

誘電体膜厚の異なる GdFeCo 薄膜における円偏光吸収特性の光源波長依存性評価
Evaluation of light source wavelength dependence of circularly polarized light absorption characteristics
in GdFeCo thin films with different dielectric film thicknesses

○若林達也¹, 吉川大貴², 塚本新²

*Tatsuya Wakabayashi¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

Abstract: Towards the realization of HD-AOS applications, we used light sources with various wavelengths to increase the effective MCD, and evaluated the dependence of the absorption coefficient difference due to the effective MCD using the ellipticity on the dielectric SiN layer thickness. As a result, the light absorption difference estimated from the ellipticity changed depending on the light source wavelength, SiN film thickness, and light incidence angle, suggesting further improvement in the sensitivity characteristics of HD-AOS.

1. 背景

数十フェムト秒程度の円偏光パルスレーザーを照射のみで初期磁化状態および入射光のカイラリティに対応した磁区形成が可能である偏光依存全光型磁化反転 (Helicity Dependent All-Optical Magnetization Switching : HD-AOS) 現象が発見され, 新規磁気記録手法として応用が期待されている. 希土類遷移金属合金系における HD-AOS 現象の偏光依存性は磁気円二色性 (Magnetic Circular Dichroism : MCD) に由来する^[1]. ただし本材料の内因的 MCD に基づく左右円偏光に対する吸収エネルギー差は小さいと考えられ, 光学効果を応用した実効的な MCD 増強を検討している^[2]. 本研究では, 実効的 MCD の定量的評価を可能にするために円偏光吸収特性の波長依存性につき検討を行った.

2. 円偏光変調法による楕円率測定方法

DC・RF Magnetron Sputtering により作製した SiN (t nm) / GdFeCo (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t = 20, 40, 60, 100, 200$) を用いた. HD-AOS 現象は複数波長を混合した超短パルス光で誘起するが, その中心波長 800 nm にて実効的 MCD の光学干渉効果を連続光と比較し, 双対性符号の関係等で同様のお傾向を示すことを報告している^[2]. 本報告では, 実効的 MCD の光学干渉効果の波長依存性を検討するために, AOS を多く確認しているフェムト秒パルスレーザーの中心波長と同等の波長である半導体 LASER ($\lambda = 808$ nm), 近い波長を持つ半導体 LASER ($\lambda = 780$ nm), He-Ne LASER ($\lambda = 633$ nm) の三つの連続光源を用いた. また, MCD 由来の光吸収率差は数%程度であり測定および大きさの評価が困難のため, 左右円偏光を入射した際の差自体を検出可能な Fig.1 に示す円偏光変調測定システムにより, 各光源波長での楕円率 η に相当する量を測定し実効的な MCD の評価を行った. また, He-Ne LASER ($\lambda = 633$ nm) を用い, Fig. 1 に示すように試料入射角度が $2\theta = 90$ deg.となる系でも同様に η に相当する量から実効的 MCD 由来の吸収率差の評価をした.

3. 反射および透過における楕円率

Fig. 2 に種々の波長を持つ光源を用いて測定した反射光の楕円率 η の誘電体 SiN 層膜厚依存性の示す. また, Fig. 3 に種々の波長を持つ光源を用いて測定した透過光の η の誘電体 SiN 層膜厚依存性の示す. Fig. 2 および Fig. 3 の結果から, 全ての η において, 膜厚に対する変化は反射の方が大きい. また, Fig. 3 における 633 nm の誘電体 SiN 膜厚 $t = 60$ nm における η が増大することを確認した. 光源波長 633 nm の時 $t = 60$ nm では, 反射光強度が特に低下し, フレネル係数を用いた光学特性計算からも, 多重反射が起きている. すなわち, 633 nm では光学干渉により, η が増大したと考えられる. また, 633nm の垂直入射および 45 度入射に着目すると, 同じ光源を用いて, 同じ材料, 同じ構造での測定にも関わらず, 透過および反射においても η が大きく変化することを確認した.

