

円偏光誘起磁化反転現象における形成磁区の励起光強度依存性  
 Light intensity dependence of magnetic domain shape  
 in circularly polarized light-induced magnetization reversal phenomenon

○小暮真也<sup>1</sup>, 鳥海紳悟<sup>2</sup>, 佐藤哲也<sup>2</sup>, 塚本新<sup>3</sup>, 伊藤彰義<sup>3</sup>

\*Shinya Kogure<sup>1</sup>, Shingo Toriumi<sup>2</sup>, Tetsuya Sato<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>3</sup>, Akiyoshi Itoh<sup>3</sup>

Abstract: Circularly polarized light-induced all-optical magnetization reversal phenomenon is an ultrafast and efficient pathway for magnetic recording speed, but reversal mechanism has not been enough understood yet. We investigated the excitation light intensity and composition dependence of all-optical magnetic reversal domain shape of GdFeCo alloy thin films. We found reversal threshold of excitation light intensity depend on rare earth (RE) transition metal (TM) composition of GdFeCo. Furthermore coercivity has a divergent tendency near magnetic compensation point; however, threshold decrease close to compensation composition. This result means all-optical magnetization reversal mechanism cannot be explained by only effective magnetic field of Inverse Faraday effect.

1. はじめに

現在, 情報化社会の発展による情報量の増大に伴い, 磁気記録速度の高速化が求められている. しかし, 歳差運動を伴う高速な磁化反転では強磁性共鳴による限界が存在するため, 従来の磁化制御法では大幅な高速化が困難である. この限界を打ち破るために新たな磁化制御の手法として円偏光照射による円偏光誘起磁化反転現象が注目されている. 本現象は, 外部磁界を印加せず, 40 [fs] の円偏光単パルスレーザにより, 磁化反転が可能であることが実証されている<sup>[1]</sup>. しかし, 依然としてその磁化反転原理については, 光磁気効果である Inverse Faraday 効果など, 種々の検討が行われているが, 完全には解明されていない. そこで, 本報告では円偏光誘起磁化反転現象と励起光条件との対応を明らかにすることを目的とし, 円偏光照射によって形成される反転磁区の励起光強度依存性の評価・検討を行ったので以下に述べる.

2. 円偏光誘起磁化反転現象励起・観察システムおよび試料の作製

Figure 1 に, 今回使用した磁性体の偏光顕微観察と超短パルスレーザ照射を同時に行えるよう構築した励起・観察システムの概要を示す. 磁気光学 Faraday 効果を利用し, CCD カメラによって磁区観察可能とした. 励起光源に中心波長 800 [nm], パルス幅 90 [fs] (半値全幅) の Ti: Sapphire パルスレーザを用いて, 試料の磁化状態を変化させた.

実験に用いた試料はマグネトロンスパッタ法にて作製した SiN (60 nm) / Gd<sub>x</sub>(Fe<sub>87.5</sub>Co<sub>12.5</sub>)<sub>100-x</sub> (20 nm) / SiN (5 nm) / AlTi (10 nm) / glass sub. を用いた. GdFeCo フェリ磁性体は, Figure 2 に示すように希土類 (RE) と遷移金属 (TM) の各副格子磁化  $M_{RE}$ ,  $M_{TM}$  が反平行に結合しており, 正味の磁化  $M_{NET}$ ・磁気特性が組成によって変化する. ここで,  $M_{RE}$  が優勢の場合を RE-rich,  $M_{TM}$  が優勢の場合を TM-rich と定義する. Figure 3 に今回実験に用いた測定試料の Gd 組成  $x = 21 \sim 27$  [at. %] の範囲において, 波長 600 [nm] での磁気光学 kerr ヒステリシスループより求めた室温における保磁力  $H_C$  の組成依存性を示す. 室温における磁化補償組成  $C_M$  は  $x = 24.5$  近傍で,  $x = 22 \sim 24$  は TM-rich 膜,  $x = 25 \sim 27$  は RE-rich 膜である.

