

GdFeCo 薄膜における垂直磁気異方性の膜厚依存性 Thickness dependence of uniaxial magnetic anisotropy in GdFeCo thin films

○植田涼平¹, 佐藤哲也², 吉川大貴³, 塚本新⁴

*Ryohei Ueda¹, Tetsuya Sato², Hiroki Yoshikawa³, Arata Tsukamoto⁴

Abstract: In recent years, the importance of understanding dynamic properties of magnetic materials is increasing. It's generally believe that high damping properties is appeared in high magnetic anisotropic materials, but consideration for relationship of the properties is not enough. In this study, we investigate thickness dependence of uniaxial magnetic anisotropy in ferimagnetic GdFeCo films. As a result, we confirmed that magnetic anisotropy of measured GdFeCo films are almost same values in each thickness at room temperature.

1. はじめに

近年、磁気ストレージ及びスピントロニクス分野において、磁化動特性の起源解明と制御法の確立が重要な研究課題の一つとなっている。磁気記録速度の高速化を目的とした場合、磁化の反転に歳差運動を伴うため、強磁性共鳴限界という高速化の物理的限界がある。そのため、歳差運動の減衰を表す Gilbert のダンピング定数 α を大きくすることが求められる。一方、STT-MRAM (Spin-Transfer-Torque Magnetic Random Access Memory) においては、反転電流しきい値低減のために低ダンピング化が求められている。このように、目的に応じ広範にわたりダンピング特性を制御することが求められているが、一般に、高い磁気異方性エネルギー K_u を有する材料は高いダンピング定数を示すといわれている^[1]。しかし、高密度記録を行うためには熱安定性の観点から垂直磁気異方性エネルギー K_u の高い磁性材料が求められている。そのため、 K_u と α を実効的に制御することが求められているが、系統的な比較検討は十分とはいえない。そこで我々は、磁化補償現象に伴い、磁気特性のみならず動特性も大きく変化することが報告されているフェリ磁性 GdFeCo 薄膜^{[2][3]}に着目し、磁気特性が大きく変化する 10 nm~20 nm 前後の膜厚において、実効的飽和磁界と磁気異方性エネルギー K_u の膜厚依存性を検討した。

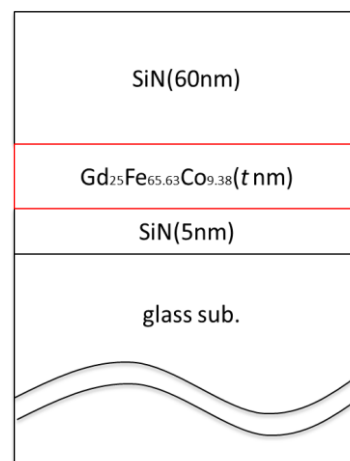


Figure 1 : Schematic diagram of layer design of GdFeCo films ($t = 10, 15, 20, 25$ nm).

2. 測定方法および測定結果

測定試料は、DC マグネトロンスパッタ法により作製した SiN (60 nm) / Gd₂₅Fe_{65.63}Co_{9.38} (t nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t = 10, 15, 20, 25$) を用いた。Fig. 1 に層構成の模式図を示す。GdFeCo は希土類 (RE) である Gd の副格子磁化 M_{RE} 、遷移金属 (TM) である Fe, Co の副格子磁化 M_{TM} が反平行に結合したフェリ磁性体であり、その合計が正味の磁化 M_{net} となる。今回作製した全ての膜厚条件の試料において、磁化容易軸が膜面垂直方向であることを確認した。これらの試料において膜面垂直方向及び膜面内方向に磁場を印加した時の磁気特性を SQUID-VSM にて計測し飽和磁化 M_s と飽和磁界 H_k を見積もった。飽和磁化の膜厚依存性を Fig. 3 に、飽和磁界の膜厚依存性を Fig. 4 に示す。膜厚 15nm の近傍に向かうにつれ飽和磁化 M_s が減少

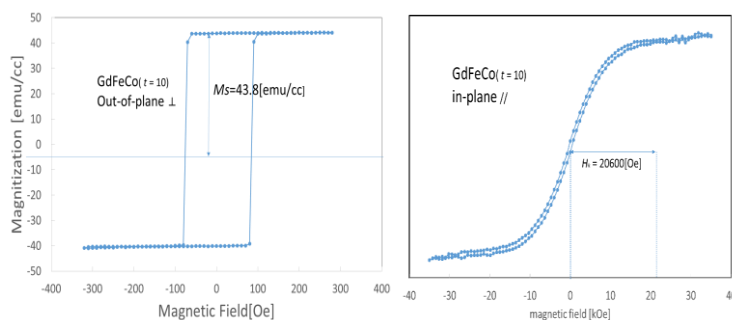


Figure 2 : In-plane and out-of-plane magnetic hysteresis loops of 10 nm-thick GdFeCo film measured by SQUID-VSM.

