{s}$) での熱揺らぎが重畳して観測される。そのため、アシスト効果を見積もるためには、ふたつの異なる時間スケールの現象を同時に考慮する必要がある。本研究では、この難点を解決するため、高周波を連続波として印加できる試料を製作することで、マイクロ波によるアシスト効果と直流磁場による熱揺らぎによる保磁力への影響を同じ時間スケールで議論することを目指した。具体的には、高い熱伝導率を有する Si ウエハーを基板として用いて温度の上昇を抑えた。

実験方法および結果

ノンドープの Si ウエハー上に幅 $1\ \mu\text{m}$ の高周波磁場印加用 Au 線路と厚さ $100\ \text{nm}$ の絶縁層を形成後、厚さ $15\ \text{nm}$ の CoCrPt-SiO₂ 層を下地層・保護層とともに成膜した。Au 線路上の磁性体を電子線リソグラフィ及び Ar イオンエッチングにより $0.6 \times 1.6\ \mu\text{m}^2$ の矩形状に加工した。その後、下地層を四端子抵抗測定用および異常 Hall 効果 (AHE) 測定用の二種類の電極形状に加工した。Fig. 1 に、出力 $P_{\text{rf}} = +24\ \text{dBm}$ の連続高周波電流を印加して測定した試料抵抗の周波数依存性を示す。このとき、試料位置での高周波磁場振幅は $480\ \text{Oe}$ である。高周波電流を印加していないときの抵抗値は図中に点線で示した。右軸は、同じ試料で測定した抵抗変化を温度変化 ΔT に対応させたものである。高周波電流により $10\ \text{K}$ 程度の温度上昇はみられるものの周波数に対してはほぼ依存しないことが分かった。Fig. 2 に周波数 $18\ \text{GHz}$ 、振幅 $480\ \text{Oe}$ の高周波磁場を印加して測定した AHE 曲線を示す。高周波電流を印加せずに測定した AHE 曲線も併せて示す。高周波磁場の印加により保磁力は $6.3\ \text{kOe}$ から $4.3\ \text{kOe}$ へと $2.0\ \text{kOe}$ 低下している。 $10\ \text{K}$ の温度上昇では $0.13\ \text{kOe}$ しか保磁力が変化しないことから、この保磁力の減少の大部分はマイクロ波アシスト効果によるものである。

参考文献

- 1) K. Shimada et al., Technical digest MORIS 2018, Tu-P-01 (2018).

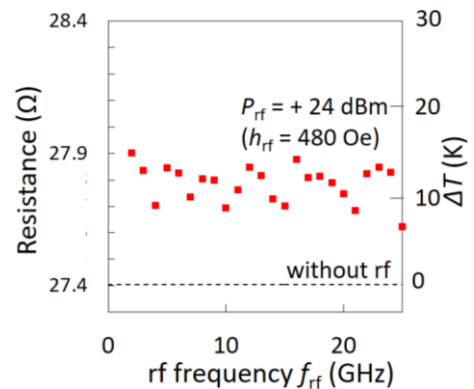


Fig. 1 rf frequency dependence of resistance measured with rf field ($P_{\text{rf}} = +24\ \text{dBm}$, $h_{\text{rf}} = 480\ \text{Oe}$)

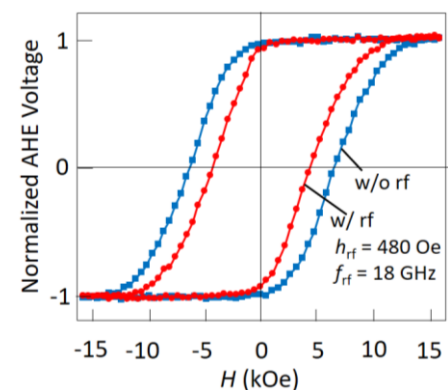


Fig. 2 AHE curves measured with and without rf field ($h_{\text{rf}} = 480\ \text{Oe}$, $f_{\text{rf}} = 18\ \text{GHz}$)

CoCrPt グラニューラ磁気記録媒体における マイクロ波アシスト効果の時間依存性

菊地 瞬, 島津武仁, 菊池伸明, 岡本 聡, 北上 修
(東北大)

Effective time dependence of microwave assisted switching effect for CoCrPt granular media.

