

C-5

磁化動特性計測に向けた GdFeCo フェリ磁性薄膜における磁気光学応答の SiN 光学干渉誘電体層厚依存性と反射率の相関検討

Correlation between dependence of magneto-optical response on the SiN optical interference dielectric layer thickness and reflectance in GdFeCo ferrimagnetic thin film for measurement of magnetization dynamics

○高橋 時生¹, 吉川 大貴², 塚本 新²

*Tokio Takahashi¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

Abstract: In the field of spintronics, stable evaluation of the magnetization dynamics of magnetic devices and materials is very important. Method of evaluating dynamics of magnetic materials include the Ferromagnetic Resonance method, magnetic wall velocity measurement by applying current, and measurement using the magneto-optical effect. In this reserch, We measured magneto-optical effect by changing the SiN dielectric layer thickness in GdFeCo ferrimagnetic thin film to improve the accuracy of time-resolved magneto-optical measurement by all-optical pump-probe measurement. We report on dependence of the magneto-optical response on the SiN dielectric layer thickness and dependence of the reflectance on wavelength.

はじめに

数十 GHz に達する高速電子デバイスの要請が高まり、例えば、スピントロニクス分野では、磁気デバイス・材料の、ナノ秒からピコ秒領域における磁化動特性の安定した評価が喫緊の課題となっている。^[1] 磁性体の磁化動特性評価には、強磁性共鳴法や電流印加による磁壁移動速度計測、磁気光学効果を利用した計測などがある。本研究では、過渡応答が評価可能な、磁気光学効果を利用した全光型ポンプ・プローブ法による実時間分解磁気光学計測の実現に向け、まず、磁化動特性の大きな組成・温度依存性が報告されている GdFeCo フェリ磁性薄膜に注目し、SiN 誘電体層膜厚の、磁気光学 Kerr 回転角 θ_k および、光学応答である反射率 R との相関、そして磁気光学信号への寄与につき検討する。

実験方法

Fig. 1 に測定試料を示す。マグネトロンスパッタリング法を用いて、SiN (t nm) / Gd₂₅Fe_{65.62}Co_{9.38} (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. を作製した。可視光域での光学的変調を目的とし、SiN 誘電体層厚 $t=20, 40, 60, 100$ nm の 4 種類の試料を作製した。以下、試料名をそれぞれ A, B, C, D とする。各試料に対し、磁気光学計測および光学計測^[2]を行う。Fig. 2 に磁気光学 Kerr 効果測定システムを示す。光源には波長 185 nm~2000 nm の Xe ランプを使用し、モノクロメーターでそのうちの任意の波長を光源として選択可能とした。光学特性として、反射率の計測には、分光光度計(V-770, 日本分光)を用いた。光源は重水素ランプ、ハロゲンランプで、紫外可視近赤外領域で測定する。これら磁気光学 Kerr 回転角と反射率の SiN 光学干渉層厚依存性の計測評価から、磁気光学信号に対する寄与について検討する。

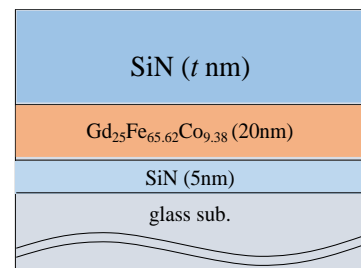


Fig. 1 Layer structures design of prepared GdFeCo sample

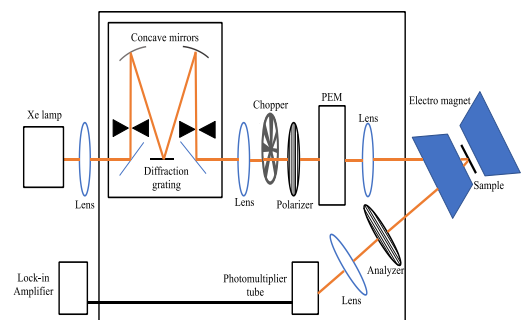


Fig. 2 Measurement system of Magneto-optical Kerr effect

磁気光学応答および光学応答の SiN 光学干渉層厚依存性

Fig. 3 に光源波長 $\lambda = 400$ nm での磁気光学応答の計測結果, Fig. 4 に反射率 R の波長依存性の結果を示す。 λ は現在想定しているプローブ波長である。Fig. 3, 4 から、 θ_k, R の何に対しても光学干渉層厚依存性が明瞭に確認できる。また、A, B と C, D に分けて注目すると、入射波長 400 nm での反射率は A, B はそれぞれ 25%, 6% と小さく、C, D

はそれぞれ 43%, 53%と相対的に大きな値をとる. 一方, θ_k も A, B に比べ, C, D は約 2 倍となる大きな値を示すため, 試料{(A, B), (C, D)}間での θ_k と R の大小関係には相関が見られるが, θ_k は, $A < B, C > D$ の関係, R では, $A > B, C < D$ の関係になっており, 線形対応するものではないことが示されている. そこで, 磁気光学信号に対する θ_k と R の寄与について評価するため, 規格化した θ_k と R の値を用いて, “性能指数: F_m ” を定義する. 後にも述べるが, この F_m の値は, ポンプ・プローブ計測において, 試料からの光学的磁気応答検出精度向上の一つの指標となる. 基板の複屈折ノイズ^[3]などを考慮した上で, 次式により定義した.

