L-10

マイクロ波アシスト磁気記録の多層記録制御に関する検討

Numerical Verification for Magnetization Control of Microwave-Assisted Multi-layer Magnetic Recording

○種田亮太 1，大貫進一郎 2
*Ryota Oida1，Shinichiro Ohnuki2

Abstract: Microwave assisted magnetic recording (MAMR) and bit-patterned media (BPM) are novel technologies for realizing higher density magnetic recording. In this report, we will discuss magnetization reversal control of the multi-layer model.

1．まえがき

近年，磁気記録の分野において，記録の高密度化に向けた研究が盛んに進められている．次世代の高密度磁気記録方式の一つとしてマイクロ波アシスト磁気記録方式が注目されている[1]．また，記録媒体を層状にすることによる高密度化の手法も提案されている[3][4]．本手法は異なる磁気異方性を有した記録媒体同士を積層し，発振されるマイクロ波の周波数を変えることにより記録の制御を行う．本報告では，異なる磁気異方性を有した 2 層の粒子状記録媒体による記録高密度化を目的としてマイクロ波アシスト方式の磁化反転の解析をする．そして，印加する直流磁界の変動による記録制御の範囲の検討を行う．

2．解析手法

本報告では記録媒体中における磁化の運動の時間応答を次式の Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式により計算を行う．

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\gamma\mathbf{M}\times\mathbf{H}_{\mathrm{eff}} + \frac{\alpha}{M_s}\mathbf{M}\times\frac{d\mathbf{M}}{dt} \qquad (1)$$

ここで，M_sは飽和磁化，γは磁気回転比，αは減衰定数である．

また，有効磁界$\mathbf{H}_{\mathrm{eff}}$は式(2)で構成される．

$$\mathbf{H}_{\mathrm{eff}} = \mathbf{H}_{\mathrm{ext}} + \mathbf{H}_{\mathrm{k}} + \mathbf{H}_{\mathrm{d}} + \mathbf{H}_{\mathrm{ex}} \qquad (2)$$

ここで，$\mathbf{H}_{\mathrm{ext}}$は磁化反転に影響する外部磁界，$\mathbf{H}_{\mathrm{k}}$は磁気異方性磁界，$\mathbf{H}_{\mathrm{d}}$は双極子相互作用磁界，$\mathbf{H}_{\mathrm{ex}}$は交換相互作用磁界を表す．

LLG 方程式の数値計算には 2 次のルンゲクッタ法を用いて，以下の様に離散化する．

$$M_{n+1} = M_n + \frac{1}{2}(k_1 + k_2) \qquad (3)$$

但し，

$$k_1 = dtF(t_n, M_n)$$
$$k_2 = dtF(t_n + dt, M_n + k_1)$$

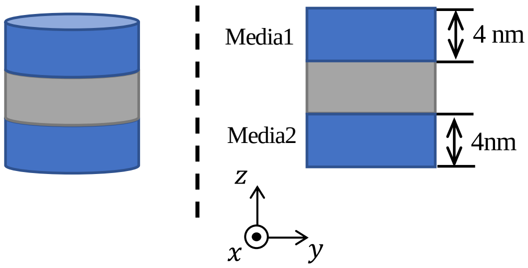

Fig.1 Computational model of recording media

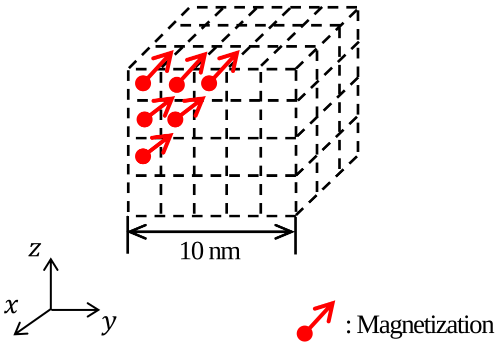

Fig.2 Computational model of spin-torque oscillator

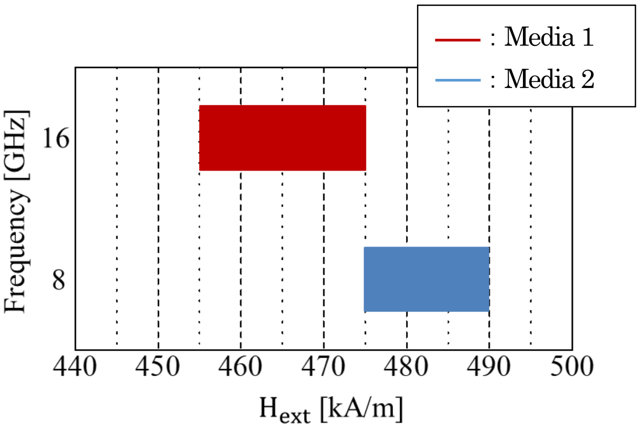

Fig.3 Result of range of switching field

1：日大理工・院 (前)・電気　2：日大理工・教員・電気

３．解析結果

解析モデルとして，Fig. 1 に示す粒子状の Media 1 と Media 2 を層状配置したものを想定する．形状は円柱とし、直径を 10 nm，高さを 4 nm とする．Media 1 の飽和磁化を $M_s = 7.96 \times 10^5$ A/m，磁気異方性磁界を $H_k = 10.0 \times 10^5$ A/m，Media 2 の飽和磁化を $M_s = 7.96 \times 10^5$ A/m，磁気異方性磁界を $H_k = 8.0 \times 10^5$ A/m とし，初期磁化はすべて z 軸方向とする．また Media 1 と Media 2 の間を 4 nm 離すことにより非磁性層を仮定する．Fig. 2 にマイクロ波発振素子(spin-torque oscillator : STO)のモデルを示す．STO の形状は一辺 10 nm の立方体を仮定する．分割したセル一つに対して 1.50×10^6 A/m の磁化を配置し，y 軸を設定した周波数で回転する．以上のモデルに対して，STO と Media 1 の間を 4 nm 離して配置し記録媒体の磁化反転の挙動を解析する．

