

## 有機金属分解法を用いて作製した磁性ガーネット薄膜の磁気異方性

齊藤日菜、芦澤好人、中川活二  
(日本大学)Magnetic anisotropy of garnet films fabricated by metal organic decomposition method  
H. Saito, Y. Ashizawa, and K. Nakagawa  
(Nihon University)

## はじめに

酸化物フェリ磁性体である磁性ガーネットはダンピング定数が小さいため、スピン波伝搬材料として注目されている。我々は高機能化・高性能化を目指して種々の元素を置換した磁性ガーネット<sup>1)</sup>の検討を行っている。一般的に Liquid Phase Epitaxy (LPE)法で作製した薄膜の結晶性は優れているが、多種の組成のガーネット膜作製には効率が悪い。そこで我々は、幅広く組成の異なる薄膜作製試作が比較的容易な有機金属分解 (MOD)法によるガーネット膜作製を行い、まず基本特性を求め、その後 LPE 法による成膜へのステップを考えた。MOD 法で作製した磁性ガーネット薄膜は、その結晶性の不十分さからスピン波の散乱等の欠点も予想され、この点もクリアしていきたい。本報告では、ガラス基板上、Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (GGG)単結晶基板上に MOD 法による磁性ガーネット薄膜を作製・評価した。

## 実験方法

試料には、Y<sub>1.5</sub>Bi<sub>1</sub>R<sub>0.5</sub>Fe<sub>4</sub>Ga<sub>1</sub>O<sub>12</sub> (R = Dy, Eu)を用いた。Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YIG)をホストガーネットとし、磁気光学効果が大きい Bi を置換し、また磁気歪み定数が異なる Dy, Eu を置換した。コーニング社製ガラス基板、GGG (111)単結晶基板上にそれぞれ MOD 溶液を塗布、スピコートし、有機溶媒を蒸発させるために 100 °C で 10 分間、乾燥させた。次に有機物を分解し揮発させるために 450 °C で 10 分間、仮焼成を行った。スピコートから仮焼成までの工程を 1 回行うことで膜厚は 40 nm 程度である<sup>2)</sup>。この工程を 4 回繰り返したため膜厚は 160 nm 程度である。最後に試料を結晶化させるために 750 °C で 3 時間、本焼成を行った。試料の磁気特性を磁気ファラデー効果により評価した。薄膜の歪み誘導磁気異方性エネルギー  $K_u$  は次のように表される<sup>1)</sup>。

$$K_u = -\frac{3}{2}\lambda\frac{E_f}{1-\nu_f}\left[(1-\eta)\frac{a_s-a_f}{a_f} + \eta(\alpha_f-\alpha_s)\Delta T\right] \quad (1)$$

ここで  $\lambda$  は薄膜の磁気歪み定数、 $E_f$ ,  $\nu_f$  はそれぞれ薄膜のヤング率、ポアソン比、 $a_f$ ,  $a_s$  はそれぞれ薄膜、基板の格子定数、 $\alpha_f$ ,  $\alpha_s$  はそれぞれ薄膜、基板の熱膨張係数、 $\Delta T$  は成長温度と室温の差である。また、 $\eta$  は薄膜が受ける基板の結晶格子による歪みの開放度であり、その膜応力は  $\eta = 0$  では格子定数差で決定され、 $\eta = 1$  では熱膨張力差で決定されることを意味する。

## 実験結果

ガラス基板上 Y<sub>1.5</sub>Bi<sub>1</sub>R<sub>0.5</sub>Fe<sub>4</sub>Ga<sub>1</sub>O<sub>12</sub> (R = Dy, Eu)薄膜は、XRD から多結晶であることを確認した。磁気トルク測定より、ガラス基板上 Dy, Eu 置換薄膜の  $K_u$  はそれぞれ  $3.92 \times 10^3$  erg/cc,  $5.63 \times 10^3$  erg/cc であった。一方、 $\lambda$  を R<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (R = Y, Dy, Eu)の磁気歪み定数<sup>1)</sup>の加重平均値とし、 $\eta = 1$  での  $K_u$  を式(1)より算出すると、Dy, Eu 置換薄膜の  $K_u$  は  $3.72 \times 10^4$  erg/cc,  $-7.40 \times 10^3$  erg/cc となり磁気トルク測定結果と一致しない。これより、熱膨張係数差だけの議論は不十分であり、歪み緩和等の考慮も必要だと考えられる。

GGG 単結晶基板上 Y<sub>1.5</sub>Bi<sub>1</sub>R<sub>0.5</sub>Fe<sub>4</sub>Ga<sub>1</sub>O<sub>12</sub> (R = Dy, Eu)薄膜は XRD からエピタキシャル成長が確認され、それぞれの格子定数は 12.45 Å, 12.43 Å であった。GGG 基板上に作製した Dy, Eu 置換薄膜の膜面垂直の磁気ファラデーヒステリシスを Fig. 1 に示す。これより Eu 置換薄膜の有効磁気異方性が Dy 置換薄膜の場合より大きいと考えられる。前述同様に加重平均した  $\lambda$  を用いて、格子定数差と熱膨張係数差の寄与を考えるために、 $\eta = 1, 0$  のときの GGG 基板上の  $K_u$  を求め、Table 1 に示す。基板との格子定数差から歪み誘導磁気異方性が誘起される条件である  $\eta = 0$  のとき、Dy, Eu 置換薄膜の  $K_u$  はそれぞれ負、正となり、Fig. 1 の傾向と一致し、XRD の結果とも整合した。

## 謝辞

本研究の一部は、平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020) の助成を受けて行った。

## 参考文献

- 1) K. Matsumi, "Magnetic bubbles", edited by S. Iida and H. Kobayashi (Maruzen, Japan, 1977), pp. 84-92. [in Japanese]
- 2) T. Ishibashi, A. Mizusawa, N. Togashi, T. Mogi, M. Houchido, K. Sato: J. Crystal Growth, **275**, e2427-e2431 (2005).

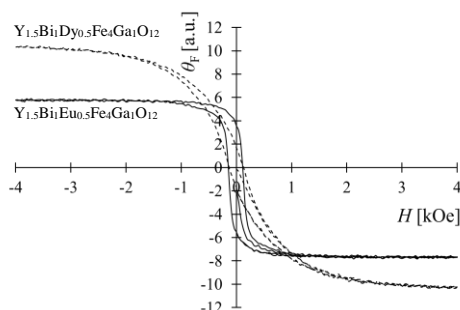


Fig. 1 Magnetic Faraday loop of Y<sub>1.5</sub>Bi<sub>1</sub>R<sub>0.5</sub>Fe<sub>4</sub>Ga<sub>1</sub>O<sub>12</sub> (R = Dy, Eu) garnet films on Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> substrates.

Table 1 Magnetic anisotropy energy  $K_u$  of Y<sub>1.5</sub>Bi<sub>1</sub>R<sub>0.5</sub>Fe<sub>4</sub>Ga<sub>1</sub>O<sub>12</sub> (R = Dy, Eu) garnet films on Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> substrates calculated from Eq. 1.

R	$K_u$ [erg/cc]	
	$\eta = 0$	$\eta = 1$
Dy	$-14.45 \times 10^4$	$2.21 \times 10^4$
Eu	$2.57 \times 10^4$	$-0.66 \times 10^4$