

ダブルマグネット型マスター媒体によるバースト信号の転写特性

小峰啓史 (茨城大)

Printing characteristics of burst signals by using double magnet mater media

Takashi Komine (Ibaraki Univ.)

1 はじめに

磁気転写は、ハードディスクにサーボ信号を高速、安価に書き込む技術として期待されている。しかし、従来構造のマスター媒体¹⁾では、高保磁力を有するエネルギーアシスト磁気記録媒体に適用するのに十分な記録磁場を得ることが困難であった。近年、30 kOe 程度の高保磁力を有する媒体に対しても適用可能なダブルマグネット型マスター媒体 (Double Magnet Master, DMM) を提案し、規則的なパターンの転写において、従来マスター媒体よりも磁気転写特性が著しく向上することを示した²⁾。一方、サーボ信号はバースト信号やアドレス信号のような非周期の信号列で構成されているが、非周期的なパターンの転写特性は明らかではない。本研究では、マイクロマグネティックシミュレーションを用いて、DMM によるバースト信号の転写特性を調べた。

2 計算方法

マスター磁性膜の計算モデルを Fig.1 に示す。バースト信号として AB バーストを想定した。AB バーストでは、基準周波数に対する On-Track 信号が Cross-Track 方向で変化することを利用して、位置決め誤差信号 (Position Error Signal, PES) を取得し、磁気ヘッドを On-Track に調整する。AB バーストの計算モデルを Fig.1 に示す。DMM 磁性膜には、ハード膜として $L1_0$ -FePt を、ソフト膜に FeCo を用いた Soft Double Magnet (SDM) を想定し、ソフト膜とハード膜の間に磁気分離層 1 nm を設けた。また、トラック幅を 50 nm, DMM と記録媒体の磁気的スペーシングを 2 nm とした。初めに、マイクロマグネティックシミュレーションにより、転写磁場 H_p 印加時のマスター磁性膜磁化を計算し、記録層に印加される記録磁場 H^r を計算した。計算した記録磁場を用いて転写シミュレーションを行い、転写された磁化状態から転写特性を評価した。媒体には、粒径 4.6 nm の六角柱セルで構成されるグラニューラー媒体を想定し、媒体保磁力は約 10 kOe である²⁾。

3 結果および考察

DMM 転写の場合、転写磁場印加時でも、ハード磁性膜の磁化が反転しないため、ソフト磁性膜とハード磁性膜の作る静磁場が重畳される。バースト部でも記録磁場の差 ΔH_z^r は約 15 kOe と従来マスター媒体に比べて大幅に増強される。転写磁場を 8.5 kOe としてバースト信号を転写した媒体の磁化分布を Fig. 2 に示す。Fig.2 から、ビット長を 10 nm としてもバースト信号形状を反映して、信号が明瞭に転写できることがわかる。また、ビット長が 10 nm, 20 nm いずれの場合でも、A, B バーストの Off-Track 部では初期磁化が保持されている。特に、バーストの Off-Track 部のように比較的長ビットな信号でも、所望の転写状態が得られたことから、DMM 転写により明瞭な PES が得られると期待される。

謝辞 本研究の一部は、公益財団法人フジクラ財団研究助成の支援により行なわれました。ここに深謝致します。

References

- 1) Nurul Sheeda *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **45**, 3676-3678 (2009).
- 2) Takashi Komine, *IEEE Trans. Magn.* **58**, 3200105 (2021); *IEEE Trans. Magn.* **58**, 3200905 (2022); *AIP Adv.* **13**, 025310 (2023).

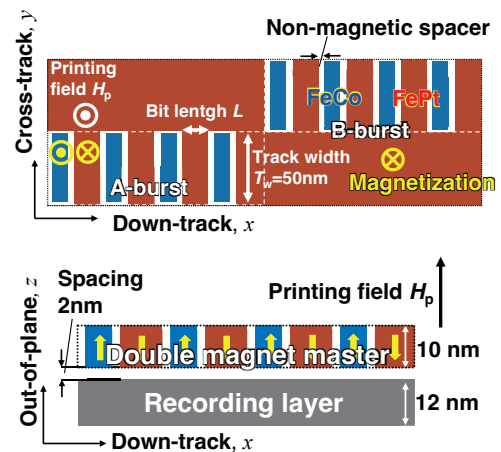


Fig. 1 Schematic illustrations of conventional master and double magnet master media for servo burst.

