

C-2

GdFeCo における超短熱パルス磁化反転条件の組成依存性の観測
Observed compositional dependence of ultrafast heat pulse switching effect in GdFeCo

○吉川大貴¹, 佐藤哲也², 小暮真也³, 清水隆太郎³, 塚本新⁴, 伊藤彰義⁴
*Hiroki Yoshikawa¹, Tetsuya Sato², Shinya Kogure³, Ryutarō Shimizu³, Arata Tsukamoto⁴, Akiyoshi Itoh⁴

Abstract: Ultrafast heat pulse switching, one of all-optical magnetization reversal phenomenon is an ultrafast and efficient pathway for higher switching speed. GdFeCo is consist from antiparallely coupled rear earth (RE) and transition metal (TM) sub lattice magnetic moment. But this reversal mechanism has not solved enough. Now, we suggest that the reversed magnetic domain area by this switching effect depends on pump light energy density and each magnetization itself. In this letter, we change the rate of RE and TM in GdFeCo composition, assess the domain size and examine the switching mechanism.

1. はじめに

高度情報化した現代において、取り扱われ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、従来の外部磁界印加による記録手法では、強磁性共鳴限界により大幅な高速化は困難である。一方、我々の研究グループでは外部磁界の印加なしに数十 [fs] の単パルス円偏光照射で磁化反転を誘起できる円偏光誘起磁化反転^[1]について報告している。本現象は、円偏光のカイラリティに一意に対応した磁区を形成する事が出来る現象であり、超高速磁気記録への応用の可能性が期待されている。一方、数十 [fs] の単パルスレーザー照射により、従来型熱磁気記録とは起源の異なる超短熱パルス磁化反転が報告されている^[2]。本現象は上記円偏光依存の現象と異なり、照射範囲の磁化が磁区の初期状態によらず反転する現象である。しかし、これら現象のメカニズムの理解は未だ充分ではない。本報告では、励起光エネルギー及び RE-TM 組成比に対する超短熱パルス磁化反転形成磁区の依存性について検討をしたので、以下に述べる。

2. 磁化反転励起・観察システムと測定試料

Figure 1 に、試料への超短パルスレーザー照射と磁化状態の観察を同時に行える励起・観察システムの概要を示す。励起光源に中心波長 800 [nm], パルス幅 90 [fs] (半値全幅) の Ti: Sapphire パルスレーザーを用い、磁化状態は磁気光学 Faraday 効果を用いて観察した。本実験では、レーザーのエネルギー変動率±1.2 [%] の条件で試料表面に単パルスを照射し、形成された磁区の面積を評価した。

測定試料にはマグネトロンスパッタ法で作製した GdFeCo 薄膜を用いた。Figure 2 に試料層構成を示す。GdFeCo はフェリ磁性体であり、希土類 (RE) である Gd と遷移金属 (TM) である FeCo の組成を変化させることで、磁気特性が大きく変化する。Figure 3 に GdFeCo フェリ磁性体における正味磁化 M_{NET} , 希土類磁化 M_{RE} , 遷移金属磁化 M_{TM} と Gd 組成の関係を示す。以降、室温にて M_{RE} が優勢の試料を RE-rich, M_{TM} が優勢の試料を TM-rich と呼称する。今回作製した組成範囲 ($x = 22 \sim 26$ [at. %], 1 [at. %] 間隔) では, $x \leq 24$ [at. %] のとき TM-rich, $x \geq 25$ [at. %] のとき RE-rich の特性を示し, いずれの場合も垂直磁化膜であった。つまり, $24 < x < 25$ [at. %] の範囲に室温における磁化補償組成が存在する。Figure 4 に、超短熱パルス磁化反転にて形成した磁区の状態の観察像を示す。

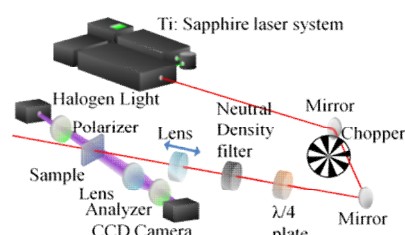


Figure 1 Schematic diagram of excitation and observation system.

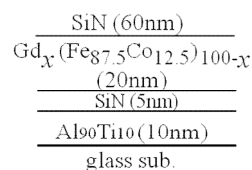


Figure 2 Schematic diagram of structural design of GdFeCo samples

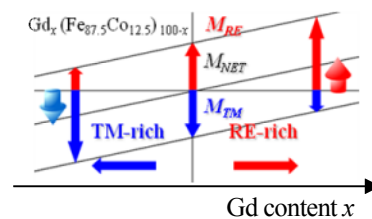


Figure 3 The relation of sublattice / net magnetization in ferrimagnet.

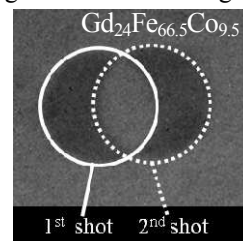


Figure 4 Magnetic domain shape of heat pulse switching in GdFeCo.

