

マイクロ波アシスト磁化反転と磁氣的相互作用

菊池伸明¹, 畑山正寿², 島津武仁², 岡本 聡²

(¹秋田大, ²東北大)

Magnetic interactions in microwave assisted switching

N. Kikuchi¹, M. Hatayama², T. Shimatsu², and S. Okamoto²

(Akita Univ., Tohoku Univ.)

はじめに 磁性体に GHz 帯のマイクロ波磁場を印加することで非可逆反転磁場が低減する現象は、マイクロ波アシスト磁化反転 (Microwave assisted switching : MAS) と呼ばれている。Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式に基づく解析により、MAS による反転磁場の低減効果 ΔH は $\Delta H = 2\pi f_{rf}/\gamma$ であらわされ、マイクロ波磁場の周波数 f_{rf} に比例することが知られている。ここで、 γ はジャイロ磁気定数である。このような周波数 f_{rf} に比例したアシスト効果は実験でも報告されているが、その比例係数 (周波数依存性の傾き) は試料や実験条件によって大きく異なっている[1-3]。特に、グラニューラ薄膜では周波数に対する反転磁場の変化が緩やかになり、その挙動が熱活性の影響で説明できることを指摘した[1, 2]。一方で、グラニューラ薄膜に交換結合を導入することによっても周波数依存性の傾きは大きく変化するなど、粒子間相互作用が反転磁場や反転クラスターサイズに与える影響も考慮する必要がある[3]。本研究では、LLG 方程式に基づいたマイクロマグネティクス計算により粒子間の相互作用が反転挙動に及ぼす影響について検討した。

方法と結果 マイクロマグネティクス計算には、フリーの GPU ベースのソフトウェア Mumax3 を用いて行った。厚さ 8 nm の磁性薄膜を設定し、面内方向に Voronoi 分割することで平均粒形 4 nm のグラニューラ薄膜を模した。飽和磁化 $M_s = 600$ kA/m、一軸磁気異方性定数 $K_u = 6 \times 10^5$ J/m³ とした。これらのパラメータを用いると、平均的な粒子体積 v での $K_u v / k_B T$ の値は約 20 となり、実際の試料に比べて極めて小さい。これは、現実的な計算時間で磁化反転の挙動を取り扱えるのはナノ秒オーダーとなるため、実験で測定される磁化曲線と比較の際に熱揺らぎの効果も取り込むため、意図的に設定したものである。また、隣接粒子間には粒内の交換結合 A_{grain} の大きさの 0–10% の大きさの交換結合 A_{int} が働くものとし、交換結合による影響を調べた。

Fig. 1 に、振幅 $\mu_0 H_{rf} = 50$ mT のマイクロ波磁場 (周波数 $f_{rf} = 6 - 24$ GHz) を印加して測定した磁化曲線の保磁力を、粒間と粒内の交換結合の強さの比 $A_{\text{int}}/A_{\text{grain}}$ に対してプロットしたものを示す。周波数が低い場合には、粒間の交換結合の増加により反転磁場が低下する傾向があるが、 $f_{rf} = 18$ GHz 以上では、 $A_{\text{int}}/A_{\text{grain}} = 0.05$ で最少となり、過剰な交換結合はアシスト効果を抑制する効果があることが分かる。このような変化がマイクロ波磁場の周波数に依存して表れてくることから、実際のデバイスではマイクロ波磁場の周波数や振幅に依存したメディアの設計が重要であることが示唆される。当日は、実験により計測した磁化曲線の結果とも合わせ、磁氣的相互作用が MAS に与える影響について議論する。

謝辞 本研究の一部は日本板硝子材料工学助成会および ASRC の補助によって行われました。

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] N. Kikuchi et al. Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SB1015 (2023)

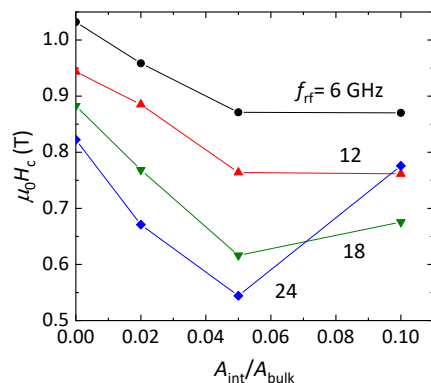


Fig. 1 Coercivity as a function of the ratio of inter-grain and bulk exchange strengths for microwave field $f_{rf} = 6 - 24$ GHz.