3. 円偏光誘起磁化反転現象における形成磁区の励起光強度依存性

Figure 4 は Gd 組成  $x = 22$  の試料 において, 繰り返し周波数 1 [kHz] の円偏光と直線偏光のパルス光を試料表面を横切るように走査した後の磁

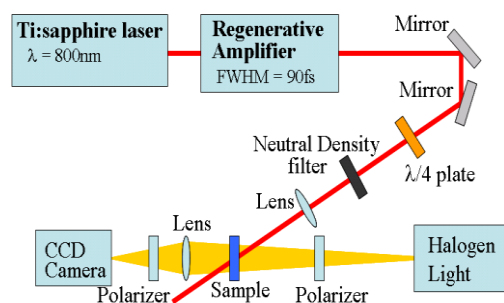


Figure 1. Schematic diagram of excitation and observation system for all-optical magnetization reversal phenomenon.

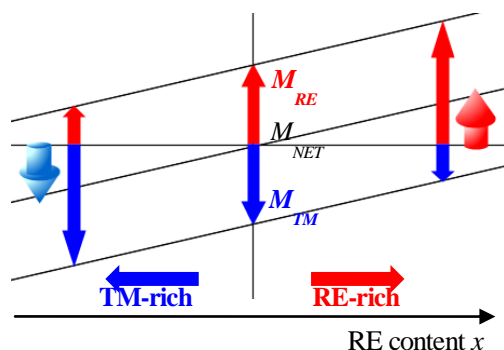


Figure 2. Schematic image of net and sublattice magnetization in RE-TM ferrimagnet.

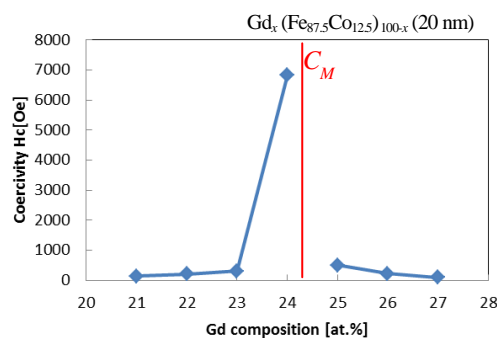


Figure 3. Composition dependence of coercivity  $H_C$  at room temperature.

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院・電子 3 : 日大理工・教員・子情

気像を示す。Figure 4 中の色の濃淡は磁化が上向きか下向きかを表している。直線偏光照射による形成磁区はマルチドメイン構造をしているが、それに対して右回り円偏光，左回り円偏光照射後の形成磁区は初期磁化状態に依存せず，円偏光の回転方向に一意に対応した磁区を形成している。これは，円偏光の回転方向により形成磁区の磁化方向を制御できることを示している。

ここで，円偏光誘起磁化反転による形成磁区サイズの励起光強度依存性の検討を行った。Figure 5 に種々の Gd 組成  $x = 21 \sim 27$  [at. %] の試料における形成磁区直径の励起光強度依存性を示す。同一試料において，反転磁区直径は励起光強度と共に増大している。これは，励起光強度を増加することで照射光スポット内に存在するガウシアン状の照射エネルギー密度分布のうち，磁化反転可能なしきい値を超える面積が増大するためである。

一方，エネルギー密度を一定とした時，反転磁区直径は組成に対し依存性を有し，磁化補償組成近傍の組成ほど低いエネルギー密度でも磁区を形成される。ここで，Figure 6 に測定試料の Gd 組成  $x = 21 \sim 27$  [at. %] の範囲において，反転磁区が形成可能となる励起円偏光強度しきい値の組成依存性を示す。これより，評価した組成範囲において，円偏光誘起の磁区形成が可能な励起光強度のしきい値が強い組成依存性を有していることが明らかになった。今回の評価試料において， $x = 24$  の時に最も反転しきい値が低く， $x = 24$  から組成が離れるに従って反転しきい値が高くなっている。 $x = 24$  は Figure 3 から分かるように，室温において  $C_M$  に最も近く，円偏光照射による磁化反転現象の励起光強度の反転しきい値が  $C_M$  に近いほど低くなることを意味している。一方，Figure 3 に示したように，媒体の保磁力  $H_C$  は  $C_M$  に近づくにつれ高くなる。Inverse Faraday 効果では励起光強度の増大は実効生成磁場の増大と対応している。つまり， $C_M$  に近いほど反転しきい値は増大するはずである。しかし，実際は  $C_M$  に近いほど反転しきい値は減少している。これらのことは，円偏光照射による磁化反転現象が，単純に円偏光の強度と実効生成磁場の対応を示した Inverse Faraday 効果のみでは説明できない現象であることを示唆している。

