

## GdFeCo フェリ磁性体の角運動量補償点利用超高速磁化歳差スイッチング Ultrafast Precessional Switching near Angular Momentum Compensation Point in GdFeCo

清水崇博<sup>1</sup>, 佐藤哲也<sup>1</sup>, 鳥海紳悟<sup>1</sup>, 清水隆太郎<sup>2</sup>, 塚本新<sup>3,4</sup>, 伊藤彰義<sup>3</sup>  
Takahiro Shimizu<sup>1</sup>, Tetsuya Sato<sup>1</sup>, Shingo Toriumi<sup>1</sup>, Ryutaro Shimizu<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>3,4</sup>, Akiyoshi Itoh<sup>3</sup>

Abstract: Ultrafast magnetization reversal is required not only for magnetic storage but also spintronic devices. We calculated the magnetization dynamics by using LLG simulation with parameter determined by mean field approximation method near the angular momentum compensation point where the magnetization dynamics is highly accelerated in GdFeCo rare earth transition metal (RE-TM) ferrimagnet. calculated result indicate the ultrafast precessional switching could be triggered in GdFeCo film. We constructed the ultrafast magnetization dynamics observation system using pump-probe method and demonstrate ultrafast magnetization switching phenomena near the angular momentum compensation point by 90 fs ultrashort pulse laser irradiation under static applied magnetic field in Gd<sub>24.5</sub>Fe<sub>66.1</sub>Co<sub>9.4</sub> thin film

### 1. はじめに

近年、情報化社会の発展に伴い、情報記録デバイスにおける記録速度の高速化が要求されている。記録に要する時間、すなわち磁化反転時間の短縮は磁気記録のみならず、スピントロニクス分野においても重要な課題であるが、その高速化には強磁性共鳴限界とよばれる不可避な物理限界が存在する。

上記問題に対しこれに対し我々は、副格子磁化からなるフェリ磁性 GdFeCo の正味の角運動量が消失する角運動量補償組成  $C_A$  近傍における強磁性共鳴周波数の増大効果、具体的には磁化反転時間を決定する正味の磁化に対する実効的 Gilbert 減衰係数  $\alpha_{eff}$  および有効磁気回転比  $\gamma_{eff}$  が著しく増大することを実測し、結果として磁化反転の高速化が期待されることを磁気シミュレーションにより示した。そして、超短パルスレーザーの極短時間加熱と磁化補償現象を利用し、DC 磁場と超短パルス照射により、高速歳差スイッチング過程が現象可能であることを実証した。以下、詳細を述べる。

### 2. 磁化反転過程の LLG シミュレーション

磁化の動特性は、一般に Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式によって表現される。Gd<sub>x</sub>(Fe<sub>87.5</sub>Co<sub>12.5</sub>)<sub>100-x</sub> フェリ磁性合金における磁化動特性を LLG シミュレーションにより計算した。各元素の g 係数は Gd: 2.00, Fe: 0.89, Co: 2.22 を用い<sup>1)</sup>、ここで正味の磁化値の組成依存性は分子場近似法により求めた。 $\gamma_{eff}$  及び  $\alpha_{eff}$  の組成比依存性の計算結果を Fig. 1 に示す。Gd 組成  $x = 23$  at. % において角運動量補償組成  $C_A$  が存在し、その近傍において  $\gamma_{eff}$  及び  $\alpha_{eff}$  が著しく増大した。また、磁化補償組成  $C_M$  は  $x = 24.5$  at. % である。この値は後述する実測値と 1[at. %] 以内の誤差で一致する。Fig. 1 の結果をパラメーターとし、 $C_A$  近傍の磁化反転過程のシミュレーションを行った結果を Fig. 2 に示す。外部磁界  $H_{ext}$  は、膜面法線から 70° の方向に 4200 Oe 印加し、 $t = 0$  s において印加方向を反転した。垂直磁気異方性定数  $K_u$  は  $10^4$  J/m<sup>3</sup> とした。結果は、組成を  $C_A$  に近づけるにつれ、歳差運動に起因する  $M_z$  (磁化の z 軸成分) の減衰振動の時定数を大幅に短縮できることを示唆するものである。