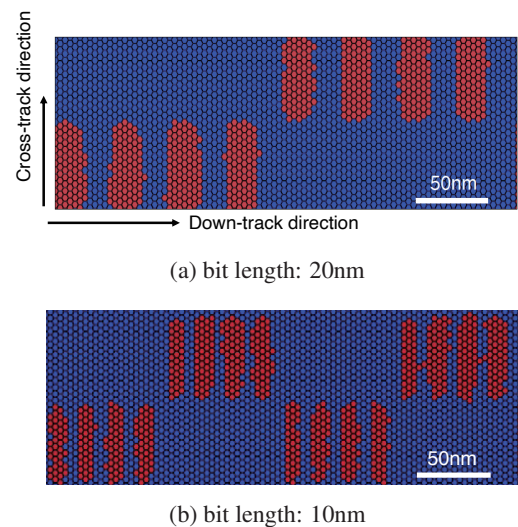


Fig. 2 Printed magnetization distributions of burst signals with bit lengths of (a) 20 nm and (b) 10 nm.

微小 Pt / Fe 薄膜から形成される FePt 微粒子の磁化状態

清水雄太¹, 吉川大貴², 塚本新²

(¹ 日本大学大学院理工学研究科, ² 日本大学理工学部)

Magnetization state of FePt fine particles formed from micro Pt / Fe thin films

Yuta Shimizu¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

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

² College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに

次世代の高密度記録媒体として $L1_0$ -FePt ナノ磁性微粒子群が注目されている。我々は長く熱酸化 Si 基板上に積層した Pt / Fe 連続二層膜への短時間の急速昇降温熱処理 (RTA : Rapid Thermal Annealing) による分離・凝集を伴う粒子化と $L1_0$ 規則合金化を行う手法を検討している¹⁾。近年新たに RTA の前段階に微細加工を行う手法を提案し、粒子サイズの低分散化及び周期配列化や微細加工サイズと微粒子への形態変化についても報告してきた^{2), 3)}。本研究では RTA 前の薄膜の孤立微小化を施すことで積層原子量比 (膜厚比) に応じた各微粒子形成とその磁化状態を検討した (Fig. 1)。低分散粒子形成条件にて作製した試料に対し磁気力顕微鏡 (MFM) を用いた形状・磁気像観察により形成微粒子の磁区の単一化や異方性について議論する。

実験方法

微細加工にて熱酸化 Si 基板上に孤立微小 Pt / Fe 薄膜群を作製し RTA を施し観察した。孤立微小 Pt / Fe 薄膜は Fig. 1(a) に示すように総積層膜厚 3.75 nm (Fe 1.64 nm, Pt 2.11 nm) の Pt / Fe 薄膜を DC マグネトロンスパッタリングにて作製した後、一辺 100 nm の正形状を 200 nm 周期の電子線描画設計にてリフトオフによりパターン加工を施した。その後、到達真空度 $<1.0 \times 10^{-3}$ Pa の雰囲気下で、最高到達温度 590 °C の RTA を施した。この試料を走査型電子線顕微鏡 (SEM) により粒子形状を確認し、磁気力顕微鏡 (MFM) で形状・磁気像を観察する。

実験結果

SEM 観察像を Fig. 2(a) に示す。平均粒径約 60 nm 周期 200 nm の規則配置微粒子群の形成を確認した。これよりいずれの形成微粒子も積層膜厚比に対応した組成を有すると考えられる。

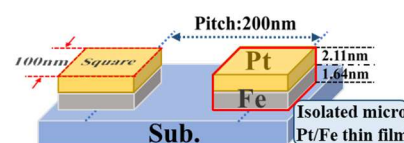
次に磁場印加を施すことなく MFM での形状・磁気像の観察を行った。結果を Fig. 2 (b), (c) に示す。形状像でも SEM 像と同周期の規則配列を確認した。更に同位置での磁気像を観察すると多くの粒子位置において二値化した濃淡部が観察されたことから、単磁区化及び膜面垂直方向に磁化した粒子が多く出現しているものと考えられる。以上から本形成手順により特殊な単結晶基板や結晶配向誘導下地層等を用いることなく膜面垂直方向に磁化容易軸を持つ粒子が形成できる可能性を示した。

謝辞

本研究の一部は、情報ストレージ研究推進機構の助成により行った。また日本大学理工学研究所研究員の笠谷雄一氏に微細加工の実現に際してご協力頂いた。

参考文献

- 1) Y. Itoh, et al. : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, 12, 8040 (2004).
- 2) T. Naeki, et al. : *T. Magn. Soc. Jpn.* (Special Issues), **3**, 1 - 6 (2019).
- 3) Y. Shimizu, H. Yoshikawa, A. Tsukamoto : *The Papers of, Technical Meeting on "Magnetics", IEE Japan.* MAG-22-144 (2022).