Fig. 3 に各マイクロ波周波数における直流磁界の変化に対しての磁化反転制御の範囲を示す．結果における周波数は各媒体の反転制御できた範囲が最大となる周波数を見ている．8 GHz の場合は 475 kA/m から 490 kA/m の範囲で Media 2 のみが磁化反転が起こり，16 GHz の場合は 460 kA/m から 475 kA/m の範囲で Media 1 のみの磁化反転が誘起できることがわかる．この範囲を変化させる手法として記録媒体に軟磁性体を積層する Exchange-Coupled Composite (ECC)媒体が注目されている[5]．本手法を用いて解析モデルを Fig. 4 に変更する．変更点として Media 2 に対して高さが 2 nm の軟磁性体を積層した．各媒体の磁気定数を Media 1 の飽和磁化 $M_s = 7.96 \times 10^5$ A/m, 磁気異方性磁界 $H_k = 10.0 \times 10^5$ A/m, Media 2 の硬磁性層の飽和磁化 $M_s = 7.96 \times 10^5$ A/m，磁気異方性磁界 $H_k = 10.9 \times 10^5$ A/m，軟磁性層の飽和磁化 $M_s = 7.96 \times 10^5$ A/m とした．Fig. 5 に各マイクロ波周波数における直流磁界の変化に対しての磁化反転制御の範囲を示す．Fig.3 の結果と異なり Media 2 の磁化反転制御の範囲が低値にシフトしていることがわかる．また, 各媒体の反転制御できる範囲が最大となる周波数が変化していることを確認した．

４．まとめ

二層の粒子状媒体についてマイクロ波アシスト磁気記録を用いた磁化反転現象の解析を行った．各記録媒体の直流磁界の変動に対する反転制御の範囲に関して検討し，モデルの設計を変えることにより記録制御の範囲を変化させられることが可能であることを確認した．

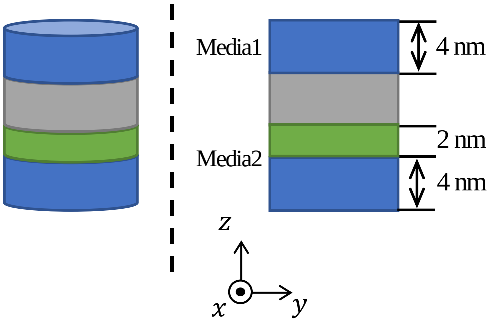

Fig.4 Computational model of recording media (ECC)

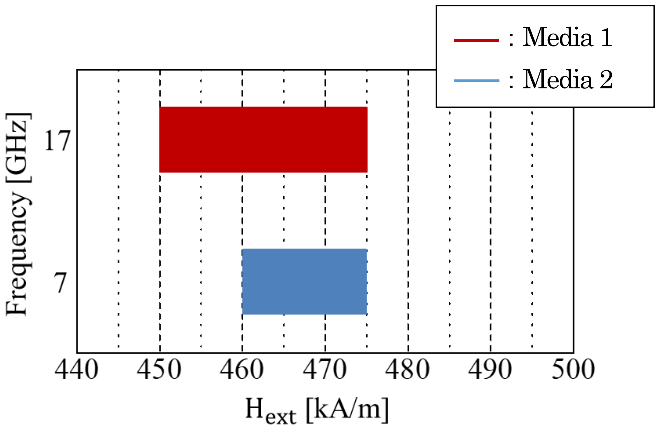

Fig.5 Result of range of switching field

５．謝辞

本研究の一部は，私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた．

６．参考文献

[1] J. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang, IEEE Trans. Magn., Vol.44, pp125-131, 2008
[2] K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S.Ohnuki, A.Itoh and A.Tsukamoto , J. Appl. Phys., Vol.109, No7, 07B735, 2011
[3] G. Winkler, D. Suess, J. Lee, J. Fidler, M. A. Bashir, J. Dean, A. Goncharov, G. Hrkac, S. Bance, and T. Schrefl, Appl. Phys. Lett., vol. 94, p 232501, June. 2009
[4] H. Suto, T. Nagasawa, K. Kudo, T. Kanao, K. Mizushima, and R. Sato, Physical Review Applied 5, 014003, 2016.
[5] S. Li et al., Appl. Phys. Lett., 94, 202509 , 2009.
[6] R. Oida, S. Ohnuki, IEICE Society Conference 2017, C-15-10
[7] R. Oida, S. Ohnuki, IEICE Technical Report EST2016-3, 2016
[8] R. Oida, S. Ohnuki, Proc. of PIERS 2017, 2P9a