

熱アシスト磁気記録におけるプラズモニック導波路 温度上昇抑制のための構造検討

林慶彦, 田村京介, 芦澤好人, 大貫進一郎, 中川活二
(日本大学)

Study of plasmonic waveguide structure to suppress head temperature rise
for heat assisted magnetic recording

Yoshihiko Hayashi, Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, and Katsuji Nakagawa
(Nihon University)

はじめに

数 Tbit/inch² の高い磁気記録密度を実現する手法として、近接場光を用いた熱アシスト磁気記録が注目されている。我々は、伝搬型表面プラズモンを励起し、先端部へ収束するプラズモニック導波路 (PW: Plasmonic Waveguide) により記録媒体表面 $10 \times 10 \text{ nm}^2$ の領域に集光できることを報告している¹⁾。このとき表面プラズモンが収束する先端部では、エネルギー密度が高いため記録媒体を記録温度に加熱した際にヘッド先端部が高温となることが問題となっている。本報では、ヘッドの温度上昇を抑制する先端構造について検討した。

シミュレーションモデル

電磁界解析には時間領域差分法を、熱伝導解析には有限要素法を用いた。磁極と PW を組み合わせた構造を Fig. 1 に示す。Fig. 1 中の金属薄膜先端部は Fig. 2(a) に示す台形型 (上底 5 nm、下底 20 nm) のプラズモンアンテナとなっており、先端に向かって 5° 傾いている。今回、金属薄膜先端部の温度上昇を抑制するため、Fig. 2(b) に示すように先端部台形アンテナの高さ h を 9 nm (従来は 35 nm) とした。誘電体導波路のクラッド中に、コアからギャップ 190 nm をあけて厚さ 100 nm の金属薄膜を、PW として配置している。真空波長 780 nm、電界の振幅 1 V/m の p 偏光の光をクラッドとコアの境界で入射角 60° で入射した。

PW に照射した光により励起した表面プラズモンが、アンテナ先端部へ収束し、記録媒体を記録温度に加熱する際のヘッドの温度上昇の解析を行った。

金属薄膜先端部温度上昇量の先端構造依存性

金属薄膜先端部のプラズモンアンテナの高さ $h = 35 \text{ nm}$ および 9 nm の場合の先端付近の温度分布図を Figs. 3(a)、(b) にそれぞれ示す。記録媒体を記録温度 (150°C) に加熱した際、 $h = 35 \text{ nm}$ ではアンテナ先端部が 372°C まで温度上昇するのに対し、 $h = 9 \text{ nm}$ ではアンテナ先端部温度上昇が 210°C に抑えている。アンテナの高さ h が低い場合、最も高温になるアンテナ先端部の熱が、隣接するプラズモニック導波路金属部分へ容易に熱伝導できることが、アンテナ先端部の温度上昇抑制の原因だと考えられる。

まとめ

熱アシスト磁気記録にプラズモニック導波路を応用する際、先端部の温度上昇は変形や破損などの問題となる。今回、ヘッド先端部のアンテナ高さ h を低減し、高温部の熱を逃がしやすい構造とすることにより、温度上昇量を 210°C に抑制可能であることを示した。

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(C) No. 23560413、平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020)、および情報ストレージ研究推進機構の助成を受けて行われた。

参考文献 1) K. Tamura, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, and K. Nakagawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **38**, 131-134 (2014).

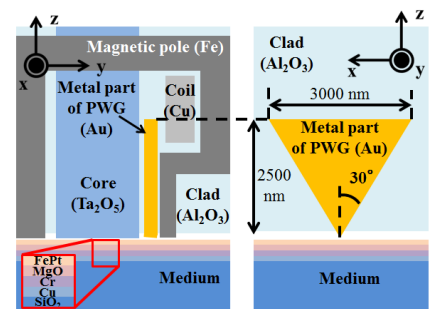


Fig. 1 A model of magnetic head with a plasmonic waveguide.

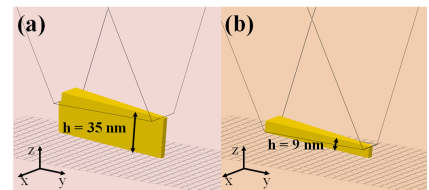


Fig. 2 Antenna structure of the plasmonic waveguide. The antenna heights are 35 nm (a) and 9 nm (b), respectively.