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院(後)・電子 3 : 日大理工・院(前)・電子 4 : 日大理工・教員・子情

3. 磁化反転形成磁区の励起光エネルギー、組成依存性

Figure 5 に各 Gd 組成 x [at. %] の試料における、超短熱パルス磁化反転にて形成された磁区面積の励起光エネルギー依存性を示す。Figure 5 は各円の中心点で Gd 組成 x [at. %] と励起光エネルギーを示し、面積でその形成磁区面積を示している。上述のように、今回実験に用いた試料は $24 < x < 25$ [at. %] の範囲に磁化補償組成が存在しており、超短熱パルス磁化反転にて磁区の形成が確認できた励起光の最小エネルギーの閾値が磁化補償組成に近づくにつれて減少していることが確認できる。また、同エネルギー値での面積も補償点組成に近づくにつれて大きくなることを確認できる。

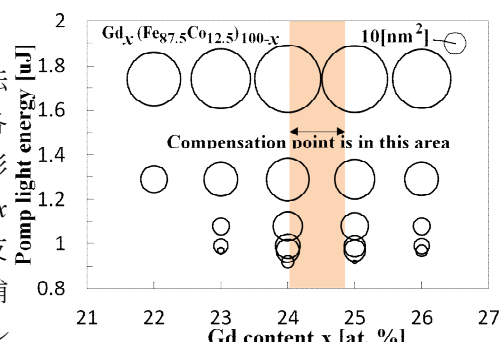


Figure 5 Excitation energy dependence of the size of reversal area in each composition

現在、超短熱パルス磁化反転は、 $M_{RE} \cdot M_{TM}$ の超短パルス光励起減磁の時定数の違いに起因した過渡的な強磁性的(平行)状態を経て本来のフェリ磁性(反平行)状態へ戻る過程^[1]にて生じていると考えられている^[2]。ここで、励起光エネルギーを増加すると、Figure 6 (a) に示すように減磁がより急峻となり、各副格子磁化 ($M_{RE} \cdot M_{TM}$) が反転するまでに要する時間も短くなる。超短熱パルス磁化反転現象を上記のように考えると、少なくとも一方の副格子磁化のz(試料面直方向)成分が0に至らない条件では、Figure 6 (b) のように磁化反転は生じない。次に反転閾値の組成依存性については、最も閾値の低い磁化補償組成近傍($M_{RE} \approx M_{TM}$)で磁化反転する場合を基準に考えると、Figure 7 のように副格子磁化($M_{RE} \cdot M_{TM}$)のいずれかが反転条件 ($Mz=0$)を満たせず磁化反転を生じえない。つまり、これは補償点近傍で反転を誘起する最小のエネルギー閾値を示し、実験結果と一致する。

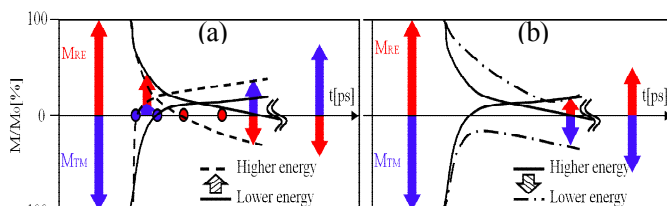


Figure 6 Pump energy dependence of sublattice magnetization reversal and propriety of reversal by heat pulse switching. ((a) increase pump energy^[3] and (b) decrease pump energy)

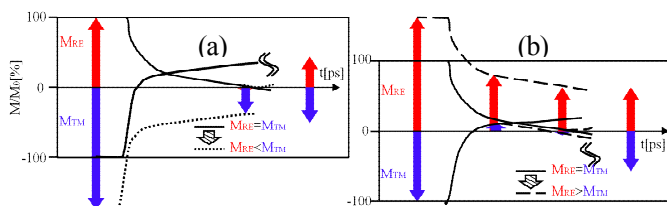


Figure 7 Compositional dependence of reversal by ultrafast heat pulse switching. ((a) $M_{RE} < M_{TM}$ and (b) $M_{RE} > M_{TM}$)

これらより、超短熱パルス磁化反転現象の磁化反転可否の条件として励起光エネルギー吸収速度と各副格子磁化 ($M_{RE} \cdot M_{TM}$) 減磁速度が大きく寄与しているものと考えられる。この上で、レーザー光のエネルギー密度はガウシアン状に分布していることを考えると、励起光エネルギー及び組成比により形成磁区サイズが変化すると考え、実験結果とも一致する。

4. まとめ

超短熱パルス磁化反転により形成された反転磁区について、励起光エネルギー及び組成に対する依存性の評価を行った。結果、形成磁区的面積及び磁化反転が誘起される励起光の最小エネルギーの閾値が組成に強い依存性を示し、磁化補償点に近づくにつれて反転エネルギー閾値が低くなることを示した。

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。

5. 参考文献

- [1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A.V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh & Th. Rasing: "All-Optical Magnetic Recording with Circularly Polarized Light", *Physical Review Letters*, **99**, 047601, 2007.
- [2] 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 & A.V. Kimel: "Ultrafast heating as a sufficient stimulus for magnetization reversal in a ferrimagnet", *Nat. Commun*, 2012
- [3] I. Radu, K. Vahaplar, C. Stamm, T. Kachel, N. Pontius, H. A. Dürr, T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing & A. V. Kimel: "Transient ferromagnetic-like state mediating ultrafast reversal of antiferromagnetically coupled spins", *Nature*, Vol.472, pp205-208, 2011.