

GdFe 及び GdFeCo フェリ磁性薄膜における磁性体界面近傍磁化量の温度依存性
Temperature dependence of the amount of magnetization near the magnetic interface
in GdFe and GdFeCo ferrimagnetic thin films

○北澤楓太¹, 宋嘉浩¹, 吉川大貴², 塚本新²

*Fuuta Kitazawa¹, Yoshihiro Sou¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

To estimate the contribution of magnetic properties near the interface in GdFe-based ferrimagnets, the effect of Co substitution in GdFe was investigated for the purpose of changing various magnetic properties. The results show that the amount of magnetization near the interface increases, while the bulk magnetization values show similar characteristics. These contributions increased up to a factor of 2 with temperature change. These results indicate the need for evaluation and design of GdFe-based ferrimagnetic thin films, especially in the thin film region, considering the magnetization near the interface.

1 はじめに

スピントロニクスデバイスでは、微細・多層膜化に伴う電気伝導特性に加え、結晶性のみならず、隣接する異種磁性層間の交換相互作用や磁氣的結合など、界面近傍磁気構造への理解が重要視されている。我々は組成比や温度により静・動特性が系統的に、大きく変化する希土類 (RE) 遷移金属 (TM) 合金非晶質 GdFeCo フェリ磁性薄膜を活用し、研究を進めている。例えば、同一組成比で磁化値の単調ではない大きな膜厚依存性¹⁾を示し、それに対し RE-TM 合金薄膜内界面近傍領域での磁気特性による寄与につき検討を進めている²⁾。本検討では GdFe に対して遷移金属副格子磁化値およびその温度依存性を変化させることを目的とし、Fe の一部を Co に置換した場合の界面近傍磁化への寄与について検討を行った。また今回用いた元素種においては、反平行結合した副格子磁化毎の温度依存性が異なることに由来し、一般の強磁性体に比べ大きな正味磁化の温度依存性を生じる事から、正味の磁化値への膜厚及び温度依存性に対する Co 置換効果の観点でも検討を行った。

2 実験方法

測定試料として、室温において磁場に対する優勢副格子磁気モーメントが希土類となり、かつ温度及び組成比に敏感な領域である磁化補償点近傍である Gd 組成比 25 at.% を選択し、DC・RF マグネトロンスパッタ法により作製した試料群 A: SiN (5 nm) / Gd₂₅Fe₇₅ (t nm) / SiN (60 nm) / glass sub. (t = 5, 10, 15, 20, 30) と、試料群 B: SiN (5 nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (t nm) / SiN (60 nm) / glass sub. (t = 10, 15, 20, 30, 60) を用いた。本試料群に対し、超伝導量子干渉素子式試料振動型磁力計 (SQUID-VSM) により飽和磁化 M_s を、He-Ne レーザー ($\lambda = 632 \text{ nm}$) により Faraday 回転角 θ_F を測定し、またその膜厚依存性及びその温度依存性を $M_s \cdot t$ によって評価した。

3 室温における GdFe と GdFeCo の界面近傍磁化量 M_{sf} 比較

Fig.1 に 300 K における M_s の測定結果を示す。試料群 A, B ともに磁性層膜厚が 10~20 nm の間で磁化補償状態をとるような同様の傾向が確認された。また厚膜では試料群 A, B ともに同程度の M_s となった。次に M_{TM} に由来する磁気光学応答を計測可能な本波長で、 θ_F の測定結果を Fig. 2 に示す。 θ_F の符号関係より膜厚の減少につれ、試料群 A では磁性層膜厚 15~20 nm の間、試料群 B では 10~15 nm の間において、磁場に対して優勢となる副格子磁気モーメントが RE から TM へ変化したことを確認した。以上を踏まえて導出した $M_s \cdot t$ の膜厚依存性を Fig. 3 に示す。ここで $M_s \cdot t$ の符号は全膜厚で副格子磁化ベクトルの向きを同一とし RE 優勢の場合に正となるよう対応させている。 $M_s \cdot t$ は先行研究¹⁾に基づき内部磁化 $M_v \text{ emu/cc}$ と界面近傍磁化 $M_{sf} \text{ emu/cm}^2$ を仮定して次のように表現した。