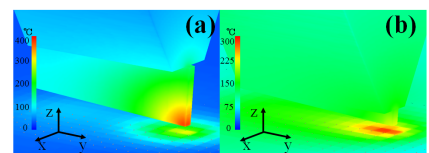


Fig. 3 Temperature distribution around the tip of the plasmonic waveguide. The antenna heights are 35 nm (a) and 9 nm (b), respectively.

熱アシスト磁気記録媒体の異方性定数比の検討

湯浅優, 赤尾達也, 磯脇洋介, 小林正, 藤原裕司
(三重大)

Study on anisotropy constant ratio for Heat Assisted Magnetic Recording media
Y. Yuasa, T. Akao, Y. Isowaki, T. Kobayashi, Y. Fujiwara
(Mie Univ.)

はじめに

熱アシスト磁気記録 (HAMR) 媒体では異方性定数 K_u とともにキュリー温度 T_c を指定する必要があるが、 K_u は T_c の関数である。そこでバルクの Fe-Pt の K_u に対する膜の K_u の本質的な比、異方性定数比 K_u/K_{ubulk} を導入した。^{1,2)} K_u/K_{ubulk} が同じであれば K_u が異なっても媒体の作製難易度は同じであるが、 K_u/K_{ubulk} を大きくすることは難しい。そこで K_u/K_{ubulk} を小さくする HAMR の設計を考える。

研究結果

本研究では情報の安定性を考慮して媒体設計を行った。主な条件として (1) 情報の長期安定性 $K_u(T_a)V_m/(k_B T_a) \geq TSF_{10}$ と、(2) 記録時の情報安定性 $\Delta T/\Delta x(y) \leq \partial T/\partial x(y)$ を考える。 T_a はドライブの最高動作温度であり、 $T_a = 330$ K とした。 TSF_{10} は統計的に算出された熱揺らぎ指標である。 $\Delta T/\Delta x(y)$ は媒体が要求する温度勾配であり、 $\partial T/\partial x(y)$ は熱伝導シミュレーションによって得られた温度勾配である。

HAMR の最大書き換え数を 10^4 回^{1,2)} から 10^7 回に変えた。

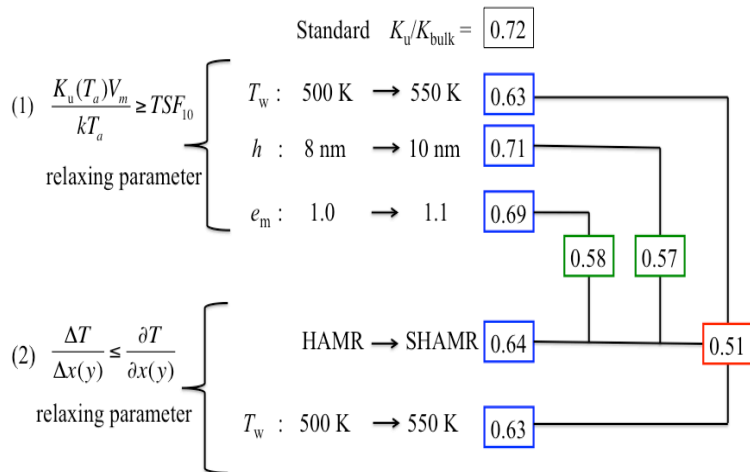
Table 1 に結果を示すが標準パラメータ値^{1,2)} で計算した K_u/K_{ubulk} は 0.72 であった。条件 (1) を緩和できるパラメータは書き込み温度 T_w と記録層膜厚 h 、グレイン間交換結合 e_m の利用³⁾ であり、条件 (2) を緩和できるパラメータはシングル磁気記録 (SMR) と HAMR を組み合わせた SHAMR の利用と T_w である。 T_w を標準パラメータ値の 500 K から 550 K に高くすると K_u/K_{ubulk} は 0.63 に下がった。しかし h を厚くしたり、 e_m を利用しても、律速が条件 (2) のためそれぞれ 0.71 と 0.69 と K_u/K_{ubulk} の低減にあまり効果がなかった。

SHAMR の利用は $\Delta T/\Delta x(y)$ を下げられるので K_u/K_{ubulk} は 0.64 に下がった。 T_w の上昇は $K_u(T_a)$ を大きくできるだけでなく $\partial T/\partial x(y)$ も大きくできる。さらに、 e_m と SHAMR を同時に利用すると、 T_w を上昇させなくても K_u/K_{ubulk} は 0.58 まで下げられ、 h を厚くして同時に SHAMR を利用しても、0.57 まで低減できる。 T_w を高くできる場合には、SHAMR と組み合わせることによって、 K_u/K_{ubulk} をさらに 0.51 まで下げられる。