(a) Pre-Patterning



(b) Particulation by RTA

Figure 1 Overview of sample preparation methods

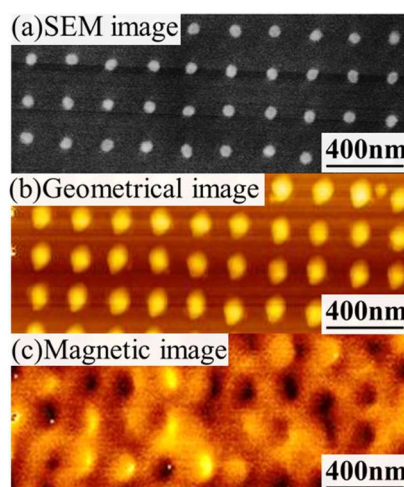


Figure 2 Particle observation image by SEM and MFM

マイクロ波アシスト磁化反転時のエネルギー障壁

水谷聡志, 菊池伸明, 畑山正寿, 島津武仁, 岡本 聡
(東北大)

Energy barrier height for microwave assisted switching
S. Mizutani, N. Kikuchi, M. Hatayama, T. Shimatsu, and S. Okamoto
(Tohoku Univ.)

はじめに マイクロ波アシスト磁化反転 (Microwave assisted switching : MAS) においては, GHz 帯のマイクロ波磁場により磁化を励起することで反転磁場を低減させる. Landau-Lifshitz-Gilbert(LLG)方程式の解析からアシスト効果の大きさ ΔH はジャイロ磁気定数 γ を用いて $\Delta H = 2\pi f_{rf}/\gamma$ であらわされ, マイクロ波磁場の周波数 f_{rf} に比例する. 実験でも周波数 f_{rf} に比例したアシスト効果が報告されているが, その比例係数は報告によりおおきなばらつきがある[1,2]. 我々のグループではこの挙動が熱活性の影響で説明できることを指摘した[2]. ところが, 熱活性の影響を取り込むには, マイクロ波磁場下でのエネルギー障壁の見積には煩雑な数値計算が必要であり, 様々な条件下での反転磁場の予測は困難であった. 本研究では, マイクロ波磁場下での熱揺らぎを考慮した反転磁場の近似式の導出を試み, 数値計算や実験結果との比較を行った.

方法と結果 マイクロ波磁場下でのエネルギー障壁高さ $\Delta\varepsilon$ は Suto の方法に基づき計算した[4]. 計算では直流磁場 $h_{dc} = H_{dc}/H_k$, マイクロ波磁場 $h_{rf} = H_{rf}/H_k$, マイクロ波磁場周波数 $\omega_{rf} = 2\pi f_{rf}/\gamma H_k$ は異方性磁場 H_k を用いて規格化した. 無磁場中のエネルギー障壁を E_0 として $\Delta\varepsilon = \Delta E/2E_0$ である. Fig. 1 に, $h_{rf} = 0.042$ の場合の計算結果を一例として示す. 磁化反転時のエネルギー障壁高さと緩和時間は 1 対 1 に対応するため, 図中の $\Delta\varepsilon$ の等高線は一定の熱揺らぎ (温度・時間) の下での反転条件そのものとなる. つまり, これらの等高線の近似式が得られれば, 熱揺らぎを含めた MAS 挙動の簡便な予測・評価が可能となる. 本研究では臨界周波数 ω_c と, 臨界周波数以下の領域での等高線を直線で近似した式の導出を試みた. まず, $h_{rf} = 0.01 \sim 0.1$ の様々な h_{rf} に対して Fig. 1 と同様な計算を行った. 次に, 得られた結果を用いて臨界周波数 ω_c を $\Delta\varepsilon$, h_{rf} の, 直流磁場 h_{dc} を $\Delta\varepsilon$, h_{rf} , ω_{rf} を表す近似関数を導出した. Fig. 2 に, 近似関数により得られた ω_c を○で, ω_c 以下での h_{dc} の値を直線として, $\Delta\varepsilon = 0 \sim 0.2$ の範囲について Fig. 1 と同様な数値計算の結果に重ねて示す. マイクロ波磁場振幅は, それぞれ(a)0.0315, (b)0.087 である. いずれにおいても, 数値計算の結果とよく一致し, 最も誤差の大きな臨界周波数近傍でも予測される反転磁場の誤差は 4%程度が得られた. 当日は数式の詳細および実験結果との比較についても議論する.

