

GdFeCo フェリ磁性合金薄膜における磁気円二色性の組成依存性の計測

Measurement of the composition dependence of magnetic circular dichroism in GdFeCo ferrimagnetic alloy thin film

○寺下進之佑¹, 吉川大貴², 佐藤哲也³, 塚本 新⁴*Shinnosuke Terashita¹, Hiroki Yoshikawa², Tetsuya Sato³, Arata Tukamoto⁴

All-Optical magnetization Switching (AOS) is triggered with ultra-short interaction time more than usual magnetization switching method. The switching on and off strongly depends on absorbed energy fluence. In one of AOS with polarized laser irradiation, helicity of the laser pulse determined the direction of reversed net magnetization M_{net} . In this report, we measured composition dependence of Kerr ellipticity angle η_k on GdFeCo ferrimagnetic alloy thin film measured by continuous wave light. It shows that η_k changes drastically near the compensation composition C_{comp} and the plus-minus sign of η_k accord with sub-lattice magnetization vector M_{sub} . More over, The magnetic circular dichroism of transmittance with ultra-short pulsed laser has same tendency near the C_{comp} .

1. はじめに

近年, 取り扱われる情報量の増大に伴い, 磁気記録において, 更なる情報の記録及び再生速度の高速化が重要な課題となっている. そこで, 従来の磁気記録原理とは異なり非常に短い作用時間で磁化反転が誘起可能である, 全光型磁化反転 (All-Optical magnetization Switching : AOS) 現象^{[1][2]}は本題に対して有用であると考えられる. AOS 現象は, 数十フェムト秒オーダーのパルスレーザー光を垂直磁気異方性を有する希土類 (RE) 遷移 (TM) 金属フェリ磁性薄膜に照射することで, 磁化の反転を誘起する現象である. この磁化反転では外部からの磁界印加を必要とせず, 主として, 照射するエネルギー密度に強く依存した現象だと考えられている^[2]. この AOS 現象のうち照射する光を円偏光としたとき, そのヘリシティに対応した磁区を形成できる Helicity Dependent All-Optical magnetization Switching (HD-AOS) も存在する^[1]. この HD-AOS は, Fig.1 のように, 右回り円偏光 (σ^+) を連続照射, 掃引すると M^+ (上向き磁化), 左回り円偏光 (σ^-) を掃引すると M^- (下向き磁化) の磁区を形成する. HD-AOS で形成される磁化の方向が円偏光のヘリシティに対応するのは磁気円二色性 (Magnetic Circular Dichroism : MCD) が大きく関わっているとされている^[3]. 観察された MCD による左右円偏光のエネルギー吸収率差は, 依然と小さく, 磁気記録等応用に向け MCD の増大が望まれている. そこで今回は材料特性として MCD と合金組成の関係に着目し, 超短パルス光に対する MCD 効果と連続光における MCD 効果の検討を行った.

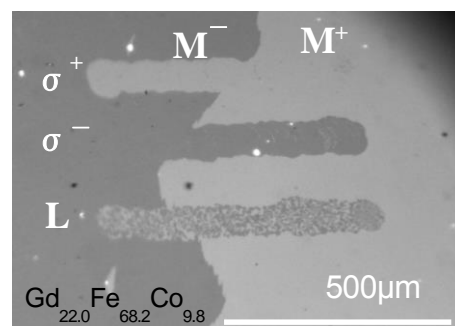


Figure 1. Magneto-optical image of HD-AOS domains created by circularly-polarized ultra-short laser pulses.

2. 実験方法

Fig.2 に連続光における MCD 計測システムを示す. 本実験では組成の異なる GdFeCo 薄膜を対象に, 磁気光学カー効果 (MOKE : Magnet-Optical Kerr Effect) を測定した. 測定は光弾性変調器 (PEM : Photo-Elastic modulator) を用いた光学遅延変調法^[4]により, カー回転角 θ_k とカー楕円率角 η_k の測定を行った. 光源には放射波長 185 nm ~ 2000 nm のキセノンランプを使用しており, モノクロメーターにより任意波長の光を用いることが可能なシステムとなっている. 本実験では測定波長 600nm に設定し測定を行った. 測定試料は AOS 現象が誘起可能だと確認している GdFeCo 薄膜とシマグネトロンスパッタ法にて作製した. 試料の層構成は SiN (60 nm) / Gd_x(Fe_{68.25}Co_{9.75})_{100-x} (20 nm) / SiN(5nm) / Al Ti(10nm) / glass sub ($x = 22 \sim 27$) である.

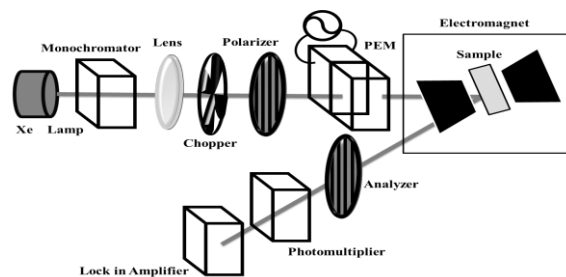


Figure 2 Measurement set-up of magneto optical Kerr effect using continuous light

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

3. GdFeCo 薄膜におけるカー楕円率の組成依存性

Fig.3 に磁気光学効果カー効果における楕円率 η_k の試料の組成依存性を示す. 結果より Gd 組成の増大に伴い η_k の絶対値は概ね増大する傾向を示すことが明らかになり, Gd 22 [at.%] と Gd 26 [at.%]では 4 倍近い値となっている. 本実験で用いた波長 600nm では主に FeCo (TM) に由来した磁気光学効果⁴⁾であり, 補償点を跨ぐ組成比においても η_k の符号が反転したことから η_k は主として, 副格子磁化ベクトルに対応していると言える.