HAMR の媒体設計では律速条件が (1) か (2) かを区別することが重要である。そして、律速条件を緩和できるパラメータを改善することが必要である。

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

Table 1 Media design guidelines



参考文献

- 1) T. Kobayashi et al.: J. Magn. Soc. Jpn., 39, 8 (2015)
- 2) T. Kobayashi et al.: to be published in J. Magn. Soc. Jpn.
- 3) Y. Isowaki et al.: J. Magn. Soc. Jpn., 38, 1 (2014)

赤外光を用いたキュリー温度測定システムの開発

○赤羽 浩一, 佐藤 春彦, 斉藤 伸 (東北大学)

Development of the Curie temperature measurement system using infrared light

K. Akahane, H. Sato, and S. Saito (Tohoku Univ.)

1. はじめに 熱アシスト記録方式は、垂直磁気記録ハードディスクの記録密度増大を実現する次世代記録方式の有望な候補である。熱アシスト記録では磁気モーメントを反転させるために熱が使用されるため、グラニューラ媒体の記録層として用いられる金属強磁性材料の磁気特性の温度依存性を把握することが必須となる。中でもキュリー温度 (T_C) とその分散は書き込み時に反転磁区を形成する上で重要な物性である。我々は、これらの特性の簡単かつ迅速な測定手段として、光学特性に現れる伝導電子のスピン依存散乱現象に注目している。一般に金属強磁性体の抵抗の温度依存性には、格子振動に伴う抵抗の温度依存性に重畳して原子磁気モーメントの配列秩序に依存した抵抗の温度変化が現れることが知られており、磁気相転移点で変化勾配に変化が現れることが知られている。グラニューラ媒体では粒界相として酸化物等の絶縁体が用いられることがあるため、我々は光の周波数帯での伝導電子の散乱現象の計測を試みた。課題は 400°C 以上への昇温下でも信号検出可能な光学系の構築と試料の酸化の抑制である。本講演では、伝導電子の光学応答が可視光よりも顕著に現れる中赤外光を用い、真空槽内に設置した試料からの反射率の温度依存性を測定する装置を開発し、強磁性薄膜ならびに熱アシスト磁気記録用グラニューラ薄膜の T_C の検出を試みた結果を報告する。

2. 実験結果 Fig. 1 に今回開発した装置の光学系及び真空加熱チャンバーを示す。プローブ光にはシリコンチップ上に微細加工された薄膜抵抗体による輻射赤外光源を用い、受光器には液体窒素冷却型 InSb 赤外検出器を用いた。光学系の検出波長域はおおよそ 2-6 μm である。試料室は真空引き可能な構造とし、斜め入射用ポートと 600°C まで昇温可能なセラミックヒーターを設けた。排気装置はドライポンプとターボポンプとを組み合わせ、到達真空度 10^{-4} Pa 台を実現した。プローブ光の波長と高温部からの輻射光を弁別する手段として、赤外光源を 133 Hz の正弦波電流で駆動し光強度変調をかけると共に、検出器の出力をロックインアンプで増幅した。レンズや窓には ZnSe 材及び CaF₂ 材を用い、ミラーには金蒸着膜を用いた。

Fig. 2 には一例として、入射角 45 度の場合の MnSb 薄膜の反射率の温度依存性を示した。(a) は構築した光学系で実測した実験結果である。スパッタ薄膜の構造変化による光学特性の変化の影響を排除するため、2 回昇降温を繰り返した後の 3, 4 回目の昇温時のデータを示している。(b) は各温度での可視-近赤外光領域の誘電率スペクトルから振動子モデルによりドルーデ項をフィッティングして波長 5 μm での反射率を計算し、温度に対してプロットし直した計算結果である。(a) によると 320°C 付近で光学特性の温度変化傾向が異なっており、文献によるとこの温度が MnSb 薄膜の T_C と対応することがわかった。この結果は計算結果ともよく一致している。講演では、加熱部からの輻射を抑制するための光学系の工夫、試料酸化防止のための真空加熱チャンバーの構造について説明すると共に、熱アシスト媒体に用いられる FePt-C グラニューラ薄膜を測定した結果についても報告する。

