

## GdFeCo 磁性薄膜における超短パルスレーザー光誘起磁化反転

## Ultra Short Pulse Laser Light Induced Magnetization Reversal in GdFeCo Magnetic Thin Film.

○鳥海紳悟<sup>1</sup>, 佐藤哲也<sup>1</sup>, 塚本新<sup>2,3</sup>, 伊藤彰義<sup>2</sup>\*Shingo Toriumi<sup>1</sup>, Tetsuya Sato<sup>1</sup>, Arata Tsukamoto<sup>2</sup>, Akiyoshi Itoh<sup>2</sup>

Abstract: High speed magnetization reversal is an important subject not only for magnetic recording devices but also spintronic devices. We demonstrate the sub-picosecond demagnetization process by the ultra short pulse laser (pulse width = 90 fs, central wavelength = 800 nm) using Faraday effect in Gd<sub>20.0</sub>Fe<sub>70.0</sub>Co<sub>10.0</sub> rare earth transition metal thin film. In addition, similar type of magnetization reversal with conventional thermo magnetic recording method was triggered by ultra short heating. Moreover, we demonstrate polarity dependence of laser induced magnetization phenomena. The helicity of circularly polarized laser light determined the direction of magnetization in the film after irradiation.

## 1. はじめに

高度情報化社会にみられる情報量の急激な増加により、磁気記録媒体の高密度化だけでなく、記録速度の高速化が求められる。我々は新規超高速磁化反転手法の確立を目的として、高強度超短パルス光と金属磁性体間の極短時間作用に注目し、その利用を検討している。具体的には、高エネルギー密度に起因した強い非平衡過程を伴う超短時間加熱と、光の有する角運動量に依存した磁化誘起現象である。まず、GdFeCo 磁性薄膜に対してパルス長90 fs(半値全幅:FWHM)の直線偏光照射により、熱磁気特性に起因した磁化反転現象を実証し、高速な減磁作用を誘起・利用できる可能性を示した。さらに、左右円偏光を用いて偏光依存磁化誘起現象を実証し、本現象が円偏光成分に起因し、誘起される磁化方向は初期磁化状態によらず円偏光の回転方向で制御する事が可能であることを示した。以下に詳細を述べる。

## 2. 実験方法

Fig. 1 に、本研究遂行のために構築した磁性体表面の偏光顕微鏡観察とパルスレーザー光照射が同時に行える磁気イメージングシステムの概要を示す。本システムは磁気光学ファラデー効果を用いて磁化状態の観察を行う。レーザー光源として中心波長 800 nm, パルス長 90 fs の Ti: Sapphire レーザを用い、試料へパルス光を照射し、誘起された磁化状態の変化を観察する。実験に用いた試料はマグネトロンスパッタ法で作製した 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. ( $x = 26.0, 20.0$ ) である。磁気光学カーヒステリシスループより求めた保磁力  $H_C$  の温度依存性を Fig. 2 に示す。

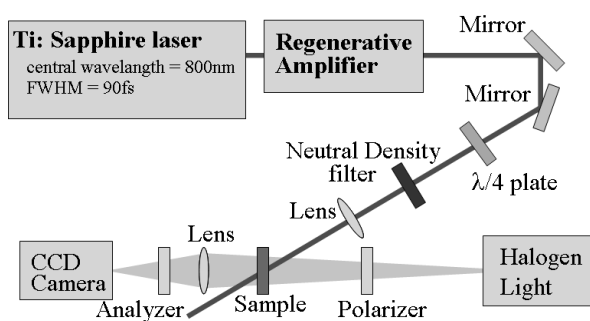


Fig. 1 The femtosecond laser irradiation and magneto-optical imaging system.