Pt / Fe 多層膜熱処理過程における温度低下速度操作による $L1_0$ -FePt 連続薄膜の結晶配向変態

大家幸太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)

Crystal orientation transformation of $L1_0$ -FePt continuous thin films
by controlling temperature decrease rate in Pt / Fe multilayer annealing.

Kouta Daike¹, 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 高い磁気異方性定数を有する $L1_0$ -FePt (K_u : $6.6 \sim 10 \times 10^7$ erg/cm³)¹⁾ は、磁気記録媒体材料や MRAM などの利用に向けて多く研究されている。 $L1_0$ -FePt 薄膜の高い磁気異方性の発現とともに、結晶の配向軸制御、高規則化度、高い平坦性が必要とされる。そのため、配向誘導基板を用いた多くの報告がされているが、より簡便な作製プロセスが望まれることから、平坦な熱酸化 Si 基板を対象とし、熱処理における規則合金化の促進を目的とした Pt / Fe 多層膜を成膜し、数百 °C/min.での温度制御が可能なアニール処理により $L1_0$ -FePt 連続薄膜を作製するプロセスを検討する。アニール処理は主に昇温速度・到達温度・保温時間・温度低下速度の要素があるが、本報告では温度低下速度に注目し、熱処理後の結晶構造及び配向、磁気特性、表面形状の評価を行った。

実験方法 DC マグネトロンスパッタリング法により熱酸化 Si 基板上に Pt / Fe 多層膜 [Pt (1.41 nm) / Fe (1.09 nm) = Fe₅₀Pt₅₀] × 6 cycle を積層した。この多層膜に対し、到達真空度 $\leq 2.0 \times 10^{-6}$ Pa の雰囲気下で赤外線ランプ加熱により、昇温速度 200 °C/min., 到達温度 700 °C, 保温時間 240 min.を経た後 x °C/min. ($x = -40, -5.0, -3.0, -2.5, -2.0, -1.0$) で 200 °C まで温度低下させた。熱処理後の試料に対し、結晶の配向評価を X 線回折装置 (XRD), 振動試料型磁気力計 (SQUID-VSM) で磁気特性を計測し、薄膜の表面像を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

実験結果 Fig. 1 に熱処理後の X 線回折図を示す。-2.5 °C/min.の試料において異なる特徴を確認したため、-2.5(A), -2.5(B) と区別する。まず、全ての試料で $L1_0$ 規則合金化の促進を確認した。温度低下速度を操作することで、大きく二種の優先配向膜が出現することが明らかになった。-40 °C/min. ~ -2.5 °C/min.では (111) 優先配向となり、-2.5 °C/min.より遅い冷却では (001) 優先配向となる。-2.5 °C/min.付近が結晶配向変態境界であるものと考えられる。Fig. 2 に温度低下速度 -1 °C/min.の表面形状、表面被覆率及び膜面垂直方向の磁気特性を示す。まず、熱処理後でも 97 % と高い表面被覆率を持つ連続膜形状を確認した。また、膜面垂直方向に磁場を印可した際の垂直磁化曲線にて保磁力 9.0 kOe, 飽和磁化 810 emu/cm³ の磁化曲線を示し、良好な硬磁気特性を示した。ただし、保磁力、飽和磁化はともに $L1_0$ -FePt の磁気特性理論値¹⁾に比べ小さい値である。実効的組成比の変化、規則化度の減少や (001) 配向以外の配向成分の存在によるものであると考えられる。

本検討により、配向誘導基板を用いることなく温度低下速度を操作することで、膜面垂直方向に望む結晶配向を形成できる可能性を示した。

参考文献

1) Dieter Weller, et al. IEEE Trans. Magn., Vol. 36, No. 1 (2000).