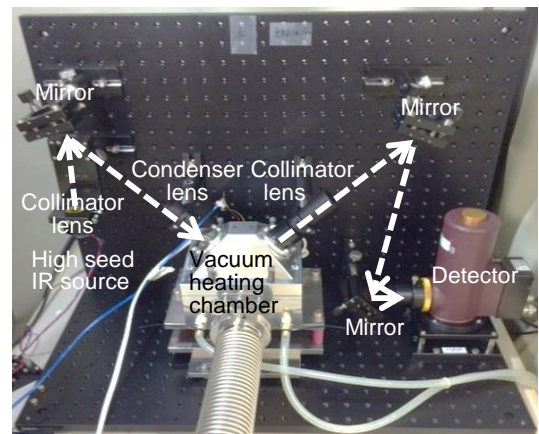


Fig. 1 The setup of IR reflection measurement system with vacuum heating chamber. White broken arrows correspond to an optical path.

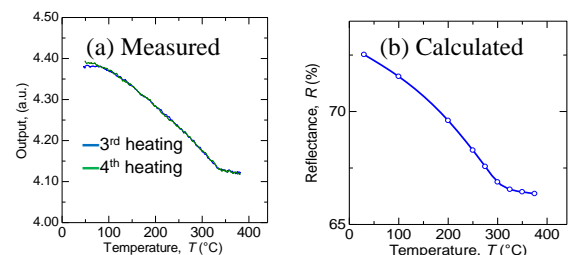


Fig. 2 (a) measured and (b) calculated reflectance as a function of temperature for a MnSb film.

Optically induced demagnetization in $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{77-x}\text{Co}_x$

Souliman El Moussaoui¹, Hiroki Yoshikawa², Tetsuya Sato^{1,3}, Arata Tsukamoto¹

(¹College of Science and Technology, Nihon Univ., ²Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ³College of Industrial Technology, Nihon Univ.)

The manipulation of the magnetic order in a ferrimagnet by the use of an ultrafast laser radiation has seen growing interest since the work published by Beaurepaire et al.¹⁾ In GdFeCo rare earth (RE)-transition metal (TM) amorphous alloys, it has been demonstrated that all optical switching (AOS) can occur in these materials and the magnetization reversal can be triggered in a sub-picosecond timescale²⁾. The magnetization reversal within this material is found to be achieved via a transient FM-like state where the RE and TM moments are parallelly aligned³⁾. Such reversal can be triggered every time when the two sub-lattices are brought out of their equilibrium state by a heat pulse alone⁴⁾. In terms of applications, this mechanism could revolutionize the industry of magnetic recording and information technologies. Therefore, in sight of the large interest that has been paid to the study of this reversal mechanism, an important aspect is to determine the parameters that could boost this reversal process.

In order to achieve such a goal, we have investigated the optically induced demagnetization dynamics in GdFeCo RE-TM amorphous alloy when changing the Fe/Co constituent ratio. For that purpose, $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{77-x}\text{Co}_x$ thin films were fabricated with magnetron sputtering technique, where the Co composition x was varied from 0 to 15 atomic percent while keeping the Gd composition fixed. The obtained samples exhibit strong out-of-plane anisotropy and equivalent coercive fields.

The ultrafast demagnetization dynamics of the thin films is measured with the Faraday effect in a stroboscopic pump-probe experiment. Fig.1 displays the normalized Faraday signal obtained in $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{77}$ and $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}$ as a function of the elapsed time after exposing the sample to an ultrashort laser radiation. As it can be deduced from the graph, the difference in demagnetization dynamics for $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{77}$ and $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}$ is of significant importance when considering the AOS phenomena. Our primary findings, which will be presented during this talk, could lead to important indications for the engineering of new magnetic media.

Reference

- 1) E. Beaurepaire et al., Phys. Rev. Lett. 76, 4250 (1996)
- 2) C. D. Stanciu et al., Phys. Rev. Lett. 99, 047601 (2007)
- 3) I. Radu et al., Nature 472, 205 (2011)
- 4) T.A. Ostler et al., Nature comm. 3, 666 (2012)