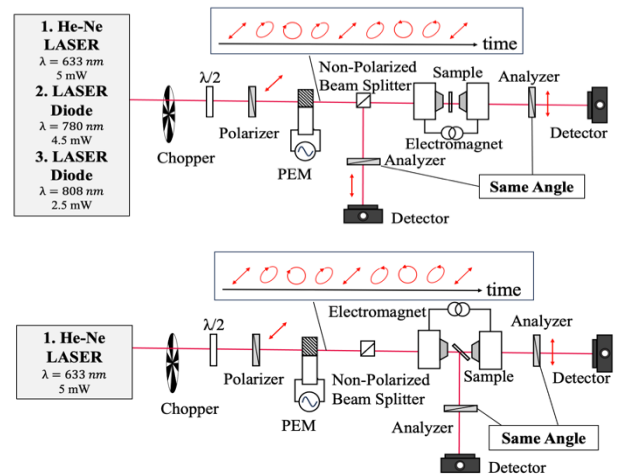


Figure 1 Circular polarization modulation measurement system using various wavelength light sources

1: 日大理工・院(前)・電子 2: 日大理工・教員・電子

4. 実効的MCD由来吸収率差と吸収率

次に, Fig. 2 および Fig. 3 の結果から, 以下の式から吸収率差を算出した.

$$(\text{吸収率差}) = \frac{(\text{反射率}) \cdot (-\eta_K) + (\text{透過率}) \cdot (-\eta_F)}{2}$$

上式を用いて, 光吸収率差を算出した結果を以下の Fig. 4 に示す. Fig. 4 より, いずれの波長でも大きさ並びに符号関係が大きく変化することを確認した. 特に光源波長 808 nm では, SiN 層膜厚 t が 60~100 nm で符号反転した. この結果は, 既報告の連続光およびパルス光と同様の光吸収率特性であり, HD-AOS で形成された磁区の磁化も同様に SiN 層膜厚 t が 60~100 nm で反転し, 整合性のある結果をとることを確認した. 以上により, 円偏光変調法による楕円率でも HD-AOS の偏光依存性の原理となる実効的 MCD 由来の吸収率差を算出することが可能であることを示した. また, 誘電体 SiN 層膜厚および波長を変化させることで実効的 MCD 由来の吸収率差を増大し, HD-AOS の偏光に対する感受特性を向上する可能性を示唆する結果を得た. さらに, 同じ光源波長を有する 633 nm の入射角度依存性を比較することで, η と同様に同じ材料, 同じ構造での測定にも関わらず, 楕円率から見積もった吸収率差が大きく変化することを確認した. Fig. 5 に本報告に用いた試料の吸収率を示す. Fig. 5 に示す吸収特性はフレネル係数の計算により説明でき, 本測定における範囲では波長や膜厚に対して大きな変化を示さなかった. 以上より, 誘電体膜厚 t , 光源波長 λ , 入射角度 θ に対する HD-AOS における偏光依存性の変化は, AOS の入射光強度に対する誘起効率の変化に比べ, 大きくかつ複雑に変化することを示唆し, 膜厚 t や波長 λ , 角度 θ を調整することで, 偏光依存性の大きく誘起効率の高い状況を作ることが可能であることを示唆した.

5. まとめ

本研究では, HD-AOS の応用実現に向け, 実効的 MCD の増大を目的に, 種々の誘電体層膜厚を有する GdFeCo 薄膜を用い, 楕円率を用いた評価による実効的 MCD 由来吸収率差の波長依存性につき検討を行った. 結果, 光源波長および SiN 層膜厚に応じて楕円率から見積もった光吸収率差が変化し, また試料に対する入射光角度に対しても光吸収率差が増大し, AOS の誘起効率と HD-AOS の偏光依存性が増大可能なことを示唆した.

