

M-23

GdFeCo 合金薄膜における超短パルスレーザー励起減磁過程の媒体層構成依存性

Film structure dependence of ultrashort pulsed laser-induced demagnetization process of GdFeCo alloy thin films

○佐藤哲也¹, 清水隆太郎¹, 鳥海紳悟¹, 塚本新², 伊藤彰義²*Tetsuya Sato¹, Ryutaro Shimizu¹, Shingo Toriumi¹, Arata Tsukamoto², Akiyoshi Itoh²

Abstract: The speed limits of heating and cooling process are important issue for fast heat assisted magnetic recording. Femtosecond pulsed laser light allow excitation of magnetic systems much shorter than the time scale of thermal diffusion. In this study, we investigated the film structure dependence of ultrashort laser-induced demagnetization of 20 nm thick GdFeCo alloy films. After the laser excitation, we found two time region from magnetic behavior: rapid step-like reducing process of magnetization and following recovering process with precessional motion. The time scale of first rapid step-like demagnetization process is conformed as within picoseconds range for all the cases.

1. はじめに

近年の情報化社会の発展により、磁気記録デバイスに対し記録速度高速化の要求がある。我々はこれまでに、希土類 (RE) 遷移金属 (TM) フェリ磁性体である GdFeCo において、Gilbert ダンピング定数 α_{eff} 及び歳差運動周波数 f が組成・温度に対し強い依存性を有し、正味の角運動量が消失する角運動量補償点の近傍において著しい増大傾向を示すことを報告している^{[1][2]}。また、超短パルス光による角運動量補償点近傍への極短時間加熱によって、実際に熱アシスト高速磁化歳差スイッチングが励起できることを実証している^[2]。

熱アシスト高速磁気記録の記録速度を決定する重要因子の 1 つに、記録媒体の加熱・減磁過程がある。従来のナノ秒パルス光加熱による熱アシスト磁気記録では、加熱・減磁過程は媒体の熱拡散時定数に大きく依存する。しかし、媒体の熱拡散時定数と比べ非常に短いフェムト秒パルス光による加熱においては、電子・格子系の温度に非平衡が生じ、従来の熱アシスト磁気記録における知見をそのままでは利用できない。そこで、超短パルス光励起の加熱・減磁過程について、媒体層構成による依存性を検討したので、以下報告する。

2. 実験方法

中心波長 800 nm, 繰り返し周波数 1 kHz, 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、測定光の磁気光学 Kerr 効果 (MOKE) 及び反射率の時間発展を測定した。測定システムの概要を Figure 1 に示す。外部磁場 0.36 T を膜面法線から 83° 傾けて印加し、高強度励起光による極短時間加熱により減磁・歳差運動を励起する。測定光の中心波長は 400 nm とし、加熱に寄与しない強度 ($46 \mu\text{J}/\text{cm}^2$) として測定を行った。測定光と励起光の試料表面到達遅

延時間 Δt は、最小時間分解能 3.3 fs で制御可能である。

Figure 2 に、マグネトロンスパッタ法にて作製した測定試料 3 種の構成を示す。従来のナノ秒パルス光加熱においては、Sample II のように放熱層と磁性層が面した構造とすると、Sample III のように磁性層のみの構造と比較して冷却時間は短縮されるが、熱拡散により到達温度が低減する。一方、Sample I のように誘電体層を挿入した構造とすることで、到達温度の低減を抑制しつつ冷却時間を短縮することが可能である。

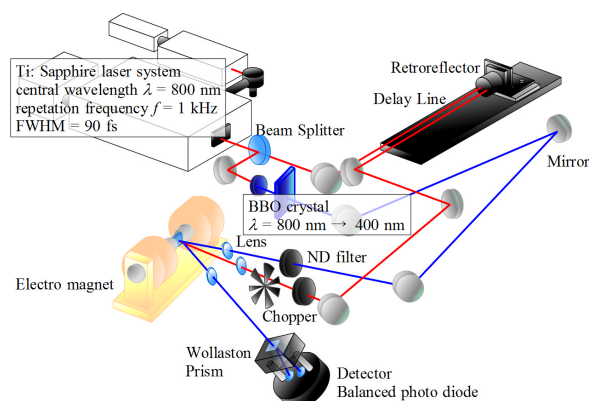


Figure 1. Schematic diagram of time-resolved magneto-optical Kerr effect (MOKE) and reflectivity measurements set-up.