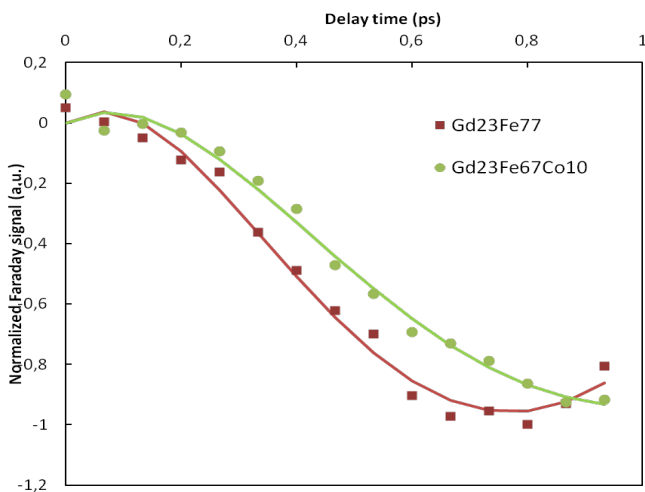


Fig.1 Demagnetization dynamics of $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{77}$ and $\text{Gd}_{23}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}$ amorphous alloys measured with Faraday pump-probe set-up in the time range [0, 1ps]. The solid lines are fits obtained from double exponential function.

誘電体中間層を有するGdFeCo二層膜における全光型磁化反転現象

寺下進之佑, 吉川大貴, 佐藤哲也***, 塚本新**

(日本大学大学院理工学研究科, *日本大学生産工学部, **日本大学理工学部)

All-optical magnetization switching in the GdFeCo double layer films with dielectric intermediate layers
Shinnosuke Terashita, Hiroki Yoshikawa, Tetsuya Sato*** Arata Tsukamoto*

(Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., *College of Industrial Technology, Nihon Univ.,
**College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに 近年, 希土類(RE)-遷移金属(TM)フェリ磁性合金薄膜に数十フェムト秒オーダーの極短時間パルスレーザー光を照射することのみで, 全光型磁化反転現象 (All-Optical Magnetization Switching: AOS) を誘起することができる^[1]. また, この AOS は円偏光照射することで, 外部磁場を印加せずに偏光面の回転方向に一意に対応した磁区の形成も可能である^[2]. この AOS は従来の磁気記録原理とは異なり非常に短い作用時間で磁化反転が可能であることから, 磁気記録の飛躍的高速化への応用が期待されている. 本稿では, 偏光に依存せず常に磁化反転を生じるタイプの AOS^[3]による多値磁気記録手法への応用を目的とし, 誘電体中間層を有する GdFeCo 二層膜試料に着目した. 二つの磁性層 (Layer I 及び Layer II) の間には, 磁気交換結合の分断を目的として SiN 誘電体を挿入している. これにより各層の磁気応答を独立させ, 磁化の向きに選択性を持たせ, 磁場を用いない全光型多値磁化状態形成を検討した.

実験方法 試料には Magnetron Sputtering 方式により作製した SiN(60nm)/[Gd₂₇Fe_{63.9}Co_{9.1} (10 nm) : Layer I]/SiN(5 nm)/[Gd₂₂Fe_{68.3}Co_{9.7} (10 nm) : Layer II]/SiN(5 nm)/glass sub.を使用する. 試料に中心波長 800 nm パルス幅 90 fs (半値全幅)のレーザー光(直線偏光)を照射し, 室温にて磁化反転を誘起し, 偏光顕微鏡を用いて, 形成磁区を磁気光学像にて観察する. 試料を透過した光の偏光面が磁気光学ファラデー効果により回転する. この透過光が検光子を通過することで光強度変化に変換される. これにより, 磁気光学像の黒白の濃淡で磁化の向きを判断できる.

結果と考察 本試料は異なる組成比の磁性層を二種類有し, 各層の磁化の向きにより層全体でのファラデー回転角 θ_F が決まる. 各種外部磁場における θ_F の推移を Fig.1(a)に示す. 単一パルス光照射実験で得られた磁気光学像を Fig.1(b)に示し, A~Dの領域内の輝度値のラインプロファイルを Fig.2 に示す. 磁気光学像の各輝度値は磁化曲線の θ_F に対応しており, Fig.1 (b) は A~D の四種の磁化状態が形成していることがわかる. これらは, 二層膜構造に AOS を用いて極短作用時間で磁化状態を任意に変えられることを示している. また, 本実験では, 単一パルス照射のみで C→B, A→D に磁化状態が遷移する. これは磁気履歴を伴う外部磁場制御においては実現しえない遷移過程である. さらに AOS は保磁力が極大となる磁化補償現象近傍領域においても誘起されることが確認出来ており^[4], 本報告は, 大きな外部磁場を要する磁性層を持つ薄膜においても, レーザー光を照射することで, 各層の磁化の向きを任意に変化させることが可能であることを示す. これは各種磁性薄膜材料における磁化動特性計測・評価及び制御方法の確立に要求が高まっている中で, 多層膜において任意に各層の磁化の向きを変えることは磁化動特性制御にも有用な手段となる可能性を示している.

謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020)の助成を受けて行ったものである.

参考文献

- [1]C.D.Stanciu, F.Hansteen, A. V.Kimel, A.Kirilyuk, A.Tsukamoto, A.Itoh, and Th.Rasing: Phys.Rev.Lett. 99, 047601 (2007).
- [2]S.Kogure, A.Tsukamoto, A.Itoh: MAG-13-67 (2013).
- [3]T.A. Ostler, et.al: Nature Comm 1666, 3:666 (2012)
- [4]H.Yoshikawa, S.Kogure, A.Tsukamoto, A.Itoh: J.Magn.Soc.Jpn.5pA-1 (2013).

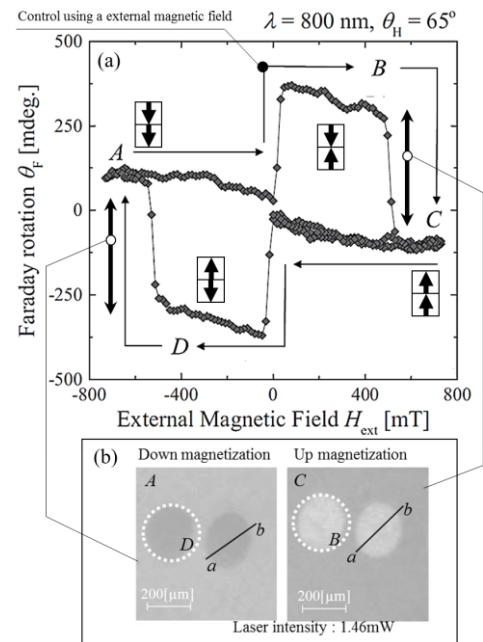


Figure.1 (a) Faraday hysteresis loop of GdFeCo double layer films. (b) Magnetic contrast of GdFeCo after laser irradiation with single linear polarized laser pulses

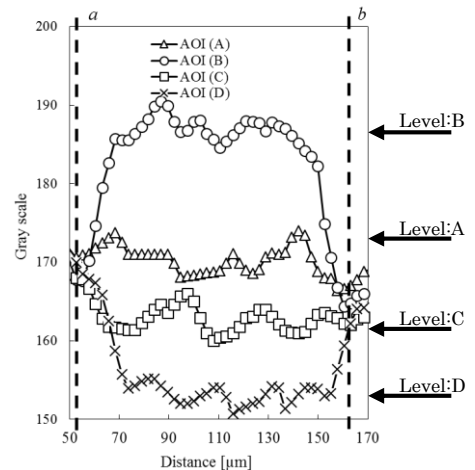


Figure.2 The line profile of magneto-optical images in Fig.1 (b)

全光型磁化反転の磁性層膜厚依存性

吉川大貴¹, 寺下進之佑¹, 植田涼平¹, Souliman EL Moussaoui², 佐藤哲也^{2,3}, 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, ³ 日本大学生産工学部)

The magnetic layer thickness dependency of all-optical magnetization switching
 Hiroki Yoshikawa¹, Shinnosuke Terashita¹, Ryohei Ueda¹, Souliman El Moussaoui², Tetsuya Sato^{2,3}, Arata Tsukamoto²
 (¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.,
³ College of Industrial Technology, Nihon Univ.)

序論

数十フェムト秒程度の超短パルス光をフェリ磁性薄膜に照射することで全光型磁化反転現象(all-optical magnetization switching: AOS)及び熱磁気的多磁区形成現象(thermo-magnetic nucleation: TMN)を誘起することができる。AOSは磁場駆動型のTMNと誘起原理が異なり、各副格子のスピンダイナミクスの差異に起源を有し、外部磁場を要せずいずれの初期磁区構造に対しても反転できることを特徴としている¹⁾。また、同磁性層を有しながら、電子・スピン・格子の各系・系間の非断熱的エネルギー散逸過程が顕在化するフェムト〜数十ピコ秒の時間領域での磁気光学応答が異なる層構成試料群において、超短パルス光照射により形成された磁区の検討から、AOSとTMNはそれぞれ異なる層構成依存性を有していることが明らかとなった²⁾。本稿では更に空間的なエネルギー散逸の検討を行うために、膜厚のみ異なる一様なアモルファス金属磁性薄膜の試料群に対し、同様に超短パルス光照射により形成された磁区のサイズの照射光強度依存性を評価した。

