

# 強磁性・強誘電／強磁性金属積層膜での電界印加磁気転写に向けた高飽和磁化・垂直磁化 BiFeO<sub>3</sub> 系強磁性・強誘電薄膜材料の探索

吉村 哲, 山本 大地, 武田 航太郎, 尾関 拓海, 江川 元太  
(秋田大)

Development of BiFeO<sub>3</sub> based thin film materials with perpendicular anisotropy and large saturation magnetization for application to magnetization reversal of multiferroic / metallic magnetic laminated film by applying electric field

S. Yoshimura, D. Yamamoto, K. Takeda, T. Ozeki, G. Egawa  
(Akita Univ.)

**はじめに** 強磁性・強誘電材料は、電場( $E$ )もしくは磁場( $H$ )による磁化( $M$ )および電気分極( $P$ )の方向制御が可能とされていることから、電圧駆動型の革新的な次世代電子デバイス用材料として研究が活発化してきている。磁気デバイスに本材料を使用する場合、磁気特性において、垂直磁気異方性 ( $K_u$ ) (大きな垂直保磁力 ( $H_{c\perp}$ )), 高いスピン分極率 ( $P$ ), 大きな磁気 Kerr 回転角 ( $\theta_k$ ) などが求められる。著者らは近年、酸化物薄膜の、高速成膜・高電圧成膜・アーク放電の抑制、に効果的な反応性パルス DC スパッタリング法を用い、(Bi<sub>0.4</sub>La<sub>0.6</sub>)(Fe<sub>0.72</sub>Co<sub>0.28</sub>)O<sub>3</sub> 薄膜を作製した結果、70 emu/cm<sup>3</sup> を超える  $M_s$ , 4 kOe を超える  $H_{c\perp}$ , など、BiFeO<sub>3</sub> 系薄膜としてはこれまで報告されたことがない良好な磁気特性が得られたことを報告し、本薄膜において、走査型プローブ顕微鏡を用いたサブミクロンスケールでの電界印加磁化反転にも成功したり。しかしながら、本材料において高い  $K_u$  や  $P$  や  $\theta_k$  が得られている訳ではないことから、本材料単体でデバイス化することは容易でない。本問題に対して、昨年、金属強磁性薄膜を強磁性・強誘電薄膜に積層し、積層膜への電界印加により反転した強磁性・強誘電薄膜の磁化でもって金属強磁性薄膜の磁化を反転させる「磁気転写」を提案し、強磁性・強誘電(Bi<sub>0.4</sub>La<sub>0.6</sub>)(Fe<sub>0.72</sub>Co<sub>0.28</sub>)O<sub>3</sub> 薄膜 / 金属強磁性[Co/Pd]<sub>n</sub> - 積層膜において、そのデモンストレーションに成功した<sup>2)</sup>。本研究では、強磁性・強誘電薄膜のデバイス応用の可能性を大いに広げる「磁気転写」をより容易に実現することが可能な、飽和磁化が大きく垂直磁気異方性を有する材料薄膜の探索を行った。

**方法** (Bi<sub>0.4-0.5A0.6-0.5</sub>)(Fe<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>)O<sub>3</sub> ( $A = \text{Ca, Sr, Ba, La, Nd, Gd, } M = \text{無し, Co}$ ) (BAFMO) 薄膜 (膜厚 200 nm) を、反応性パルス DC スパッタリング法 (周波数: 100 kHz, 電力: 150 W, デューティー比: 2:1) を用いて、熱酸化膜付き Si 基板/Ta(5 nm)/Pt(100 nm)下地層上に成膜した。積層膜は、Ta を室温, Pt を 300°C, BAFMO を 695°C, の基板温度で成膜した。Bi に対する置換元素  $A$  の置換量は約 50 at% とし、Fe に対する置換元素  $M(\text{Co})$  の置換量は 4, 12, 28 at% と変化させた。構造解析は X線回折装置(XRD)により、磁気測定は振動試料型磁力計 (VSM)により、誘電測定は強誘電体特性評価システムにより、それぞれ評価を行った。

**結果** Fig.1 に、作製した BAFMO 薄膜の  $M_s$  および  $H_{c\perp}$  の置換元素材料および置換量に対する変化を示す。置換元素  $A$  にアルカリ土類金属を用いた場合、原子番号が大きくなると  $M_s$  が増大した。ただし、Ca や Sr を用いた薄膜の結晶性が良くなく、多くの酸素欠損の存在により本来の  $M_s$  が得られないかった可能性もある。酸素欠損を抑制可能な作製方法での再検討が必要である。 $H_c$  に関しては、置換元素に関わらず、膜面垂直方向よりも面内方向の方が大きく、 $K_u$  は負であると考えられる。置換元素  $A$  にランタノイドを用いた場合、 $A$  の置換のみでは大きな  $M_s$  と  $H_{c\perp}$  は得られないが、 $M$  の Co 置換量の増大に従い、 $M_s$  も  $H_{c\perp}$  も増大し、(Bi<sub>0.5</sub>Nd<sub>0.5</sub>)(Fe<sub>0.72</sub>Co<sub>0.28</sub>)O<sub>3</sub> 薄膜においては、高飽和磁化 ( $M_s$ : 120 emu/cm<sup>3</sup>), 明瞭な垂直磁気異方性 ( $H_{c\perp}$ : 3 kOe,  $H_{c\perp}/H_{c\parallel}$ : 3), が得られた。本結果と、 $M$  のみを Co で置換した Bi(Fe,Co)O<sub>3</sub> 薄膜においては垂直磁気異方性が見られなかった他研究の報告結果から、BiFeO<sub>3</sub> 系薄膜において大きな飽和磁化および垂直磁気異方性を得る指針として、まだ定かではないが、 $A$  を 50 at% 程度のランタノイドで置換して  $M$  を 25 at% 以上の Co で置換することが効果的と思われる。

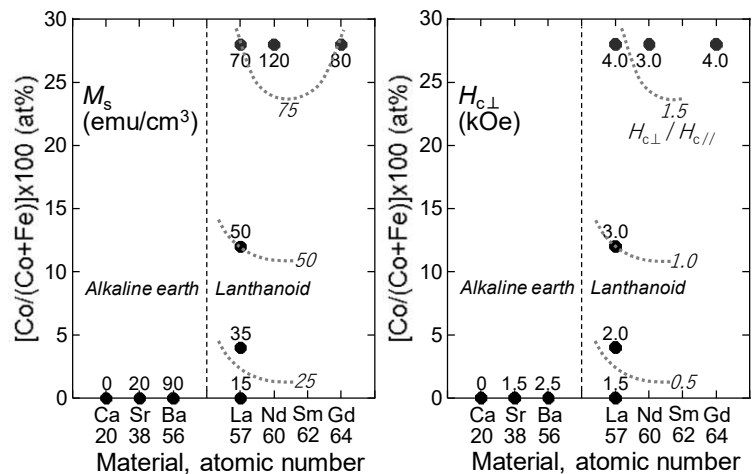


Fig. 1  $M_s$  and  $H_{c\perp}$  of (Bi, $A$ )(Fe, $M$ )O<sub>3</sub> films with various film composition.

**参考文献** 1) 吉村 第42回日本磁気学会学術講演会, 13aA-5., 2) 吉村 第43回日本磁気学会学術講演会, 25aB-3.