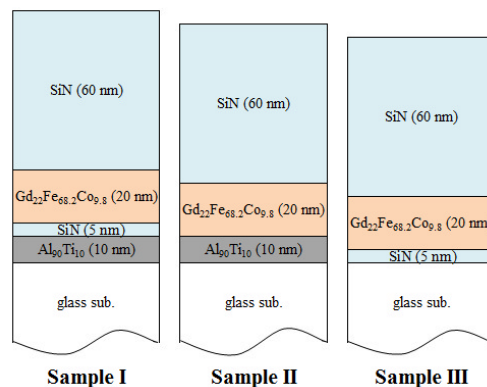


Figure 2. Schematic diagram of prepared GdFeCo films with different film structures.

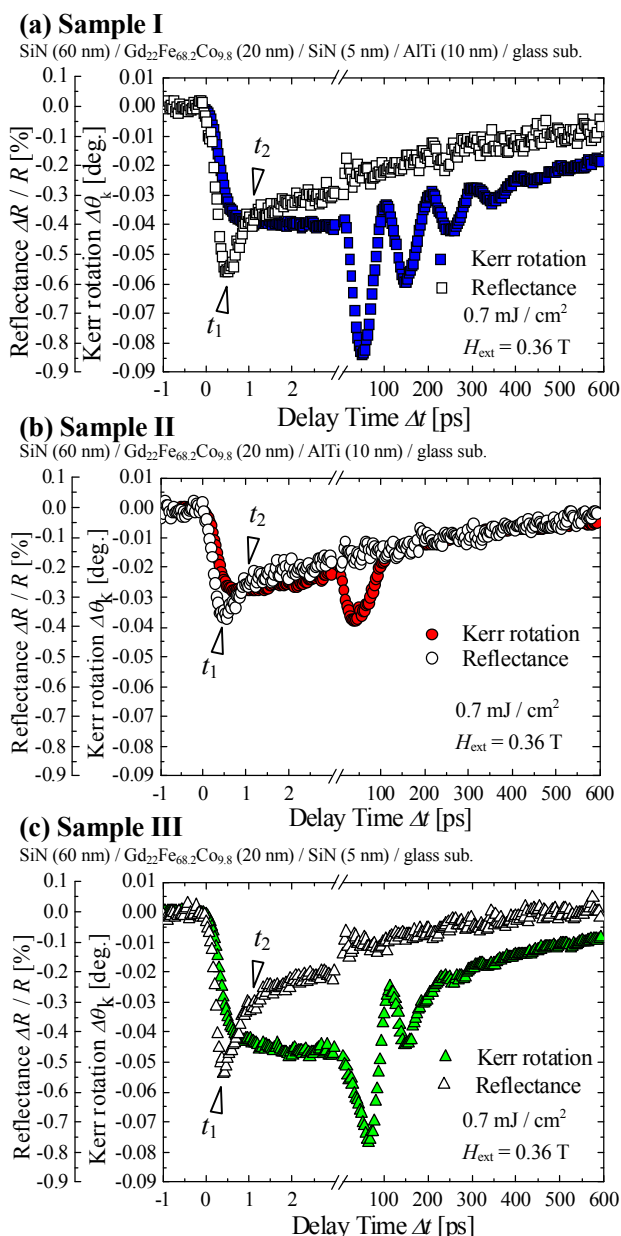


Figure 3. Film structure dependence of time evolution of magneto-optical Kerr rotation $\Delta\theta_k$ and normalized reflectance $\Delta R / R$ of 20 nm thick GdFeCo films.