実験方法

Magnetron Sputtering方式により作製したSiN(60 nm)/Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}(*t* nm)/SiN(5 nm)/glass sub. (*t* = 10 ~ 30 [5 nm 毎])薄膜に中心波長 800 nm パルス幅 90 fs(半値全幅)のガウシアンレーザー光照射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する。本試料群では、膜厚ごとに正味の磁気特性が異なる。*t* = 15 (0.5 emu/cc)近傍に磁化補償点を有し、 $|t - 15|$ にほぼ比例して正味の磁化は最大 50 emu/cc 程度まで増大する。

実験結果

Fig.1に上記超短単一パルス光を各試料(横軸)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(縦軸)に示す。いずれの膜厚でもAOS形成磁区サイズは照射光強度に一意に対応し、高強度側(白円)ではそれぞれある照射エネルギー密度閾値 W_{th} 以上の領域で反転磁区が形成され、正味の磁化にはほぼ依存しない³⁾。そして、 W_{th} を膜厚 *t* で規格化した単位体積当たりの平均照射エネルギー密度閾値はいずれの膜厚においても、ほぼ一定の値を示す。これは形成磁区サイズが W_{th} により決定され、かつその後の磁壁移動等を生じないことを示す。

しかし、低強度(灰円)では単位体積当たりの平均照射エネルギー密度閾値は最大約10倍程の大きな値を示す。また、磁区形成が始まる照射光強度は膜厚 *t* に正比例する。これらの結果は、AOSによる磁区形成には膜厚方向に平均的に十分なエネルギーを与える必要がある事を示している。

謝辞

本研究は平成25~29年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1311020)の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Feseko, S. El. Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B.A. Ivanov, A.M.Kalashnikova, K. Vahaplar, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel: *Nature Comm* **1666**, 3:666 (2012).
- 2) 吉川大貴, 佐藤哲也, 塚本新, 伊藤彰義:第38回日本磁気学会学術講演会予稿集, 3aA-8 (2014).
- 3) H. Yoshikawa, S. Kogure, T. Toriumi, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* **38**, 139 (2014).

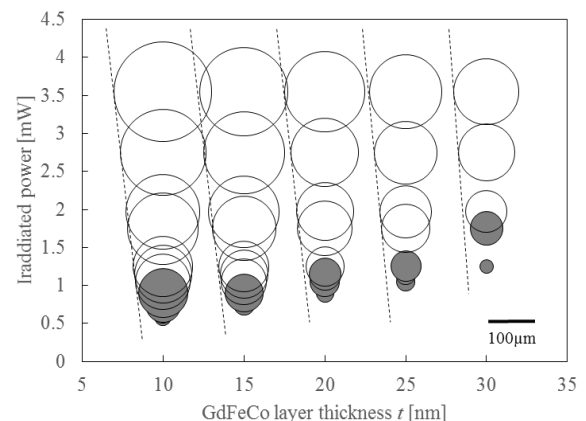


Fig. 1 The layer dependence of created domain sizes by AOS in the films SiN(60 nm)/Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}(*t* nm)/SiN(5 nm)/glass sub. (*t* = 10 ~ 30 [by 5nm]).

希土類遷移金属 GdFeCo フェリ磁性薄膜における 磁気静特性及び磁化動特性の膜厚依存性

植田涼平¹, 吉川大貴¹, 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)

Thickness Dependence of Static and Dynamic Magnetic Properties in Rare-earth Transition Metal Ferrimagnetic GdFeCo Thin Films

R. Ueda¹, H. Yoshikawa¹, A. Tsukamoto²

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

はじめに 磁性薄膜では、磁性層の膜厚ごとに膜の全体積に占める界面近傍領域の体積の割合が大きく変化するため、磁気的特性も変化すると考えられる。そして磁気的特性には、磁気異方性エネルギー K_u や飽和磁化 M_s 、保磁力 H_c に代表されるような磁気静特性と、Gilbertダンピング定数 α や歳差運動周波数 f に代表される磁化動特性がある。これらの特性は磁気記録において重要な指標となるが、磁化動特性のパラメータはサブピコ秒のスケールで歳差運動をする磁化の動きを計測する必要があるため、評価が難しい。そこで、磁気静特性のパラメータから磁化動特性のパラメータを見積もることが求められるが、両特性の相関の有無が問題となる。本報告では磁気静特性のみならず、動特性にも大きな組成、温度依存性が報告されている¹⁾フェリ磁性GdFeCo薄膜に着目し、10 nm~25 nmの膜厚範囲において、磁気静特性である正味の飽和磁化 M_s と磁気異方性エネルギー K_u 、磁化動特性である歳差運動周波数 f 、ダンピング定数 α の膜厚依存性を検討する。