謝辞 本研究の一部は科研費(21H01791)および ASRC の補助によって行われました.

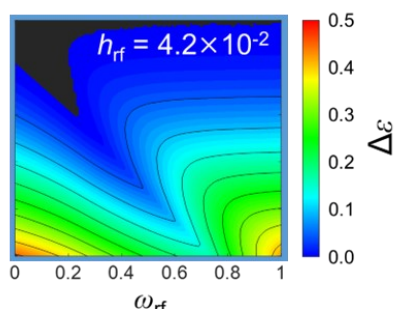


Fig. 1 The effective energy barrier height $\Delta\varepsilon$

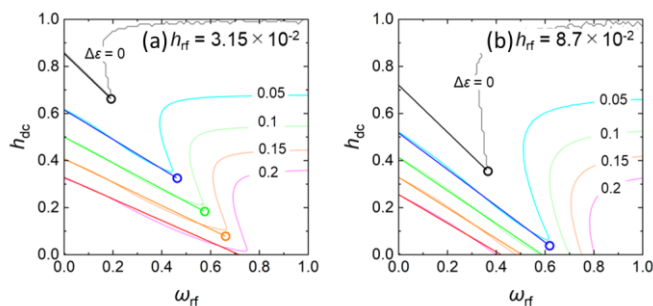


Fig. 2 Comparison between approximated function and numerical calculation for (a) $h_{rf} = 0.0315$ and (b) 0.087

参考文献

- [1] S. Mizutani et al. Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SB1012 (2023) [2] N. Kikuchi et al., Phys. Rev. B **105**, 054430 (2022).
[3] H. Suto et al., Phys. Rev. B. **91**, 094401 (2015).

CoPt-oxide グラニューラ薄膜の酸化物材料設計指針

齋藤美玖, 大橋栄久, 橋本篤志
(株式会社レゾナック・エレクトロニクス)

Design direction of oxide in CoPt granular thin film for perpendicular recording media

M. Saito, H. Ohashi, A. Hashimoto
(Resonac Electronics Corporation)

背景

垂直磁気記録媒体の磁気記録層は、CoPt 磁性粒子を酸化物粒界が取り囲むグラニューラ構造を有している。高記録密度化のためには CoPt 磁性粒子の磁性を損なうことなく磁気分離を促進し、かつ CoPt 磁性粒子が良好にコラム成長することが必要である。そのような構造の実現のためには、粒界材料として用いる酸化物材料の設計が極めて重要である¹⁾²⁾。本発表では、磁気特性および記録再生特性の観点から、CoPt-oxide グラニューラ薄膜における酸化物材料の設計指針を考察する。

実験方法

DC マグネトロンスパッタ装置を用いて、ガラス基板上に CrTi/ NiW/ Ru/ CoPt-(xA-yB)/ C の層構成で試料を作製した。ここで、A、B は、SiO₂, TiO₂, B₂O₃, Nb₂O₅, Ta₂O₅, Cr₂O₃, Co₃O₄, CuO, SnO₂ から選ばれる酸化物である。また、x、y は酸化物 A と酸化物 B の体積比であり、x+y=100% である。磁気ヒステリシスループは極 Kerr 装置、飽和磁化 M_s は振動試料型磁力計 (VSM)、磁気異方性エネルギー K_u は磁気トルク計を用いて評価を行った。

結果と考察

Fig.1 に、CoPt-(xA-yB)の酸化物材料として、A=SiO₂ を選択し、B として種々の酸化物を用いた場合の、酸化物 B 量に対する H_c の変化を示す。酸化物の組み合わせによっては H_c がある酸化物 B 量で極大値をとるもの (B=TiO₂, Ta₂O₅, Nb₂O₅, Cr₂O₃) が存在することがわかる。これはすなわち、CoPt-(xA-yB)グラニューラ膜の磁気特性は、酸化物 A と酸化物 B それぞれ単体を用いた時の磁気特性からは予想できない、ということの意味している。またこれらの試料の磁気トルクの結果から、 H_c は H_k と関連していることがわかった。このことは、酸化物の組み合わせにより H_k が増大する可能性があることを示唆している。発表当日は、これらの試料の構造解析の結果も踏まえ、垂直磁気記録媒体の磁気記録層としての CoPt-oxide グラニューラ膜の酸化物設計指針を考察する。

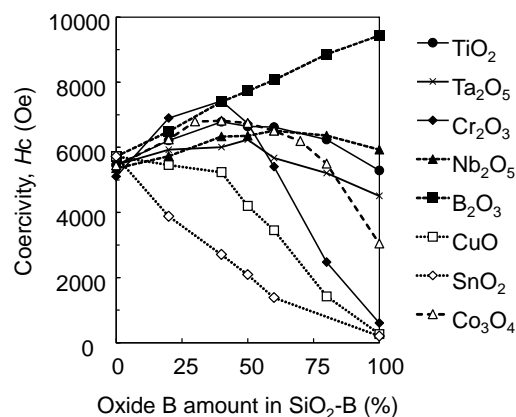


Fig.1 Oxide-B dependence of H_c for various oxide-B materials.