$$F_m = \theta_k \cdot R^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

F_m は 1 に近いほど良い. 高強度なレーザーを用いる場合, 光電界強度の 2 乗に比例して屈折率が変化するので, R を 1/2 乗することで光学干渉層内での散乱などによる, 磁気光学応答に寄与しないノイズとなる成分の影響を考慮している. Fig. 5 に, $\lambda = 400 \text{ nm}$ 時の実効的 θ_k , Fig. 6 に $\lambda = 300, 350, 400, 450, 500 \text{ nm}$ と波長固定時のそれぞれの R , Fig. 7 に $\lambda = 400 \text{ nm}$ 時の性能指数 F_m , の SiN 光学干渉層厚依存性の結果を示す. これらの結果から, R には非常に大きな光学干渉層厚依存性($R = 0.05 \sim 0.53$)が見られる. また, 磁気光学応答にも, 光学干渉層厚依存性が見られる($\theta_k = 0.51 \sim 0.97$)が, F_m 値も, 特に反射率変動の寄与により大きく依存($F_m = 0.04 \sim 0.45$)することを示した. 以上のように, 約 100 nm 厚までの SiN 光学干渉層厚による多重干渉効果により, SN 比 F_m は, 約一桁変化し得ることが明らかになった. 微弱な磁気光学信号の検出で SN 比を増大するには, 測定量の光学特性寄与に留意し, 光学干渉層厚を調整することが重要であることが示された.

まとめ

試料側で光学干渉層厚の構成を調整し, 反射率を増大し, 検出器に入る光子量を増加させることで, 実効的な磁気光学効果の増大が可能であることを示した. 性能指数 F_m は, 特に反射率変動の寄与が大きいため, 磁気光学計測において, 光学特性が大きく寄与することを示した. また, 本研究の主目的である, 全光型ポンプ・プローブ計測において, 中心波長 400 nm のプローブ光での磁気光学応答を検出する際, 微弱な磁化ベクトルの変化を計測するため, F_m を向上させることで, プローブ光による磁気光学応答成分の検出精度向上の可能性を示唆した.

参考文献

[1] 二川康宏, 吉川大貴, 笠谷雄一, 田中万裕, Souliman El Moussaoui, 塚本新: “フェリ磁性 GdFeCo 静・動磁気特性への界面近傍磁気不均一構造改質による寄与” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-17-150(2017)
 [2] 飯坂岳, 吉川大貴, 塚本新: “全光型磁化反転誘起材料の効率的な光吸収・超薄膜化に向けた積層構造検討” 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-18-114 (2018)
 [3] 今村修武: 光磁気ディスク製造技術ハンドブック, p.59-60 (1991)

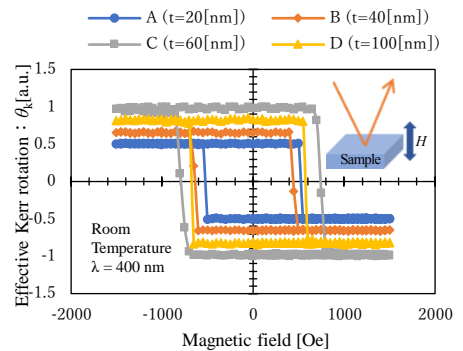


Fig. 3 Magneto-optical Kerr effect Hysteresis loop

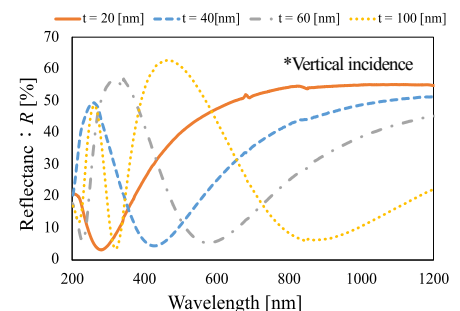


Fig. 4 Dependence of Reflectance on wavelength

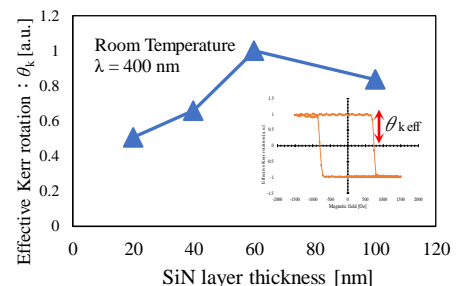


Fig. 5 Dependence of θ_k on SiN layer thickness wavelength in 400nm

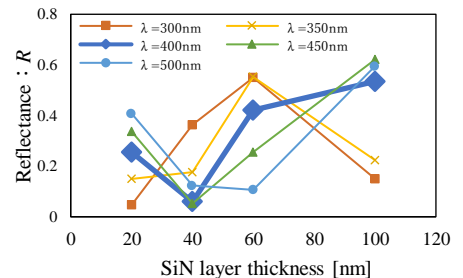


Fig. 6 Dependence of Reflectance on SiN layer thickness wavelength in 400nm

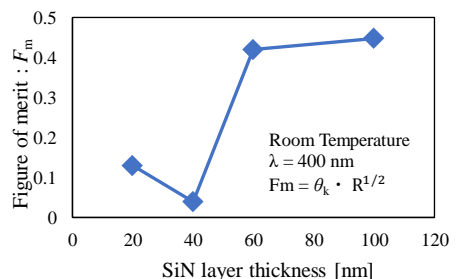


Fig. 7 Dependence of Figure of merit on SiN layer thickness wavelength in 400nm