磁気静特性の評価 測定試料は、DCマグネトロンスパッタ法により作製したSiN (60 nm) / Gd₂₂Fe_{68.2}Co_{9.8} (t nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t = 10, 15, 20, 25$) を用いる。まず、超伝導量子干渉素子型磁束計を用い、膜面垂直方向と膜面内方向に磁場を印加した際の磁化曲線を計測した。飽和磁化 M_s と磁気異方性エネルギー K_u の膜厚依存性をFig.1に示す。 M_s は膜厚が厚くなるとともに減少する。また、膜厚に依存しない界面の磁化を M_{sf} emu/cm²と、膜厚に依存する内部の磁化を M_v emu/ccと仮定し、 $M_s \cdot t$ emu/cm²を次のように示す。

$$M_s t = M_v t + M_{sf}$$

$M_s \cdot t$ の膜厚依存性を評価した結果、 $M_v = 54.85$ emu/cc, $M_{sf} = 1.0 \times 10^4$ emu/cm²を得た。これは、今回の膜厚範囲においては、 M_{sf} が大きいため、特に膜厚が薄いほどその寄与が大きくなることを意味している。一方、磁気異方性エネルギー K_u に関しては、本測定範囲においてほぼ一定の値であり、 2.7×10^5 erg/ccであった。本膜厚範囲においては、主に正味の磁化 M_s に膜厚依存性を生じることが明らかとなった。

磁化動特性の評価 中心波長800 nm, パルス幅90 fs (半値全幅) のレーザーを光源としたポンプ・プローブ法により、膜面法線から72°傾けた外部磁界 $H_{ext} = 178$ mTを印加し、磁化応答を室温にて測定した。測定結果をFig.2に示す。歳差運動周波数 f 、Gilbertダンピング定数 α 共に膜厚が薄くなるとともに減少している。 f の膜厚に対する変化は、 f は実行磁界 H_{eff} (異方性磁界, 自己減磁界, 印加磁界のベクトルの和) に比例する¹⁾が、磁気静特性の K_u が一定かつ M_s が減少することにより相対的に垂直磁気異方性磁界が増加し、結果として H_{eff} が増加する傾向と対応している。一方、 α については前述の通り磁気静特性との相関が依然明らかではないが、膜厚の減少とともに α 値も減少する傾向が見られ、 M_s の膜厚依存性ととも、界面近傍での実効的な希土類金属の組成比が低い領域の存在を示唆している。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1311020)の助成により行った。

参考文献

- 1) A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh "Precessional switching by ultrashort pulse laser : Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit", *Journal of Applied Physics*, vol. 109, 07D302 (2011).

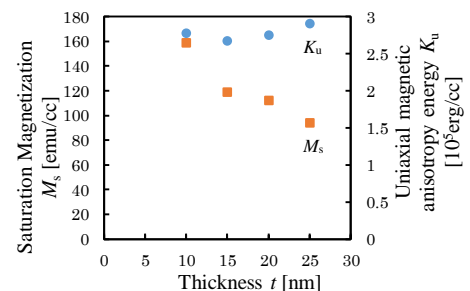


Fig. 1 Thickness dependence of saturation magnetization M_s and uniaxial magnetic anisotropy energy K_u in GdFeCo thin films.

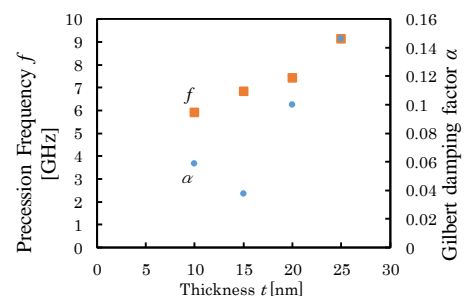


Fig. 2 Thickness dependence of precession frequency f and gilbert damping factor α in GdFeCo thin films.