## 3. 超短パルス光加熱による磁化反転現象

超短パルスレーザー光による超短時間加熱を利用した磁気記録の可否について検討した。Gd<sub>26.0</sub>Fe<sub>64.7</sub>Co<sub>9.3</sub> 試料へのパルス光照射後の磁気イメージを Fig. 3 に示す。図中の色の濃淡は試料面に対する垂直磁化の向きに対応しており淡部  $M^+$  が上向き磁化、濃部  $M^-$  が下向き磁化を表している。また、図中点線はパルス光を照射した箇所を示す。Fig. 3 より、90 fs 単一パルス光照射による円形状の磁区形成を確認した。これは90 fs という極短時間のパルス光照射で既存の熱磁気記録と同様の磁化反転現象が誘起されたことを示している。すなわち、パルス光が照射された領域の磁化方向は、照射前と常に逆向きに磁化しており、これはパルス光照射により加熱された領域の試料温度がキュリー温度

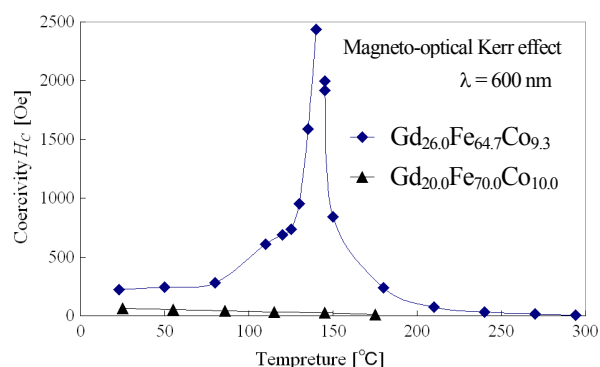


Fig. 2 Temperature dependence of the Coercive field  $H_C$  in GdFeCo magnetic thin film.

程度まで上昇し  $H_C$  が減少したことによって、周辺の磁化が作る静磁界により反転磁区が形成されたものと考えられる。一方、高強度超短パルス光と金属磁性体間の極短時間作用においてどのような時間スケールでどのような過程を経て減磁作用が生じ得るのか依然議論が続いている。そこで、ポンプ・プローブ法を用いた計測システムによりパルス光照射後の磁化の時間変化を計測した。本システムではまず、高強度超短ポンプ光を照射し、減磁作用を誘起する。そして、低強度のプローブ光を照射し、磁気光学ファラデー効果により試料の磁化状態を測定する。ポンプ光に対してプローブ光の試料到達時間  $t$  を変化させ、繰り返し測定することで、最小時間分解能約 3.3 fs で磁化応答を計測することが可能である。ここで、ポンプ光試料到達時を  $t=0$  とする。Fig.4 に  $\text{Gd}_{20.0}\text{Fe}_{70.0}\text{Co}_{10.0}$  試料へ超短パルス光を照射後の磁化の時間変化を示す。結果より、光照射後  $t=0 \sim 0.7$  ps で急峻な減磁作用を確認した。純粋な希土類元素 Gd では消磁時間は 40 ps 程度<sup>1)</sup> という報告があり、比較すると 60 倍程度の減磁速度となった。これは、希土類遷移金属合金である GdFeCo 磁性薄膜において高速な減磁作用が誘起可能なことを示している。

上記磁化反転過程は、初期磁化状態依存の現象であり、より能動的に磁化制御を図るため、次に述べるよう光のエネルギーのみならず、角運動量情報の利用について検討を進めた。

#### 4. 円偏光依存 光誘起磁化現象

次に、光の角運動量、すなわち円偏光を利用した磁化方向制御の可否について磁気イメージングシステムを用いて検証を行った。 $\text{Gd}_{26.0}\text{Fe}_{64.7}\text{Co}_{9.3}$  試料表面に対して繰り返し周波数 1kHz の直線偏光と円偏光のパルス光を走査した。Fig. 5 にパルス光走査後の磁気イメージを示す(図中、A→B 方向へ走査した)。直線偏光のパルス光走査時 (Fig. 5: L), 光エネルギーの熱的効果が優位となり、形成磁区は複雑な多磁区構造となった。次に、パルス光を同じエネルギー密度の右回り円偏光 (Fig. 5:  $\sigma^+$ ), 左回り円偏光 (Fig. 5:  $\sigma^-$ ) とし、走査するとパルス光走査前の磁化方向に依存せず、円偏光の回転方向に一意に対応した磁化が誘起され、さらに  $\sigma^+$  と  $\sigma^-$  では互いに逆向き磁化となり、偏光に依存した磁化誘起現象を確認した。