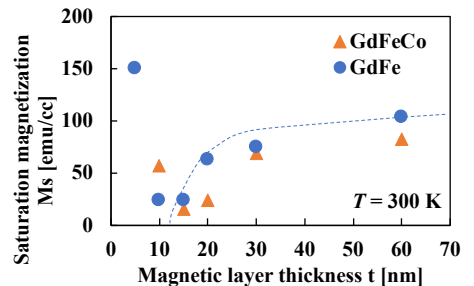


Fig.1 Dependence of M_s on magnetic layer thickness for GdFe and GdFeCo

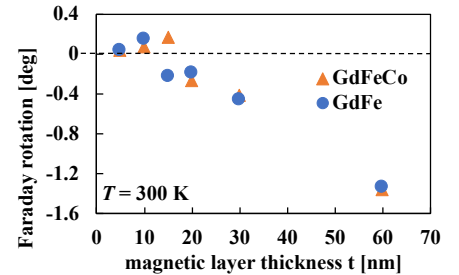


Fig.2 Dependence of Faraday rotation on magnetic layer thickness for GdFe and GdFeCo

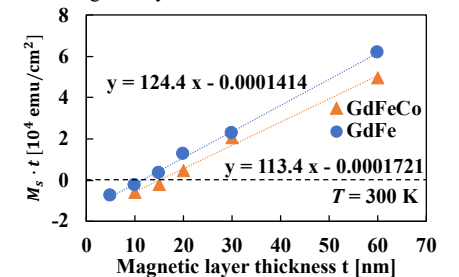


Fig.3 Dependence of $M_s \cdot t$ on magnetic layer thickness for GdFe and GdFeCo

1: 日大理工・院(前)・電子 2: 日大理工・教員・電子

$$M_S \cdot t = M_v \cdot t + 2M_{sf} \quad (1)$$

式 (1) を用いて検討を行うと、約 10% の Co 置換において M_v は同程度であるのに対し、 $2M_{sf}$ は約 21% 増加した。以上より Co 置換によって内部磁化と比べ、界面近傍磁化量は大きく変質することが明らかとなった。またバルク磁化値から想定されるよりも大きな界面近傍磁化量への影響が存在する事が明らかとなった。

4 GdFe と GdFeCo の界面近傍磁化量 M_{sf} の温度依存性

Fig.4 に試料群 A, Fig.5 に試料群 B における $M_S \cdot t$ の温度依存性を示す。試料群 A, B ともに測定した温度範囲において $M_S \cdot t$ は温度増加に伴い減少する傾向となった。以上より算出した M_v, M_{sf} の温度依存性を Fig.6, 7 に示す。同図には比較のため磁性層厚 30 nm での正味の M_S も記載している。試料群 A, B ともに M_v と M_{sf} は温度変化に対して異なる変化傾向を有することが明らかとなった。また、対象物質固有の磁化値として期待される M_v に対し、測定された M_S との差異は、温度上昇と共に増大し、GdFe, GdFeCo いずれの場合も、室温付近では、約 50% の減少に達する。加えて GdFe に比べ、GdFeCo の M_{sf} は低温であるほど増加し最大で 47.5% も増大することから、室温よりも大きな界面近傍磁化量への影響が明らかとなった。また GdFe と GdFeCo を比較すると、 M_v の温度に対する変化傾向と比べ M_{sf} の変化傾向が大きく異なることから、GdFe と GdFeCo の薄膜領域における正味の磁化の膜厚依存性の違いは、界面近傍磁化 M_{sf} に大きく現れることを明らかにした。