していることが確認できる。

今回測定した GdFeCo はフェリ磁性であり、 M_{RE} と M_{TM} の差分により M_{net} が決定される。なお、 $t = 15\text{nm}$ の試料は垂直方向の印加磁場 $\pm 1.5[\text{kOe}]$ の測定範囲ではマイナーループとなった。これは磁化補償状態に近いためであると考えられ、Fig. 4 に示した H_k が $t = 15\text{nm}$ に近づくに連れて増加していることとも対応する。 M_s が小さくなる磁化補償点付近にて磁化を印加磁場方向に向けるためには、トルクが $\mathbf{M} \times \mathbf{H}$ により決定されるため、より大きい磁場が必要となる。そのため、 H_k の増加傾向が現れたと考えられる。

3. 磁気異方性エネルギーの膜厚依存性

磁気異方性エネルギー K_u の値は以下の式より導出した。

$$H_k = \frac{2K_u}{M_s} \quad (1)$$

ここで計測したデータより見積もった H_k には磁化による反磁界の成分も含まれているため、 $H_d = 4\pi M_s$ の関係を用いて補正する必要がある。このとき、 K_u は

$$K_u = \frac{1}{2} M_s (H_k + 4\pi M_s) \quad (2)$$

と表される。今回の測定範囲では膜磁気異方性エネルギーは M_s 、 H_k と比べ変化量が少なく、今回の測定範囲では膜厚に対してほぼ一定の値となった。

4. まとめ

GdFeCo フェリ磁性体において、膜厚を変化させた時に磁気異方性エネルギーがどのような傾向を示すかを、SQUID-VSM の測定より確認した。本試料では膜厚によって、磁化補償現象に伴い実効的飽和磁化、実効的飽和磁界共に大きな膜厚依存性を示したが、磁気異方性エネルギーは変化量が少なく、膜厚に対してほぼ一定の値となることを示した。

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事業 (S1311020) の助成により行った。

参考文献

- [1] R.Kikuchi “On the Minimum of Magnetization Reversal Time” *J. Appl. Phys.* **27**, 1352 (1956).
- [2] C. D. Stanciu, A. V. Kimel, F. Hansteen, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing: “Ultrafast spindynamics across compensation points in ferrimagnetic GdFeCo: The role of angular momentum compensation”, *Phys. Rev. B* **73**, 220402 (R) (2006).
- [3] 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).

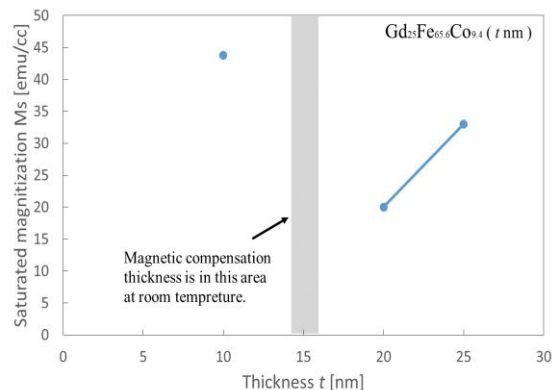


Figure 3 : Thickness dependence of Saturated magnetization M_s in GdFeCo films measured by SQUID-VSM.

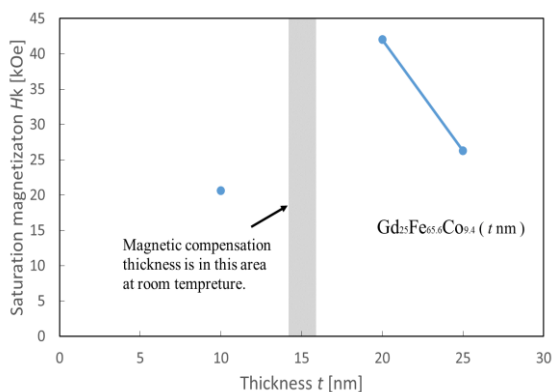


Figure 4 : Thickness dependence of Saturated magnetfield H_k in GdFeCo films measured by SQUID-VSM.

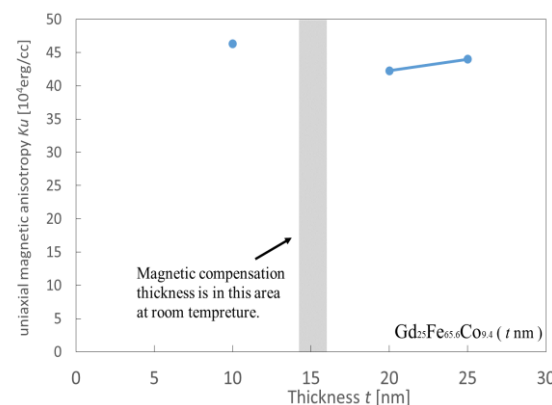


Figure 5 : Thickness dependence of uniaxial magnetic anisotropy K_u in GdFeCo films estimated by measured M_s and H_k values in Figure 3 and 4.