#### 5. まとめ

超短パルスレーザー光の高強度超短時間作用を利用し、GdFeCo 磁性薄膜に対する 90 fs 直線偏光照射により、熱磁気特性に起因した磁化反転現象を実証し、サブピコ秒オーダーで高速な減磁作用を誘起・利用できる可能性を示した。また、左右円偏光(角運動量を有する)を用いて偏光依存の磁化誘起現象を実証し、本現象が円偏光成分に起因し、誘起される磁化方向は初期磁化状態によらず円偏光の回転方向で制御する事が可能であることを示した。

#### 7. 参考文献

- [1]B. Koopmans, G. Malinowski, F. Dalla Longa, D. Steiauf, M. Fähnle, T. Roth, M. Cinchetti and M. Aeschlimann: “Explaining the paradoxical diversity of ultrafast laser-induced demagnetization”, *nature materials*, **9**, pp.259-265 (2009).

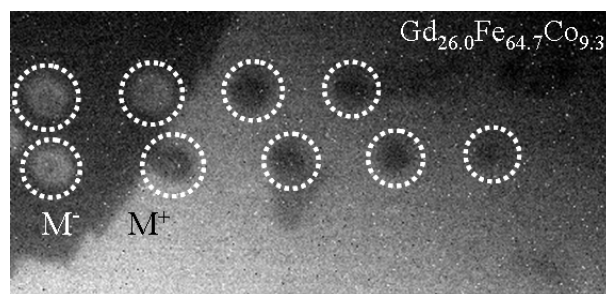


Fig. 3 Polarization microscopy image of the magnetic film after exposure ultra short single linear polarized laser pulse.

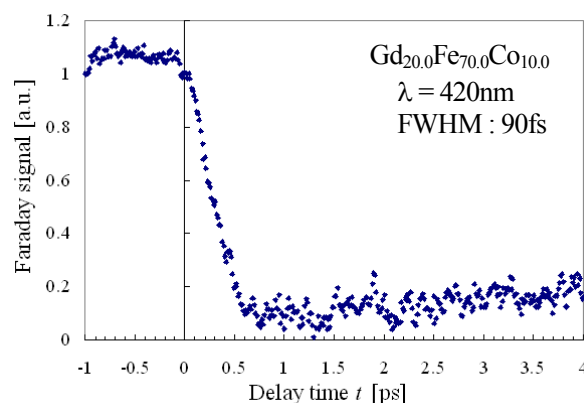


Fig. 4 Transient magnetization dynamics measured in  $\text{Gd}_{20.0}\text{Fe}_{70.0}\text{Co}_{10.0}$  magnetic thin film.

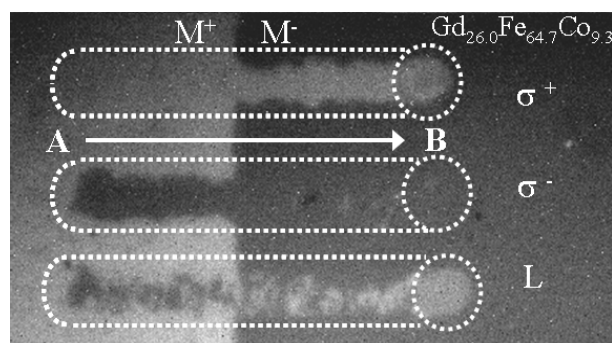


Fig. 5 Polarization microscopy image of the magnetic film after exposure ultra short linearly and circularly polarized pulse laser.