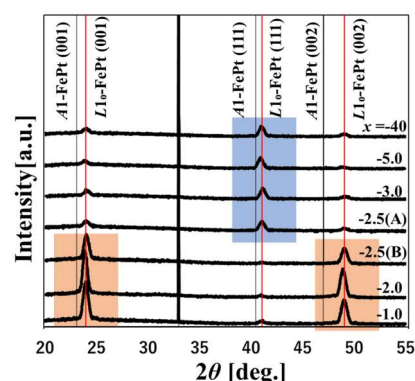


Fig. 1 Out-of-plane XRD patterns of FePt film with changing of temperature decrease rate.

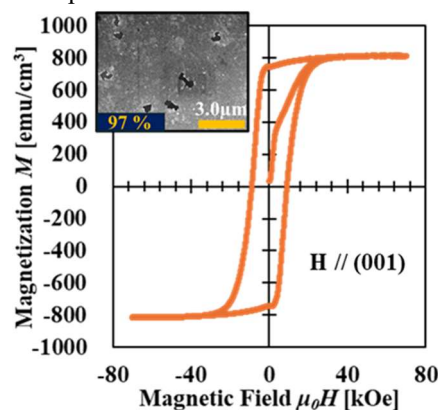


Fig. 2 Perpendicular magnetic hysteresis loop and SEM image of FePt film at -1 °C/min.

磁気テープ用スパッタ媒体の記録特性シミュレーション

大久保 亜偉輝¹ 立花 淳一² 相澤 隆嗣² 山鹿 実² 田河 育也¹

(¹東北工業大学、²ソニー ストレージメディアソリューションズ株式会社)

Simulation Analysis of Recording Characteristics of Sputtered Media for Magnetic Tape

Aiki OKUBO¹, Junichi TACHIBANA², Takashi AIZAWA², Minoru YAMAGA² and Ikuya TAGAWA¹

(¹Tohoku Institute of Technology, ²Sony Storage Media Solutions Corporation)

はじめに

LTO9 規格の磁気テープの面記録密度は約 11 Gbits/in² と推定されるが[1]、50 Gbits/in² を超える領域ではハードディスクドライブ (HDD) に使用されているヘッドや媒体の技術導入が必要と思われる。このため我々は、Ba-Ferrite 塗布テープ媒体に代わる次世代の媒体候補として、スパッタ薄膜磁気テープ媒体の開発を行っている[2][3]。しかし、磁気テープシステムでは、ヘッド媒体間磁気スペーシングの微小化や媒体軟磁性下地層 (SUL) の形成が困難である。そこで本研究では、HDD 用の垂直磁気記録ヘッドの使用を仮定し、SUL の必要性に着目してシミュレーションによる検討を行った。

計算モデル

媒体は、Co₃O₄ を添加した CoPtCr-SiO₂ 複合ターゲットフィルム基板上に作成したスパッタ薄膜垂直磁化媒体[2]を想定した。ヘッドは、250 GB クラス HDD 用の垂直磁気ヘッド (SPT ヘッド)、および、比較として LTO9 クラスの磁気テープ用リングヘッドを想定した。シミュレータの詳細については文献[4]を参照されたい。

シミュレーション結果

Fig. 1 に LTO9 ヘッドおよび SPT ヘッド (SUL あり・なし) による再生出力 (Amp.) の記録電流 (I_w) 依存性を示す。LTO9 ヘッドと比べ、SUL あり SPT ヘッドでは、飽和に要する I_w が LTO9 ヘッドよりも小さく、SUL を付けることによって記録効率が大幅に改善されることがわかる。

