

フレキシブル基板上 GdFeCo 磁性合金薄膜の一軸引張応力印加時における 磁気光学 Kerr 効果計測

Magneto-optical Kerr effect measurements of GdFeCo magnetic alloy thin films on flexible substrates under uniaxial tensile stress

○中村侑暉¹, 藤井優樹², 若林達也², 吉川大貴³, 塚本新³

*Yuki Nakamura¹, Yuki Fujii², Tatsuya Wakabayashi², Hiroki Yoshikawa³, Arata Tsukamoto³

Abstract: In this study, we investigated the effect of uniaxial tensile stress on the magnetic anisotropy of GdFeCo magnetic alloy thin films on polyimide sheets. Magneto-optical Kerr effect measurements revealed that the magnetic anisotropy changed from perpendicular to in-plane upon application of 8.3% tensile strain. This change was inferred to be due to a change in the effective magnetic anisotropy axis caused by strain-induced magnetic anisotropy. The results of this study demonstrated that the magneto-optical Kerr effect can effectively measure stress-induced magnetic anisotropy changes in amorphous GdFeCo thin films.

1. 背景

逆磁歪効果は、磁場中の磁性体に応力が生じる磁歪効果の逆効果である^[1]。特に、希土類遷移金属合金では大きな磁歪定数を示すことが知られており^[2]、アクチュエータやセンサ等への応用可能性が検討されている。一方、磁歪効果は結晶性材料を用いた原理の理解が進んでいるものの、アモルファス構造での検討は少なく、大きな磁歪定数を示す理由には未だ不明な点がある^{[3][4]}。GdFeCo 磁性合金薄膜は、アモルファス構造においてもひずみ誘導磁気異方性を発現することが知られている。先行研究では曲げ応力時の異常ホール電圧測定が用いられている^[5]。曲げ応力では試料の湾曲により試料内に不均一なひずみの発生や、電圧測定時の端子配置により意図せず不均一に応力が加わる可能性も想定される。そのため、均一な応力印加かつ非接触な測定法が重要となる。本検討では、新たに構築した評価装置を用いることにより試料長手方向に均一な一軸引張応力を印加し、同時に磁気光学 Kerr 効果による非接触な磁気特性評価を行った。

2. 実験方法

DC/RF マグネトロンスパッタリング法により作製した SiN (5 nm) / Gd_{28.0}Fe_{63.0}Co_{9.0} (20 nm) / SiN (5 nm) / A: Polyimide sheet (125 μm), B: Si sub. 各試料に対し膜面垂直方向に磁場を掃引し、Fig. 1 の光学配置により磁気光学 Kerr 効果を引張応力を加えた状態の有無で磁気光学 Kerr 効果計測を行った。引張応力の印加には Fig. 2 に示す計測治具を用いた。応力印加のない状態を基準に、2 mm × 6 mm の試料 A の長手方向に引張応力を加えてノギスの表示値が 0.5 mm の状態を引張応力状態とした。この時の公称歪み ($\epsilon = \Delta L / L$) は試料長手方向 ($L = 6$ mm), 変位量 ($\Delta L = 0.5$ mm) から算出し、8.3% である。

3. 結果・考察

3.1 異なる基板種における GdFeCo 薄膜の磁気光学 Kerr 効果

Fig. 3 に(a) Si 基板, (b) Polyimide sheet 上にそれぞれ作製した GdFeCo 磁性合金薄膜における磁気光学 Kerr 効果の外部磁場依存性を示す。まず Si 基板上試料において、膜面垂直方向に垂直磁気異方性を示すヒステリシスを確認した。また、Polyimide sheet 上試料においても同等の磁気光学特性を示した。これらより、高い平滑性を持つ Si 基板上と同等の GdFeCo 磁性合金が Polyimide sheet