参考文献

- 1) K. K. Tham et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 55 07MC06 (2016)
- 2) K. K. Tham et al., *AIP Advances* 8 (5): 056510 (2018)

Mitigation method of mode hopping effect on NFT protrusion measurement

A. Sakoguchi, M. Furukawa, S. Nishida, R. Nishikura and K. Tasaka
Western Digital Technologies GK, Fujisawa, 252-0888, Japan

In hard disk drives (HDDs), head media spacing is controlled dynamically by using thermal flyheight control (TFC) heater. To achieve narrow head media spacing without contact, it's necessary to measure several types of protrusions in the head accurately and set appropriate TFC power to the TFC heater. Heat-assisted magnetic recording (HAMR), which is a leading technology to improve the areal density in HDDs, has a few nanometers of protrusion in near field transducer (NFT) in the head. NFT provides localized heat from the laser diode to the media. It enables to write into the high magnetic anisotropy media. In our previous works, we have proposed a NFT protrusion measurement method named burst writing scheme (BWS) from the spin-stand experiments¹⁾. In the development of BWS measurements in HDDs, we found unintentional read back amplitude drop in a small ratio of heads and it caused an estimation error of NFT protrusion. In this study, we investigated a root cause of amplitude drop and developed a mitigation method. HAMR drives, which rotation speed was 7200 rpm, was used in experiments. BWS measured the increase of read back amplitude with reducing head media spacing by applying TFC power. Since the time constant of NFT protrusion is more than 60 microseconds¹⁾, there is a difference of the amount of NFT protrusion between the write start and after several hundred microseconds from the start of writing. NFT protrusion of steady-state writing was fully protruded since read back amplitude after about 500 microseconds from the start of writing was measured. On the other hands, burst writing used read back amplitude under the condition that NFT protrusion was negligibly small since write duration of burst writing was only about 300 nanoseconds. Average amplitude measured at several locations in the media was used for NFT protrusion calculation to mitigate media modulation effect. We defined that NFT protrusion is a difference of TFC power between two writing modes at the same amplitude. In the BWS measurements with a large number of heads, few heads showed unintentional read back amplitude drop in steady-state writing. From the simultaneous measurements of read back amplitude and NFT temperature²⁾, it's found that laser mode hopping caused read back amplitude drop. Since mode hopping had good repeatability, mode hopping happened at the same timing from the start of writing in the measurements at several locations. Therefore, average of read back amplitude also dropped due to mode hopping. To mitigate amplitude drop, we developed a new method of steady-state writing which uses average amplitude of one revolution continuous writing. Since there were several laser modes in one revolution continuous writing, average amplitude of several laser modes mitigated the amplitude drop by mode hopping. Fig.1 shows the BWS curve of the head in which amplitude drop was observed with conventional steady-state writing method. By using average amplitude in one revolution continuous writing, read back amplitude drop in steady-state writing curve was successfully mitigated.

Reference

- 1) S. Xiong *et al.*, IEEE Trans. Magn., **54**, 8 (2018) 1-7
- 2) S. Rajauria *et al.*, U.S. Patent 10 283 145 B2 (2019)

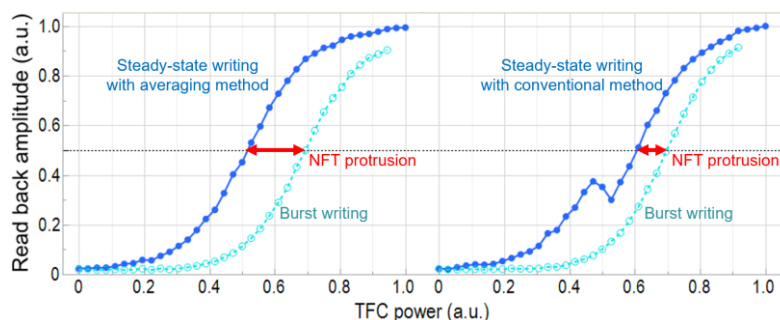


Fig.1 BWS curve with two steady-state writing methods: average of one revolution continuous writing method and conventional method.