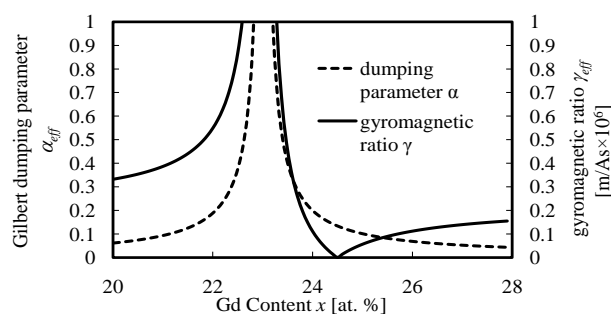


Fig. 1 Compositional dependence of effective Gilbert damping parameter  $\alpha_{eff}$  and gyromagnetic ratio  $\gamma_{eff}$  calculated by LLG simulation.

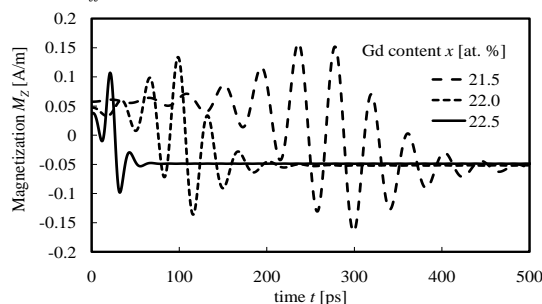


Fig. 2 Compositional dependence of precessional switching motion calculated by LLG simulation in Gd<sub>x</sub>(Fe<sub>87.5</sub>Co<sub>12.5</sub>)<sub>100-x</sub> films.

1: 日大理工・院・電子 2: 日大理工・学部・子情 3: 日大理工・教員・子情 4: JST さきがけ

### 3. 歳差スイッチング過程の励起・測定

中心波長 800 nm、パルス幅 90 fs (半値全幅)、繰り返し周波数 1 kHz のレーザーを光源として用いたポンプ・プローブ法にて、外部磁界  $H_{ext}$  を基板法線より  $77^\circ$  傾け 4200 Oe 印加し、磁化歳差運動の測定を行った。測定試料はマグネトロンスパッタ法により作製した SiN (60 nm) /  $Gd_x(Fe_{87.5}Co_{12.5})_{100-x}$  (20 nm) / SiN (5 nm) / AlTi (10 nm) / glass sub. を用いた。Fig. 3 に、測定した磁化歳差運動から求めた  $\alpha_{eff}$  および歳差運動周波数  $f$  の各種 Gd 組成  $x$  依存性を示す。結果より、Fig. 1 の計算結果と同様の増大傾向を確認でき、 $x = 23.6$  at. % 付近に  $C_A$  が存在することを示している。次に、 $x = 24.5$  at. % における歳差スイッチング過程の励起・測定を行った。 $H_{ext} = 4200$  Oe を基板法線から  $70^\circ$  傾け印加し、プローブ光の中心波長は 420 nm とした。Fig. 4 に、 $x = 24.5$  at. % における保磁力の温度依存性を示す。試料の磁化補償温度  $T_M$  を超える極短時間加熱により正味の磁化が逆向きとなり、実効的に超短時間で印加磁場方向が反転し、歳差スイッチングが励起される。Fig. 5 に、ポンプ光のエネルギー密度を  $3.3 \text{ mJ/cm}^2$  としたときの測定結果を示す。結果より、前述のシミュレーション結果から予想されたように、磁化値が  $+M$  から  $-M$  方向へと急峻に変化した後、振動を伴いながら遷移していることがわかる。励起直後に生じる最初の歳差運動の周波数は 30 GHz 相当であり、Fig. 3 の結果から  $T_A$  近傍の条件であるといえる。以上より、DC 磁場印加の下、超短パルスレーザーにより  $T_M$  を超え  $T_A$  近傍まで急速に加熱することで、高速歳差スイッチングの励起が可能であることを実証した。

