## 歪み希土類鉄ガーネット薄膜における高周波磁気共鳴

High-frequency magnetic resonance in strained rare-earth iron garnet thin films

東大院工<sup>1</sup> ○足立 真輝<sup>1</sup>, 那須 英和<sup>1</sup>, 山原 弘靖<sup>1</sup>, 関 宗俊<sup>1</sup>, 松井 裕章<sup>1</sup>, 田畑 仁<sup>1</sup>

Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, <sup>o</sup>Masaki Adachi<sup>1</sup>, Hidekazu Nasu<sup>1</sup>, Hiroyasu Yamahara<sup>1</sup>, Munetoshi Seki<sup>1</sup>,

## Hiroaki Matsui<sup>1</sup>, Hitoshi Tabata<sup>1</sup>

## E-mail: adachi@bioxide.t.u-tokyo.ac.jp

希土類鉄ガーネットは、絶縁体でありながらス ピン波というスピン角運動量輸送現象を利用し て、電気信号を伝えることが出来るため、近年最 も注目されている材料の一つである。このスピン 波を用いれば、多周波数のモードで同時に信号を 伝えられるため、従来の CMOS 技術を超えるスル ープットで処理できることが理論的に示唆され ており、加えて、伝導電子を持たないためにジュ ール熱の発生も無いため、新しいコンピュータの 指導原理になると期待されている<sup>1</sup>。

ここで、従来用いられているスピン波のモード は、強磁性共鳴(FMR)と呼ばれるもので、GHz 領域に存在している。もし、さらに高い周波数の THz領域に存在する磁気共鳴を利用することがで きれば、信号容量・処理速度・信号強度の大幅な 改善が期待される。そこで、我々は新たにTHz領 域磁気共鳴モードを励起することを試みた。THz のような高エネルギー領域で磁気共鳴を起こす には、スピン・フォノン結合型になっている必要 性がある。そこで、エピタキシャル格子歪をヘテ ロ接合界面に傾斜的に印加することで撓電性自 発分極を誘起し、スピン・フォノン結合系磁気共 鳴の発現を試みた。

本報では、希土類鉄ガーネット ReIG (Re=Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Lu, Bi) を(001)面に配向した  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (GGG: a = 12.383 Å)  $\succeq$  Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YAG: a = 12.01 Å)上に、パルスレーザー堆積法で堆積させ た薄膜を対象とする。作製した薄膜はX線回折を 用いて格子定数・膜厚を確認し、逆格子マッピン グを用いてエピタキシャル歪を確認した。その結 果、臨界膜厚以下の薄膜にエピタキシャル歪が印 加され、バルクの立方晶(Ia3d)から中心対称性 が破れ、正方晶になっていることを確認した。(臨 界膜厚の値:図1(a))また、原子間力顕微鏡によ る表面観察の結果、薄膜は単原子ステップ面を有 していることも確認した。さらに、超伝導量子干 渉計、及び、磁気円二色性分光を用いた磁気ヒス テリシス解析の結果、歪ませることによってスピ ン再配列転移が誘起されることも確認した。また、 電子スピン共鳴装置を用いた FMR の方位角依存 性解析の結果、歪ませることで垂直磁気異方性が 高まっていることが確認された。

次に、Advantest 製 TAS7500SP を使用し、THz 時間領域分光法による透過測定を行った。得られ た THz 時間領域波形は、複素フレネル解析を通じて薄膜の複素誘電率に変換されている。その結果、基板との格子不整合が 1.2%を超えた系の臨界膜厚以下の厚みの試料において、THz 領域の新たな吸収が観測された(図1(b), (c))。静磁場の印加によって、共鳴周波数がブルーシフトすることから、磁気吸収であることが示唆される。ゼーマン効果から求めた g 値は従来の磁気吸収の値の 10 倍程度あるため、磁気共鳴のみの寄与ではないと考えられる。また、共鳴周波数の印加圧力依存性は、歪誘起強誘電体に見られるソフトフォノンの理論に沿わないため、フォノンのみの寄与でもないと推察される。これらより、スピン・フォノン結合系磁気吸収が励起されたことを示唆する結果となった。

以上より、格子不整合が 1.2%を超えた系において、スピン・フォノン結合系磁気吸収が発現したことを示唆する結果を得た。すなわち、歪み希土類ガーネットは、高周波スピン波素子として有望である。

謝辞 本研究は、独立行政法人日本学術振興会の「研 究拠点形成事業(A.先端拠点形成型)」の助成を得た。 参考文献 1. A. Khitun, J. Appl. Phys. 111, 054307 (2012)



Fig. 1 (a) Lattice mismatch dependence of the critical thickness. (a) thickness and (b) magnetic field dependence of the resonant frequency in the LuIG films on YAG substrates.