Fig. 2 に媒体 SNR の記録密度 (Roll-Off) 依存性を示す。SUL あり SPT ヘッドの SNR は、LTO9 ヘッドと同等であるばかりでなく、高密度領域ではむしろ高くなっている。すなわち、SPT ヘッドのトラック幅 (TW_r=150nm) が LTO9 ヘッドのトラック幅 (TW_r=800nm) よりも大幅に狭いにも関わらず高密度特性の改善がみられる。

Fig. 3 に 353kfc/i における媒体 SNR の SUL 厚さ (SUL_t) 依存性および SUL 飽和磁束密度 (SUL_{Bs}) 依存性を示す。これらは、Roll-off のデータから 353kfc/i の媒体 SNR を最小二乗近似により求めたものである。SUL_t 依存性では、SUL が薄くなるにしたがって媒体 SNR は悪化するが、20nm までの悪化は緩やかである。SUL_{Bs} 依存性では、SUL の Bs が低下すると媒体 SNR は悪化するが、2000 Gauss を境に減衰が著しい。これらの依存性は主としてヘッド磁界強度の減衰によるものである。

文献

- [1] INSIC, International Magnetic Tape Storage Roadmap 2019.
- [2] J. Tachibana, et.al., IEEE Trans. Magn., 59(11), 2100305 (2023).
- [3] S. Furrer, et.al., IEEE Trans. Magn., 54(2), 3100308 (2018).
- [4] I. Tagawa, et.al., IEEE Trans. Magn., 59(11), 3278236 (2023).

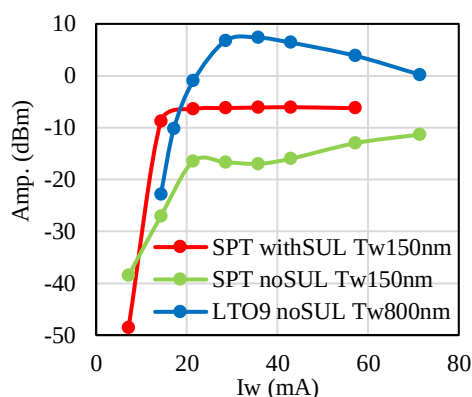


Fig. 1 Recording current dependence of readout amplitude.

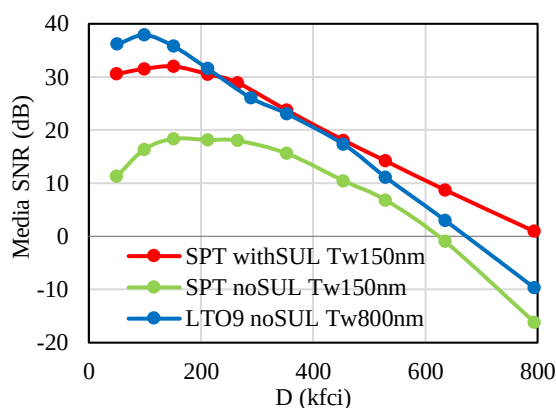


Fig. 2 Recording density dependence of media SNR.

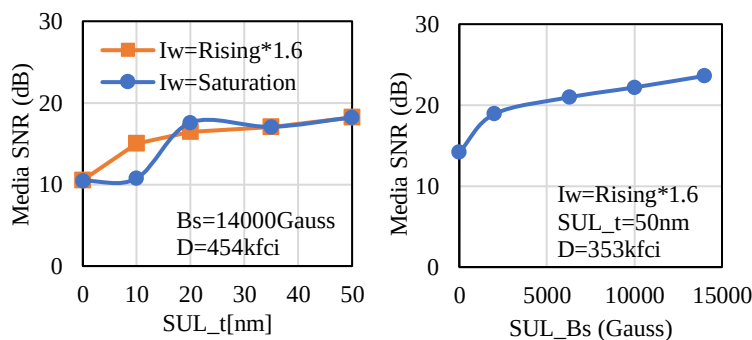


Fig. 3 Dependence of SNR on SUL thickness and on SUL Bs.