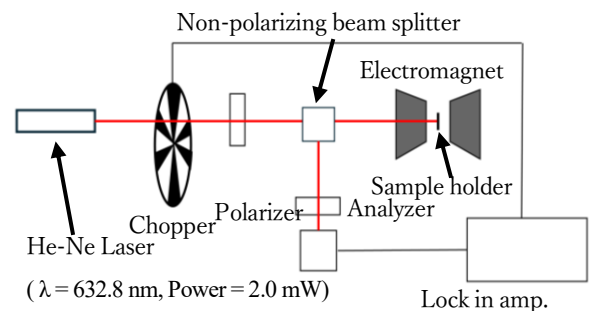


Fig. 1 Magnet optical Kerr effect measurement setup

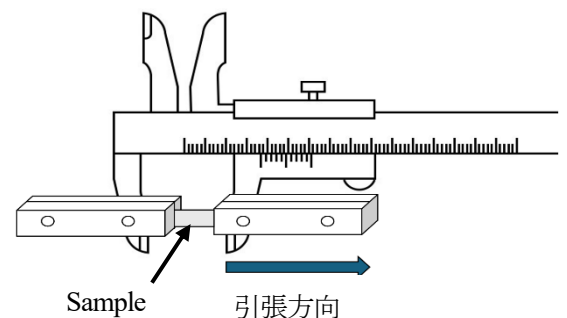


Fig. 2 Tensile stress application jig of sample holder

上に作製されていることを確認した。

3.2 Polyimide Sheet 上 GdFeCo 磁性薄膜における応力印加時の磁気光学特性

Fig. 4 に, Polyimide Sheet 上での (a) 引張応力印加時と (b) 応力除去時の磁気光学 Kerr 効果の外部磁場依存性を示す。引張印加時において, 最大 $\epsilon = 8.3\%$ の印加後においても試料が破断することなく磁気光学応答を確認できた。引張応力印加状態 ($\epsilon = 8.3\%$) では, Kerr 回転角に相当する検出電圧の変化率が緩やかとなった。また, 応力印加解除後の計測では, Fig. 3 の応力を印加していない状態と同等のヒステリシス形状を示した。引張応力によって膜面垂直磁気異方性から膜面内磁気異方性に変化したと考えられる。また, 応力印加解除後の結果 (Fig. 4) から, 本計測の範囲では磁気異方性軸が回復しうることを明らかにした。この変化は先行研究^[1]の機械的変形に伴うひずみによる実効的磁気異方性軸の変化と概ね対応している。このことから, 試料に引張応力を加えることでひずみが生じ, ひずみ誘導磁気異方性により磁気異方性軸が変化したと考えられる。

4. まとめ

本検討では, Polyimide Sheet 上に作製した GdFeCo 磁性合金薄膜に新たに構築した評価装置を用いることにより試料長手方向に均一な引張応力を印加し, 非接触で測定できる磁気光学 Kerr 効果を測定した。結果として, Si 基板上およびポリイミドシート上に作製された GdFeCo 磁性合金薄膜において, いずれも膜面垂直磁気異方性を示し角形比の良いヒステリシス特性が得られた。さらに, Polyimide Sheet 上へ作製した試料について引張応力を印加した際には, 試料が破断せず最大 $\epsilon = 8.3\%$ もの引張応力を加えられることを確認した。また, その磁気異方性は膜面垂直方向から膜面内方向へと変化することを磁気光学 Kerr 効果の計測により明らかにした。さらに, 応力を除去した後の計測では, 磁気異方性が膜面内方向から膜面垂直方向へと回復しうることにも明らかにした。

5. 参考文献

[1] Dirk Sander: Handbook of Magnetism and Magnetic Materials. 11. 550-593 (2021)
 [2] A.E. クラーク・江田 弘: 「超磁歪材料」 (1995)
 [3] Gibbs. M. R. J. : urnal of Magnetism and Magnetic Materials, 90-91, 536-538. (1990)
 [4] Igor S.Golvin: A Review. Materials , 16(6), 2365. (2023)
 [5] 藤井優樹 他: IEE-MAG, MAG-25-013, (2025)

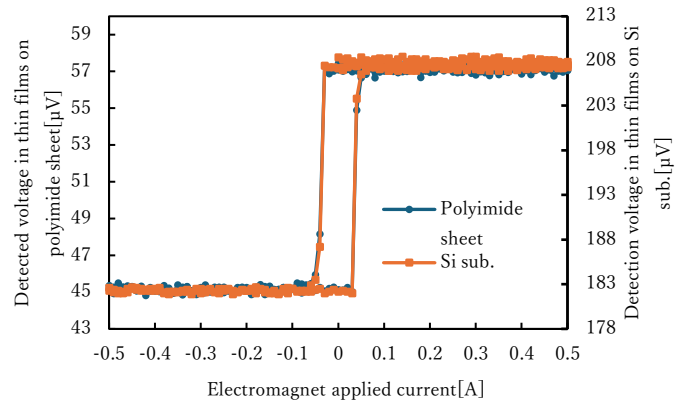


Fig. 3 Magnet optical Kerr effect in different substrates.

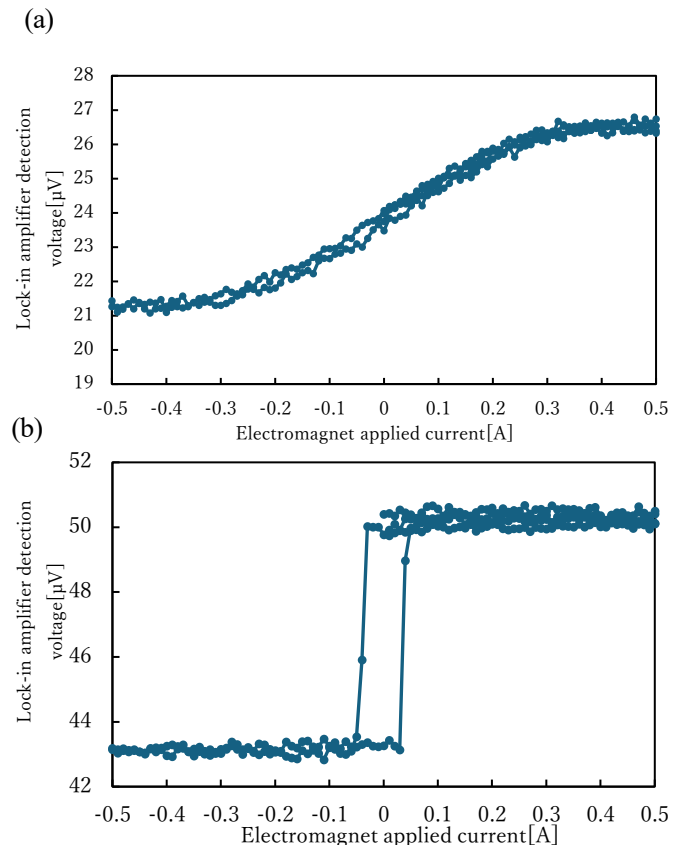


Fig. 4 Magnet optical Kerr effect in each state

(a) Tension state (b) After stress relief