また, Fig.4 に中心波長 800nm, パルス幅 90fs(半値全幅)のレーザー照射における透過率のGdFeCo組成依存性を測った結果を示す⁵⁾. これは先の議論では連続光によるものであったが, HD-AOS を誘起可能な超短パルス光による計測結果である. この結果では, FeCo の副格子磁化 M_{TM} の組成の減少に伴い, 透過率が上昇していることが確認できる. また, 補償点を境に M_{TM} と M_{net} のベクトルが逆となるが, 透過率は M_{TM} の向きに対応した変化傾向を示している. カー楕円率角 η_k の結果とフェムト秒パルス円偏光照射による透過率計測の結果がいずれも副格子磁化に依存していることから, 超短パルス光に対する MCD を連続光源による楕円率 η の測定により見積もることができる可能性を示した.

4. まとめ

本報告では, 連続光での磁気光学効果のエネルギー吸収率差, 楕円率角 η_k とフェムト秒パルスレーザーにおいて MCD によるエネルギー吸収率差, 透過率とを磁性体の組成比が異なる試料を用いることで比較した. 結果, いずれの測定においても副格子磁化に由来する組成依存性を示した. また, Gd 組成の増大に伴い η_k の絶対値は概ね増大する傾向を示すことが明らかになり, Gd 22 [at.%] と Gd 26 [at.%]では 4 倍近い値となった.

謝辞

本研究の一部は, 文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業 (S1311020) の助成により行ったものである.

参考文献

- [1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing: Phys. Rev. Lett. 99, 047601 (2007).
- [2] H. Yoshikawa, S. Kogure, S. Toriumi, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh: J. Magn. Soc. Jpn. 38, 139(2014).
- [3] S. Kogure, A. Tsukamoto, A. Itoh: MAG-13-67 (2013)
- [4] 佐藤勝昭「光と磁気」(1988) p94, p15
- [5] 小暮真也, 塚本新, 伊藤彰義: 第 37 回 日本磁気学会学術講演会, 5pA-2 (2013)

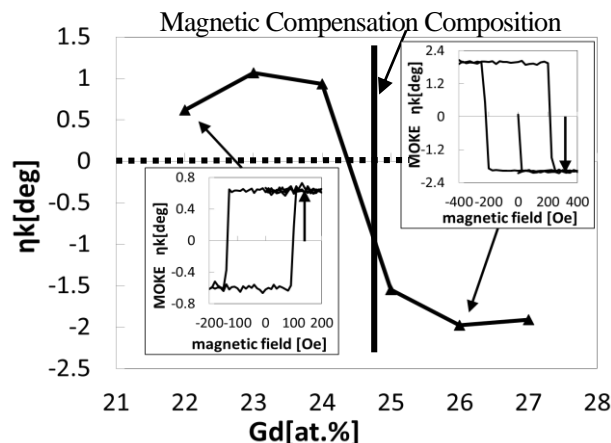
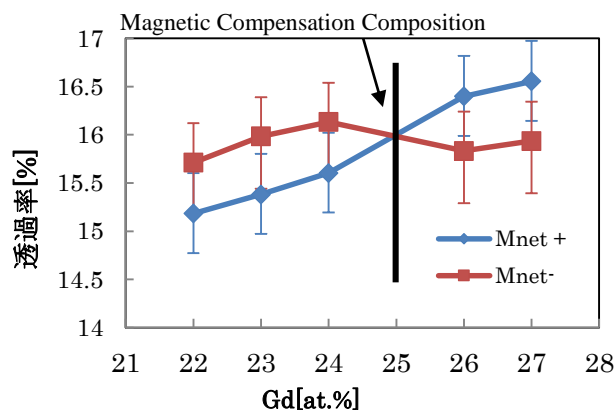
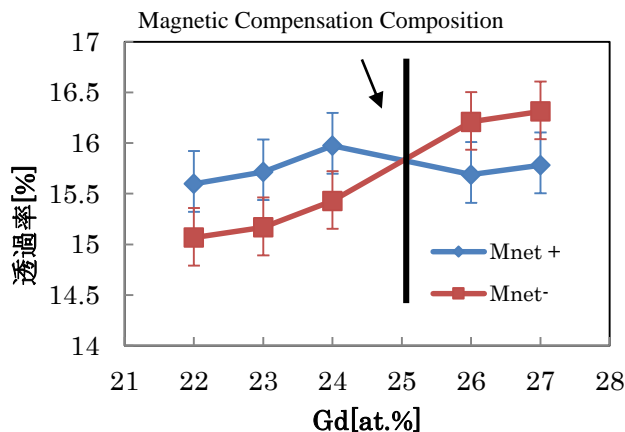


Figure.3 Gdx (Fe87.5Co12.5)100-x compositional dependence of Kerr ellipticity angle measurement by continuous light



(a) Right-handed circularly polarized light



(b) Left-handed circularly polarized light

Figure.4 Gdx (Fe87.5Co12.5)100-x compositional dependence of transmittance measured by circularly-