

## C-1

## フェリ磁性 GdFeCo における超短パルス円偏光誘起磁化反転現象への磁気円二色性の寄与 Contribution of Magnetic Circular Dichroism to Ultrafast All-Optical Magnetization Reversal Phenomenon in Ferrimagnetic GdFeCo

○小暮真也<sup>1</sup>, 佐藤哲也<sup>2</sup>, 清水隆太郎<sup>1</sup>, 吉川大貴<sup>3</sup>, 塚本新<sup>4</sup>, 伊藤彰義<sup>4</sup>\*Shinya Kogure<sup>1</sup>, Tetsuya Sato<sup>2</sup>, Ryutarō Shimizu<sup>1</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>3</sup>, Arata Tsukamoto<sup>4</sup>, Akiyoshi Itoh<sup>4</sup>

Abstract: Circularly polarized light-induced all-optical magnetization reversal phenomenon is an ultrafast and efficient pathway for higher recording speed, but reversal mechanism has not been enough understood yet. I assumed the phenomenon can be described as combination of magnetic circular dichroism and ultrafast heat pulse switching in a ferrimagnet, and we observed magnetic circular dichroism with ultrafast pulse laser irradiation in ferrimagnetic GdFeCo. As a result, we confirmed the magnetic circular dichroism is about 1.1 %.

## 1. はじめに

近年, 超高速磁気記録の手法として光のみで記録可能な円偏光誘起磁化反転現象<sup>[1]</sup>の利用が期待されている. フェムト秒オーダーの単パルス円偏光照射により, 偏光回転方向に対応した磁化反転が可能となる. しかし, 本現象による磁化反転の詳細な機構は未だ明らかではない. 本報告では, 上記現象の発現機構として磁気円二色性と超短熱パルス誘起磁化反転現象<sup>[2]</sup>の複合した現象によるものとの仮定から検討を行った. 主に, 円偏光誘起磁化反転現象が観測されている GdFeCo 試料において, 超短パルス光に対する磁気円二色性, すなわち磁化方向に依存した左右円偏光のエネルギー吸収差について報告する.

## 2. 測定試料及び実験方法

測定試料にはマグネトロンスパッタ法により作製した SiN (60 nm) / Gd<sub>25</sub>Fe<sub>65.63</sub>Co<sub>9.37</sub> (30 nm) / SiN (5 nm) / AlTi (10 nm) / glass sub. を用いた. GdFeCo は希土類 (RE) である Gd の副格子磁化  $M_{RE}$ , 遷移金属 (TM) である Fe, Co の副格子磁化  $M_{TM}$  が反平行に結合したフェリ磁性体であり, その差分が正味の磁化  $M_{net}$  となる. 本試料の光学特性は分光計を用い測定し, 波長 800 nm の時, 反射率 25.3%, 透過率 9.3%, 吸収率 65.7% である.

超短パルス光 (半値全幅 90 fs) での透過光強度を測定するため構築したシステムを Figure 1 に示す. 当システムにより透過光エネルギーに比例する信号を測定し, 上記光学特性から透過光エネルギーを計算した.

## 3. 超短パルス光照射における磁気円二色性の観測

光照射面積  $1.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ , 1 パルスの入射光エネルギー 1.0  $\mu\text{J}$  における右回り円偏光, 左回り円偏光の透過光エネルギーのヒストグラムを Figure 2 に示す. (a) に正味の磁化  $M_{net}$  が +k 方向 (レーザー伝搬方向) の場合, (b) に  $M_{net}$  が -k 方向 (レーザー伝搬の逆方向) の場合を示す.

結果,  $M_{net}$  が +k 方向の場合, 右回り円偏光入射時の透過光エネルギーの平均値は 0.094  $\mu\text{J}$ , 左回り円偏光入射時の透過光エネルギーは 0.101  $\mu\text{J}$  となり, 逆に  $M_{net}$  が -k 方向の場合, 右回り円偏光入射時の透過光エネルギーの平均値は 0.101  $\mu\text{J}$ , 左回り円偏光入射時の透過光エネルギーは 0.094  $\mu\text{J}$  となる. 従って, 同エネルギーの超短パ

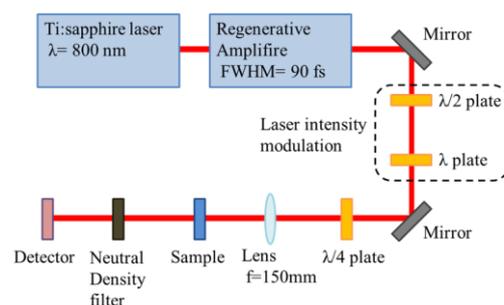


Figure 1. Schematic diagram of helicity dependent transitivity measurement set-up.

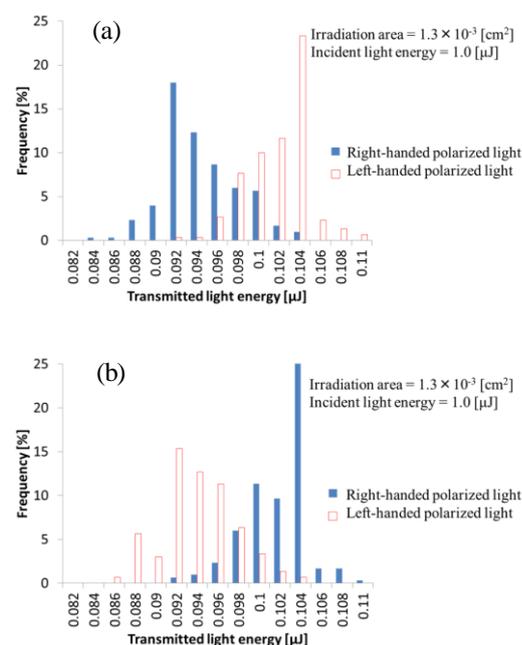


Figure 2. Transmitted light energy histogram of right-handed and left-handed circularly polarized light irradiation.