#### 4. まとめ

本報告では，円偏光誘起磁化反転現象における形成磁区の励起光強度依存性，及び，Gd 組成依存性について検討を行った。円偏光照射による磁化反転領域は励起光強度と共に拡大し，試料組成と磁化反転領域，励起光エネルギー密度は依存性がある。このことから，GdFeCo 磁性膜は組成ごとに円偏光誘起磁化反転での固有の励起光のエネルギー密度しきい値を持っており，照射部でエネルギー密度しきい値を超えた磁区領域が磁化反転を起こしていると考えられる。また，今回測定した測定試料の範囲で Gd 組成 24 [at. %] の時が最も円偏光照射による磁化反転可能なエネルギー密度のしきい値が低いことを明らかにした。つまり，励起光のエネルギー密度しきい値は Gd 組成  $x$  [at. %] に依存し， $C_M$  に近づくにつれて反転しきい値も低くなることを示唆している。

#### 謝辞

本研究の一部は，科学技術振興機構 戦略的研究推進事業「さきがけ」研究及び，日本大学学術研究戦略プロジェクト (N.プロ) の助成により行ったものである。

#### 5. 参考文献

[1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A.V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh and Th. Rasing: "All-Optical Magnetic Recording with Circularly Polarized Light", *Phys. Rev. Lett.* **99**, 047601 (2007).

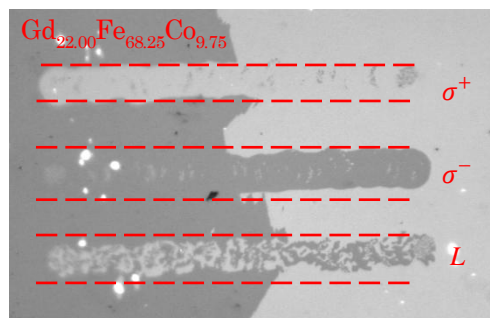


Figure 4. The effect of ultrashort polarized laser pulses on magnetic domains in  $Gd_{22}Fe_{68.2}Co_{9.75}$ . White and black areas correspond to up and down magnetic domains, respectively. Domain pattern obtained by sweeping linear ( $L$ ), right-handed ( $\sigma^+$ ), and left-handed ( $\sigma^-$ ) circularly polarized beam.

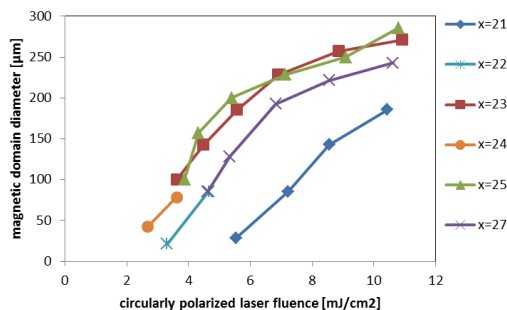


Figure 5. Composition and circularly polarized laser fluence dependence of magnetic domain diameter.

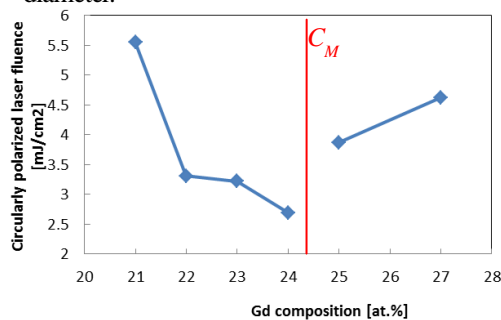


Figure 6. Composition dependence of all-optical magnetization reversal thresholds of circularly polarized laser fluence.