S.Kikuchi, T. Shimatsu, N. Kikuchi, S. Okamoto, and O. Kitakami
(Tohoku University)

はじめに マイクロ波アシスト磁化反転(microwave-assisted magnetization switching, MAS)は次世代 HDD に用いられる高密度記録技術として注目されている。MAS においては磁性体に高周波磁場を印加することで、磁気モーメントの歳差運動を励起し、反転磁場を低減させることができる。我々はこれまでに、CoCrPt グラニューラ媒体に振幅 950 Oe の高周波磁場を印加することにより、保磁力を約 50%低減できることを報告してきた。本研究では、パルス状の高周波磁場を印加する周期を変化させ、MAS の挙動の熱活性領域での時間依存性について調べたので報告する。

実験方法 単結晶 MgO 基板の上に線路幅 1 μ m の Au 線路を形成し、厚さ 100 nm の SiO₂ 絶縁層を成膜した。その上に、厚さ 15 nm の CoCrPt-TiO₂ グラニューラ膜を DC マグネトロンスパッタリングにより成膜した。保護層・下地層を含めた膜の構成は、Pt(2 nm)/CoCrPt-TiO₂(15 nm)/Ru(10 nm)/[Pt(5 nm)/Ta(2 nm)] \times 5/SiO₂/Au/MgO sub.である。Au 線路直上の CoCrPt グラニューラ膜を 0.6 μ m \times 1.6 μ m の大きさに微細加工し、下地層を異常 Hall 効果(AHE)測定用の電極に加工した。MAS の測定では、高周波電流を Au 線路に印加することで高周波磁場を発生させ、ジュール熱による試料温度の上昇を抑制するため、パルス状で印加した。パルス幅 t_{width} は 20 ns で一定とし、パルス周期 t_{period} を 20 μ s から 2 s の範囲で変化させた。

実験結果 Fig. 1 に $t_{period} = 20 \mu$ s, 6 ms, 2 s の場合の保磁力の周波数 f_{rf} 依存性を示す。保磁力は膜面に垂直な直流磁場中で測定した AHE 曲線から求め、高周波磁場を印加しない場合の保磁力を図中に点線で示した。いずれの t_{period} の場合も、 $f_{rf} \leq 18$ GHz の領域では周波数の増加に伴って保磁力が線形に減少した。 $f_{rf} > 18$ GHz の領域では周波数の増加にしたがって保磁力がゆるやかに増加するものの、パルス周期が短くなるにつれてその変化は小さくなり、 $t_{period} = 20 \mu$ s ではほぼ一定の値となった。Fig. 2 に保磁力の実効時間 t' 依存性を $f_{rf} = 10, 18, 24$ GHz について示す。ここで $t' = (t_{width} / t_{period}) \times 10$ s と定義した。いずれの場合も実効時間の増加に伴って保磁力が減少しているが、その傾きは周波数により大きく異なった。この時間に対する変化は磁化反転時の熱活性に対応しており、周波数による磁化反転プロセスの変化を表している可能性がある。

参考文献

1) K. Shimada *et al.*, MORIS 2018 Technical digest, Tu-P-01 (2018)

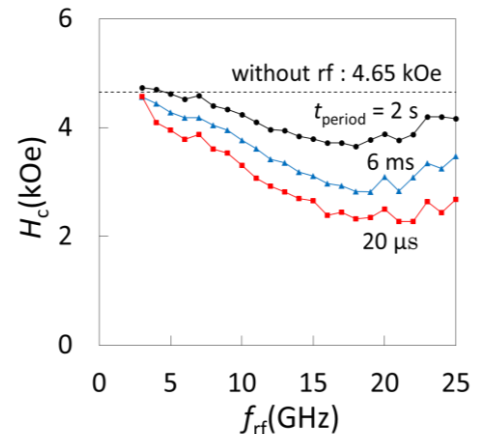


Fig. 1 Frequency dependence of coercivity for $t_{period} = 2$ s, 6 ms, and 20 μ s.

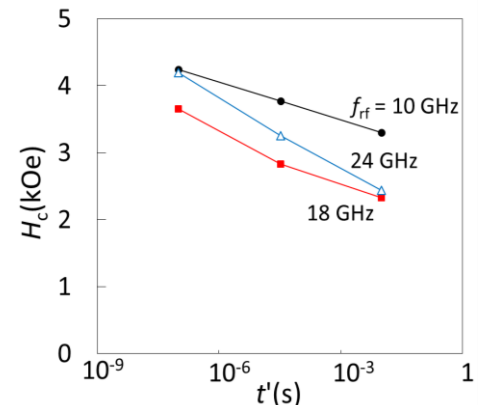


Fig. 2 Effective time dependence of coercivity for $f_{rf} = 10, 18,$ and 25 GHz.