6. 謝辞

本研究は (公財) カシオ科学振興財団の助成を受けて行った.

7. 参考文献

[1] C.D. Stanciu et al. : *Phys. Rev. Lett.* 99, 047601
 [2] H. Yoshikawa et al. : *Jpn. J. Appl. Phys.* 62 SB1009 (2023).

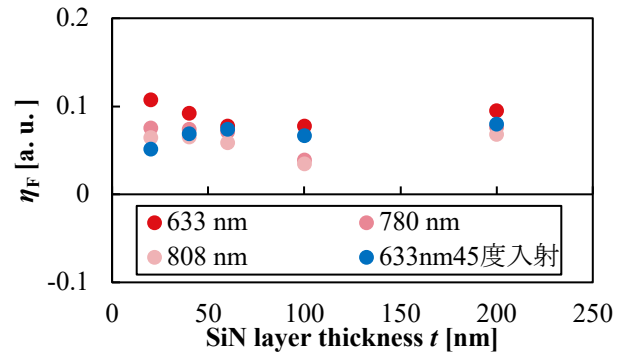


Figure 3 Film thickness dependence of optical rotation angle and ellipticity of transmitted light

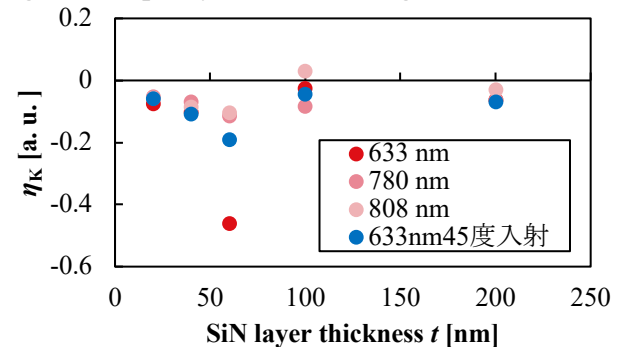


Figure 2 Film thickness dependence of optical rotation angle and ellipticity of reflected light

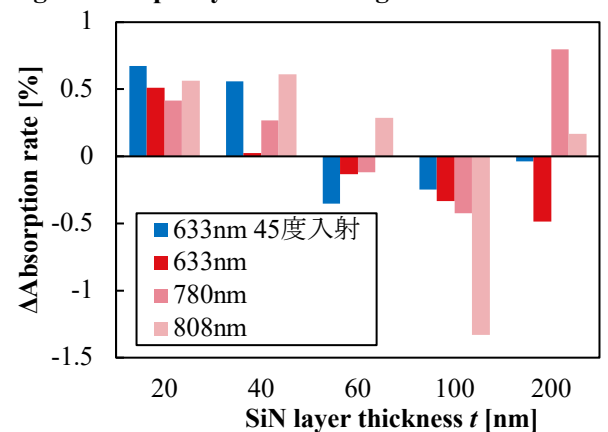


Figure 4 Film thickness dependence of MCD-induced absorption difference using various wavelength light sources

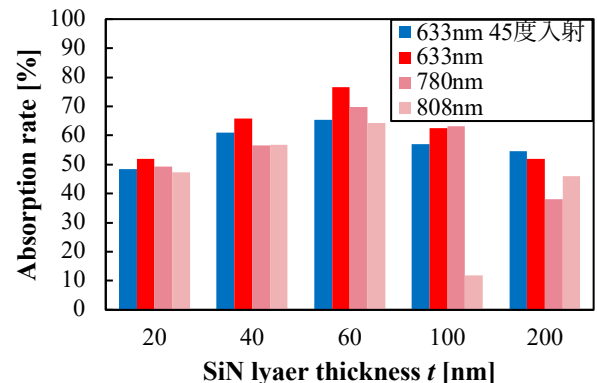


Figure 5 Dependence of absorption rate on SiN dielectric layer thickness using various wavelength light sources