(a) Net magnetization direction is +k.

(b) Net magnetization direction is -k.

ルス光を入射した時, 磁気円二色性に起因した円偏光のカイラリティと磁化方向の対応により透過光エネルギーの差を確認できた.

#### 4. エネルギー吸収差の入射光エネルギー依存性

左右円偏光照射時におけるエネルギー吸収差の入射光エネルギーに対する依存性の検討を行った.  $M_{\text{net}} + k$  方向, 光照射面積  $1.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$  における右回り円偏光, 左回り円偏光の透過光エネルギーの入射光エネルギー依存性のグラフを Figure 3 に示す. 各円偏光の透過光エネルギーは入射光エネルギーに対し比例して増大する. 今回の測定領域内ではどの入射光強度においても左回り円偏光の透過光エネルギーが右回り円偏光の透過光エネルギーより上回っているが, 入射光エネルギーに対し, 左右円偏光の透過光エネルギーの差は大幅な変化がないことが分かった. つまり, 磁気円二色性によるエネルギー吸収の差は入射光エネルギーの変化による変位は少ないといえる.

ここで,  $M_{\text{net}}$  が  $+k$  方向の場合, 左右円偏光照射時のエネルギー吸収の差が右回り円偏光による吸収エネルギーの内どの程度の割合を占めるのかを検討を行った. 割合を式 (1) のように定義する. 尚, 吸収エネルギーは入射光エネルギーから Figure 3 で示した透過光エネルギーと反射率から求めた反射光エネルギーを引いて求めた.

$$\frac{(\text{左右円偏光照射時の吸収エネルギーの差})}{(\text{右回り円偏光照射時の吸収エネルギー})} \times 100 [\%] \dots (1)$$

右回り円偏光による吸収エネルギー中の左右円偏光でのエネルギー吸収差の割合の入射光エネルギー依存性のグラフを Figure 4 に示す. 入射光エネルギーが低いほど左右円偏光でのエネルギー吸収差の割合は大きくなる. つまり, 入射光エネルギーが低いほど磁気円二色性によるエネルギー吸収への効果が相対的に大きくなるといえる. また, 入射光エネルギーが  $1 \mu\text{J}$  の場合において右回り円偏光による吸収エネルギーに対する左右円偏光でのエネルギー吸収差の割合は約 1.1 % であることを明らかにした.

#### 5. まとめ

本報告では, 今回用いた GdFeCo 試料において半値全幅 90 fs の超短パルス光で磁気円二色性の存在を確認した. 具体的には円偏光誘起磁化反転現象を確認した試料において, 入射光エネルギーが  $1 \mu\text{J}$  の場合, 磁気円二色性によるエネルギーの左右円偏光での吸収差の割合は約 1.1 % であることを明らかにした. このような超短パルス光エネルギーの吸収量が磁化状態と偏光の回転方向の組み合わせに依存する事実と, 吸収エネルギー量に強く依存する超短熱パルス誘起磁化反転現象との複合により, 円偏光誘起磁化反転現象を生じ得る事, すなわち, 同強度の左右円偏光を入射した時に書き込みの可否が初期磁化方向もしくは偏光の回転方向で決まることを示唆している.

#### 謝辞

本研究の一部は, 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.

#### 6. 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).
- [2] T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenco, S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B. A. Ivanov, A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, J. Mentink, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel. "Ultrafast heating as a sufficient stimulus for magnetization reversal in a ferrimagnet", *Nature Communications* **3**, 666 (2012)

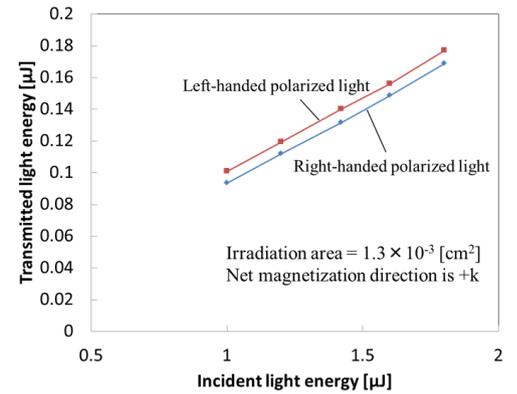


Figure 3. Incident light energy dependence of transmitted light energy at right-handed and left-handed circularly polarized light irradiation.

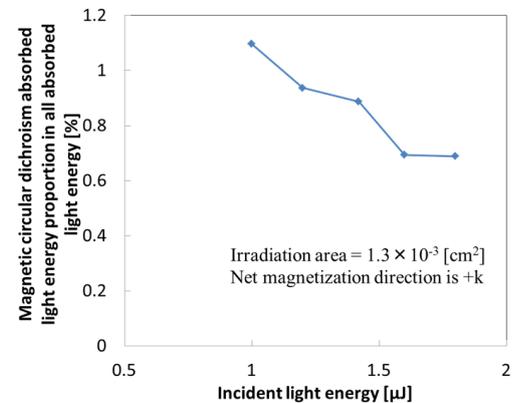


Figure 4. Incident light energy dependence of magnetic circular dichroism absorbed light energy proportion in all absorbed light energy.