主磁極先端励磁型 PMR 書き込みヘッドのマイクロマグネ解析

中村 慶久 板垣 諒* 金井 靖*
(東北大学電気通信研究所、*新潟工科大学工学部)

Micro-magnetic Analysis for PMR Write-head energized on Main-pole Tip

Y. Nakamura, *R. Itagaki, *Y. Kanai
(RIEC Tohoku Univ., Niigata Institute of Tech.*)

1 はじめに

HDD の面記録密度の向上には、記録メディアの結晶粒の微細化と高保磁力化、それに呼応した書き込みヘッドの能力改善が不可欠である。現用の PMR 用書き込みヘッドは長手磁化方式の薄膜ヘッドを垂直磁化用に加工したものが始まりになっている。ヨーク部に巻いたコイルで励磁し、主磁極先端に磁束を誘導する、磁気回路的設計手法を基本に、開発以来、小型化・高性能化が図られてきた。その高性能化は、熱やマイクロ波などのエネルギーの助けを借りた HAMR や MAMR などの開発が精力的に進められているのとは逆に、対応する記録メディアとともに開発の勢いが急速に低下し、同時に HDD の高密度化も停滞している。

これに対して筆者は、垂直磁化方式の基本原則に基づけばできるだけ主磁極先端部を直接励磁することがキーであると考え、PMR の実験を成功させてきた。今後、HAMR や MAMR が世に出ても、いずれも垂直磁化方式は必須であり、できるだけ強く鋭い垂直磁界成分を発生する磁界発生部が必要になる。そのため、強い書き込み磁界で高速駆動でき、構造が簡単な主磁極先端励磁方式の可能性を、従来型のヘッドと比較して FEM 解析によって調べてきた[1]。その結果、低インダクタンスで高磁界を発生できることが確かめられたが、高速駆動の可能性をマイクロマグネの観点から確認する必要があることも指摘された。本報告では、それについて調べた結果を報告する。

2 解析法

マイクロマグネの解析には、富士通製「EXAMAG」を使用した。Fig.1 に現用書き込みヘッドを、また Fig.2 に筆者らが依然提案した主磁極先端励磁型ヘッドを、それぞれモデル化して示した。これらのヘッドについて、立ち上がり時間が異なる単位ステップ電流を加えて励磁したとき、主磁極先端部から生じる垂直磁界強度の時間変化を調べた。勿論、磁極内の微細な磁化変化についても調べている。

3 結果

FEM 解析から、主磁極先端励磁型にするとインダクタンスを低減でき、電気回路的にはより高速駆動が可能であることが明らかになっている。

Fig.3 は、コイルに立ち上がり時間 0.1 ns の単位ステップ電流を加えたときの主磁極先端磁界強度の時間変化をマイクロマグネ解析で調べたものである。電流の立ち上がりに対し、両ヘッドとも 0.17~0.18 ns 遅れて磁界が立ち上がり、終了までに電流の立ち上がり時間より 0.4~0.5 ns 遅れること、主磁極先端励磁の方がわずかに早いこと、などが判る。このことから、磁気的にはヘッド構造に依る時間遅れに大きな違いはなく、むしろ FEM 解析に見られるように、インダクタンスの減少による電気回路的な高速応答と効率的な励磁による記録磁界強度の増大が主磁極先端励磁の特長であることが確かめられた。

[参考文献]

[1] 中村他、信学技報、Vol. 117, No. 338, MR2017-40, pp.87, Dec. 2017.

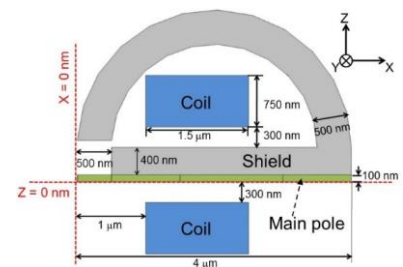


Fig. 1 モデル化した現用ヘッド

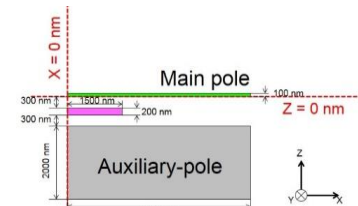


Fig. 2 主磁極先端励磁型ヘッド

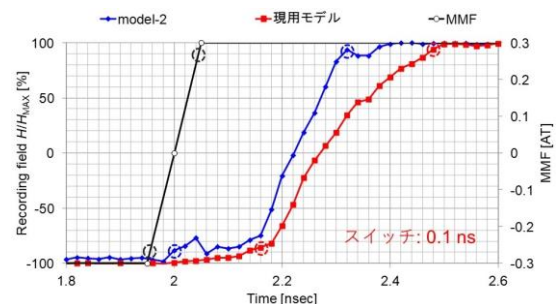


Fig. 3 主磁極先端磁界強度の立ち上り

磁氣的膜厚依存性抑制層を付加した GdFeCo 薄膜の全光型磁化反転

飯坂岳¹, 吉川大貴², 二川康宏¹, 塚本新²

(¹ 日本大学大学院理工学部研究科, ² 日本大学理工学部)