6 まとめ

アモルファス GdFe 系フェリ磁性薄膜における界面近傍領域での異なる磁気特性の検討を進めており、界面近傍の磁気特性は薄膜全体の磁気特性によって決定されると仮定し、本検討では GdFe に対して遷移金属副格子磁化値およびその温度依存性を変化させる事を目的とし、Fe の一部を Co に置換した場合の界面近傍磁化について検討を行った。結果として GdFe と GdFeCo の M_S は大きな膜厚依存性を有し、厚膜では同等の磁化量となったが、薄膜において大きな差異を有する。この結果に対して式 (1) を用いて検討を行ったところ、Co 10% の置換に対して内部磁化 M_v は同等の性質を示しつつ、界面近傍磁化量 M_{sf} は約 21% も増加し、バルク磁化から想定するよりも大きな M_{sf} への影響が存在した。また M_v 及び M_{sf} の温度依存性についても検討を行ったところ、室温における Co 置換による M_{sf} の増加よりも最大で二倍ほど大きい 47.5% 増加する結果となった。これらの結果により、GdFe 系フェリ磁性薄膜において特に 20 nm 以下の薄膜領域を用いる場合、 M_{sf} によって評価し、磁気特性を設計する必要性を示した。

5 参考文献

- 1) Y. Futakawa et al., : *IEE Jpn, Techincal Meeting on "Mganetics"*. MAG-17-150 (2017).
- 2) Fuuta Kitazawa, Yoshihiro Sou, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto, 第 47 回 日本磁気学会学術講演会 28aD-4 (2023).

6 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K04184 の助成を受けたものである。

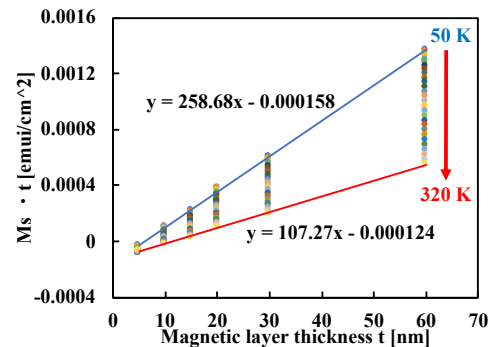


Fig.4 Dependence of $M_S \cdot t$ on magnetic layer thickness at each temperature for GdFe

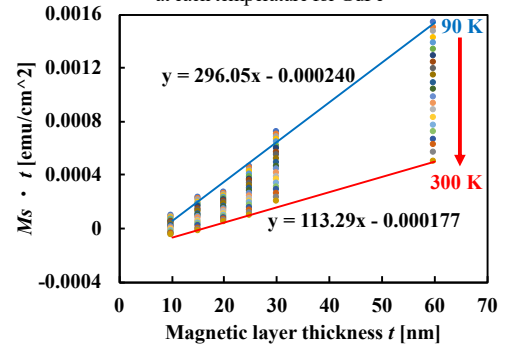


Fig.5 Dependence of $M_S \cdot t$ on magnetic layer thickness at each temperature for GdFeCo

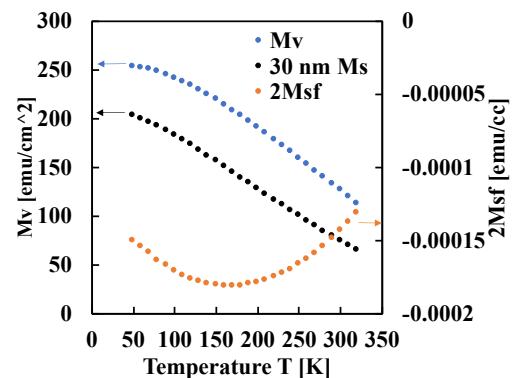


Fig.6 Temperature dependence of M_v and M_{sf} in GdFe

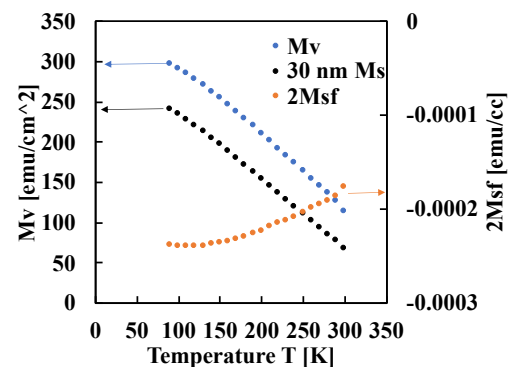


Fig.7 Temperature dependence of M_v and M_{sf} in GdFeCo