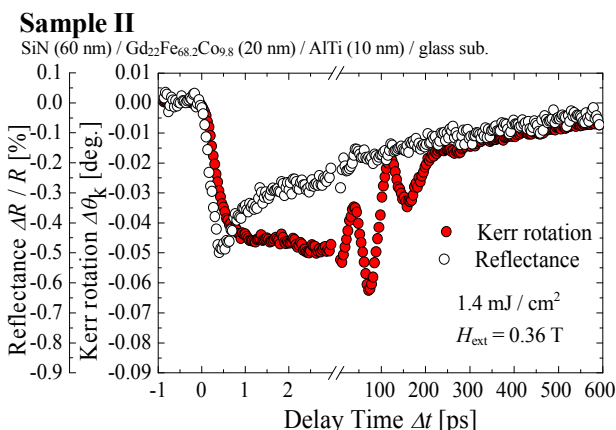


Figure 4. Time evolution of magneto-optical Kerr rotation $\Delta\theta_k$ and normalized reflectance $\Delta R / R$ of sample II excited by high intense (1.4 mJ / cm²) pump pulsed laser irradiation.

3. 実験結果

Figure 3 に、励起光強度 0.7 mJ / cm² における各試料の反射率・Kerr 回転角の変化 $\Delta R / R \cdot \Delta\theta_k$ の時間分解計測結果を示す。励起光到達 ($\Delta t = 0$) 後の現象は、ps の時間域での電子温度上昇を反映する $\Delta R / R$ の急峻な低下とそれに続くステップ状減磁過程、その後数 100 ps にわたる歳差運動と重畳した熱拡散・磁化回復過程の、2つの領域に分類できる。電子温度は図中 t_1 ($\Delta t \sim 0.5$ ps) で最大となり、 t_2 ($\Delta t \sim 1.1$ ps) で格子温度とほぼ平衡に至る。電子温度上昇から数 100 fs の遅延の後、主に TM 磁化に起因した $\Delta\theta_k$ も変化し、ps の時間域で準安定状態に至る。導電性 AlTi 層と磁性層が面した Sample II の減磁量は、電子・格子系の非平衡下 ($\Delta t < t_2$) であるにも関わらず Sample III の約 2 / 3 に減少しており、層間で電子温度伝搬が生じたと考えられる。一方、間に絶縁体 SiN 層を挿入した Sample I の減磁量は Sample III と同程度であり、層間の電子温度伝搬を抑制したと考えられる。歳差運動の層構成による差は、主にダンピング定数 α_{eff} ・磁気回転比 γ_{eff} の温度依存性による [1]。

歳差運動が特に異なる Sample II について、励起光強度 1.4 mJ / cm² での $\Delta R / R$ 及び $\Delta\theta_k$ の時間発展を Figure 4 に示す。反射率変化・減磁量とも Figure 3 (b) より増加しており、到達温度の上昇を意味する。この時、明確な歳差運動が確認でき、層構成による差異が主に $\alpha_{\text{eff}} \cdot \gamma_{\text{eff}}$ の温度依存性によることを裏付ける。これら層構成による差にも関わらず、減磁過程の時定数は約 100 fs と、媒体の層構成によらずほぼ一定である。これは、超短パルス光励起の減磁過程が、電子・格子系熱平衡下における熱拡散過程でなく、主に極短時間電子温度加熱及び格子系への熱平衡化からなる非断熱過程によるためである。その時定数は主に磁性層の材料に依存する。

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。

4. 参考文献

- [1] C. D. Stanciu, A. V. Kimel, F. Hansteen, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing: “Ultrafast spin dynamics across compensation points in ferrimagnetic GdFeCo: The role of angular momentum compensation”, *Phys. Rev. B* **73**, 220402 (R) (2006).
- [2] A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh: “Precessional switching by ultrashort pulse laser: Beyond room temperature ferromagnetic resonance limit”, *J. Appl. Phys.* **109**, 07D302 (2011).