All -optical magnetization switching in GdFeCo with the additional layers

for suppressing the magnetic thickness dependency

Takeshi Iisaka¹, Hiroki Yoshikawa², Yasuhiro Futakawa¹, Arata Tsukamoto²

(¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに スピントロニクスデバイスに向けた薄膜素子は、ナノメートルオーダーの微細化検討が進み、かつ高速化も望まれている。超高速磁化反転制御手段として、フェムト秒パルスレーザーによる極短時間の光をフェリ磁性 GdFeCo 薄膜に照射することのみ、外部磁場印加無しで決定論的磁化反転が誘起可能な全光型磁化反転現象 (All-Optical magnetization Switching : AOS) を報告しており¹⁾ 比較的組成依存性も小さい。一方、GdFeCo 単層薄膜は、30 nm 厚程度以下でフェリ磁性に起因した比較的大きな静磁気特性の膜厚依存性を有し、微細磁気素子設計の観点で不利である。それに対し、我々は希土類金属超薄膜を挿入することで、膜厚依存性を大きく抑制できることを報告しているが²⁾、挿入層の存在による AOS への寄与は未知であった。本報告では、同一組成で静磁気特性に大きな膜厚依存性が現れる薄膜と、同一作製条件で膜厚依存性抑制層を挿入した薄膜を作製し、同条件における AOS 誘起を行い、挿入層の寄与について実験的に検討を行った。

実験方法 測定試料には、マグネトロンスパッタリング法により作製した試料群 A : SiN(60 nm)/Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}(*t* nm)/SiN(5 nm)/glass sub.(*t* = 10, 15, 20, 25 nm), 及び、同膜厚範囲 *t* において GdFeCo 上下界面に Gd を 1 nm を挿入した試料群 B : SiN(60 nm)/Gd(1 nm)/Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}(*t* nm)/Gd(1 nm)/SiN(5 nm)/glass sub. を用いた。磁気特性の評価方法として、超伝導量子干渉素子型磁力計を用いて膜面垂直方向に磁場を印加した際の磁化曲線を計測し、飽和磁化を見積もった。次に、試料群 A, B のそれぞれ *t* = 10, 20 nm の試料を用い、中心波長 800 nm パルス幅 35 fs (半値全幅)の超短パルス光を膜面側より照射することにより室温にて磁化反転を誘起し、形成磁区を偏光顕微鏡の磁気光学像にて観察をした。

実験結果 Fig. 1 に試料群 A, B における飽和磁化 M_s の膜厚依存性を示す。試料群 A において、 M_s の大きな膜厚依存性が確認された。これに対し、試料 B で M_s の膜厚依存性が大幅に減少することを確認した。Fig. 2 に上記超短単一パルス光を各試料に照射し、形成される磁区サイズ (円面積) を各照射光強度毎に示す。照射光強度に一意に対応し、正味の磁化特性の変化や膜厚抑制層の有無によらず、GdFeCo 膜厚 *t* が小さいほど、AOS 誘起に必要な照射光エネルギーが小さくなっている。AOS は、ほぼ製膜組成比及び積層磁性層厚により、一意に形成磁区サイズとその光強度依存性が決定されることが明らかになった。

謝辞 本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020) および平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) ナノスピントロニクス変換科学(Grant No. 26103004) の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) C.D.Stanciu *et al.*, Phys.Rev.Lett. 99, 047601 (2007)
- 2) Yasuhiro. Futakawa *et al.*, Technical Meeting on "Magnetics", IEE Japan, MAG-17-150 (2017).

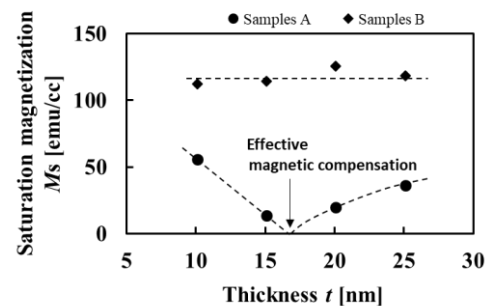


Fig. 1 Thickness dependence of M_s in samples A, B measured by VSM.

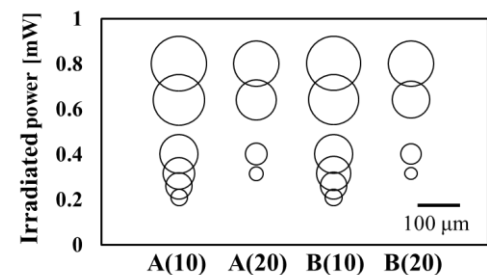


Fig. 2 The structure dependence of created domain sizes by AOS

A ($t = 10, 20$ nm), B ($t = 10, 20$ nm).