### 4. まとめ

GdFeCo フェリ磁性合金において、実効的 Gilbert 減衰係数  $\alpha_{eff}$  及び磁気回転比  $\gamma_{eff}$  が著しく増大する角運動量補償組成が存在することを実測した。また発散する磁化動特性パラメーターを用いたシミュレーションの結果から磁化反転時間の大幅な短縮の可能性を示した。さらに DC 磁場中において、磁化補償をまたぎを超短パルスレーザーによる極短時間加熱により、角運動量補償点近傍まで過熱することで高速歳差スイッチングを励起できることを実証した。

### 5. 参考文献

- 1) Xiaozhou Shu: Mean-Field Theory of Saturated Magnetization and its Application (2002)

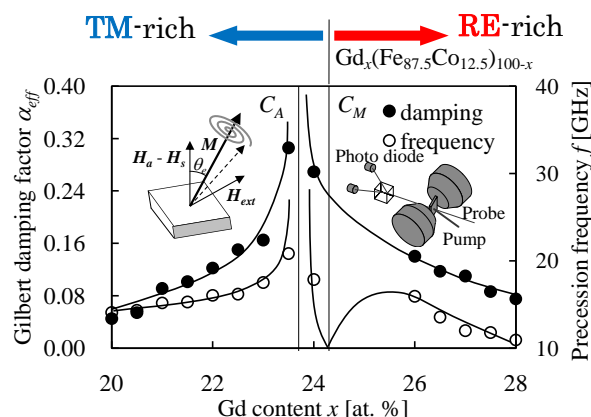


Fig. 3 Compositional dependence of effective Gilbert damping parameter  $\alpha_{eff}$  and precession frequency  $f$  estimated with measured results.

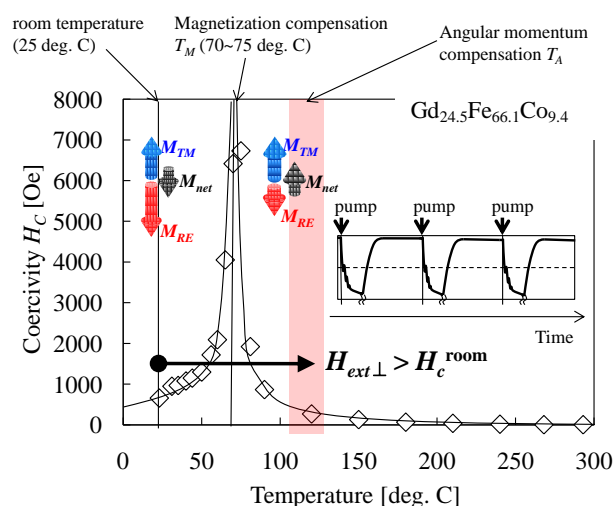


Fig. 4 Temperature dependence of coercivity  $H_c$  in  $Gd_{24.5}Fe_{66.1}Co_{9.4}$  estimated with magneto optical Kerr hysteresis loops. Inserted illustrations are the fundamentals to trigger precessional switching across ferrimagnetic compensation points.

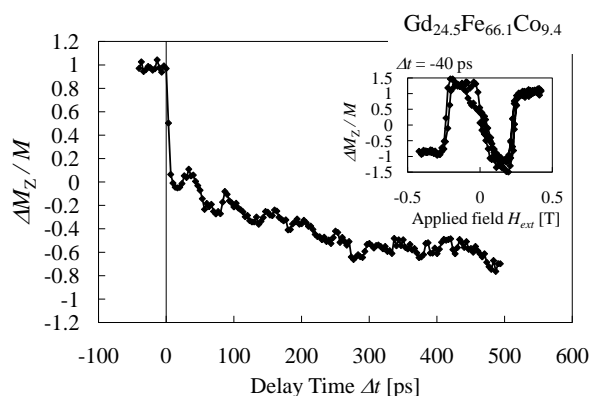


Fig. 5 Precessional switching into opposite direction triggered with ultrashort pulsed laser irradiation in  $Gd_{24.5}Fe_{66.1}Co_{9.4}$ .