マイクロマグネティクスシミュレーションを用いた AMR 出力の考察

指宿 隆弘, 伊藤 亮太, 高橋 良徳, 長谷川 隆
(株式会社村田製作所)

Consideration of AMR sensor output profile by using micromagnetics simulation.

T. Ibusuki, R. Ito, Y. Takahashi, and T. Hasegawa
(Murata Manufacturing Co., Ltd.)

はじめに

AMR センサは、磁性膜の磁化方向に応じて電気抵抗が変化する異方性磁気抵抗効果(Anisotropic Magnetoresistance effect)を利用したセンサである。そしてセンサとして機能させる為、図 1 に示すミランダ構造に NiFe 薄膜を微細加工し、磁性膜の磁化を形状磁気異方性で安定化させた構造となっている。AMR センサの応用例としてはスイッチがあり、印加磁界に応じて変化するセンサ出力が所定の閾値を超えた時に、AMR センサの ON/OFF 出力が切り替わる。ただ、AMR センサが図 2 に示すようなヒステリシスを持つ出力特性となった場合、閾値電圧における検知磁界の誤差となり、スイッチの誤動作の原因となる。このため、ヒステリシスの小さな AMR センサが求められ、ヒステリシスの発生メカニズムを明確化することが重要である。

検討内容

ヒステリシスの発生メカニズムとして考えられるのは、磁歪に起因する誘導磁気異方性、それに起因した異常磁区の発生である。これらを検証する為、図 1 に示す AMR センサ(線幅 6 μm , 線間隔 2 μm , 膜厚 36nm)を、NiFe 組成をパラメータとし作製した。出力波形は、ヘルムホルツコイルを用い、最大印加磁界 10mT で測定した。また、マイクロマグネティクスシミュレーション(MuMAX3)を用いて[1], 誘導磁気異方性などのパラメータがヒステリシスの発生原因となるかについても検討した。マイクロマグネティクスシミュレーションでは、細線の一部をモデル化し、周期境界条件を仮定しミランダ構造を再現し計算した。図 3 に計算結果の一例を示す。図より実測と計算の良い一致が見られ、モデリングから推測される要因が、ヒステリシスの原因となった事が考えられる。その検証として、Kerr 顕微鏡を用いた磁区観察も実施した。当日は、これらの検討結果について報告する。

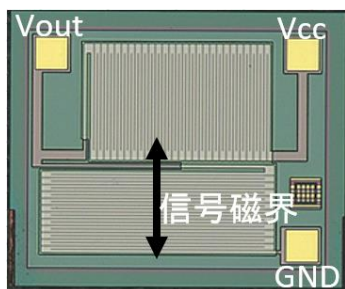


図 1 AMR センサパターン

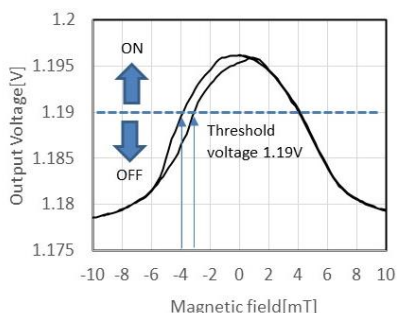


図 2 出力波形

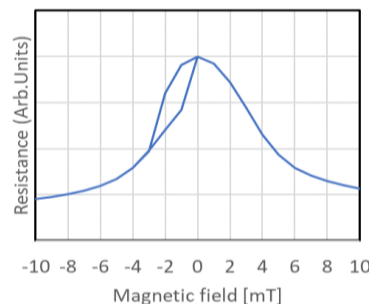


図 3 計算波形

謝辞

Ni-Fe 薄膜の物性情報, Kerr 顕微鏡を用いた磁区観察では、東北大学大学院工学研究科電気エネルギーシステム専攻遠藤恭教授のご指導を頂きました。

参考文献

- [1] A. Vansteenkiste, J. Leliaert, M. Dvornik, M. Helsen, F. Garcia-Sanchez, and B. Van Waeyenberge, AIP ADVANCES 4, 107133 (2014).