

(111)配向 BiFeO₃系マルチフェロイック薄膜を用いた 局所電界印加による磁化方向制御

吉村 哲、菅原 祐輔、芦 佳、江川 元太、木下 幸則、齊藤 準
(秋田大)

Control of direction of magnetization by local electric field
in BiFeO₃ based multiferroic thin films with (111) orientation

S. Yoshimura, Y. Sugawara, J. Lu, G. Egawa, Y. Kinoshita, and H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 強磁性・強誘電性を併せ持つマルチフェロイック材料は、電場 E による磁化 M の方向制御、磁場 H による電気分極 P の方向制御が可能であるので、革新的な次世代電子材料として現在盛んに研究されている。強誘電体である BiFeO₃ において、Bi を Ba, Fe を Mn や Ti で置換した Bi_{1-x}Ba_xFeO₃¹⁾, BiFe_{1-x}M_xO₃(M=Mn,Ti)²⁾などの薄膜では、強磁性が観測されている。昨年、BiFeO₃系マルチフェロイック薄膜の記録デバイス応用を念頭に、生産性に優れたスパッタリング法を用い、分極方向が膜面垂直となるよう(111)配向制御された BiFeO₃ 薄膜を 400°C程度の低温で非単結晶基板上に形成するプロセスを報告した³⁾。本研究では、BiFeO₃の Bi を Ba で置換した強磁性・強誘電 Bi_{1-x}Ba_xFeO₃ 薄膜への局所電界印加により強磁性ドメインを誘起することで、磁気記録デバイスへの適応性を検証することを目的とした。

方法 Bi_{1-x}Ba_xFeO₃(BBFO)(x=0-0.4)薄膜(膜厚 100 nm)を、マグネトロンスパッタリング法を用いて、熱酸化膜付き Si 基板上に Ta(5 nm)/Pt(100 nm)の下地層を成膜した後、積層膜として作製した。積層膜は基板温度として、Ta を室温、Pt を 300°C、BBFO を 400~500°Cで成膜した。さらに、BBFO 薄膜のペロブスカイト構造の形成を促進させるために、スパッタリング成膜時の薄膜に弱い高周波(VHF)プラズマを照射した。本条件で成膜することにより、Pt 下地層および BBFO 層は(111)配向することがX線回折装置(XRD)により確認できた。作製した積層膜の磁気測定は試料振動型磁力計(VSM)により、誘電測定は、BBFO 積層膜の最表面に Pt ドット状電極(φ200 μm)を成膜し、強誘電特性評価システムにより行った。薄膜表面の同一箇所の磁区構造および電荷の分域構造は、磁気力顕微鏡および電気力顕微鏡を用いて観察した。

結果 Fig. 1 に、昨年の BFO 積層膜の検討から得られた最適条件で成膜した BBFO 薄膜の飽和磁化(M_s)および飽和分極(P_s)の Ba 置換量(x)依存性を示す。x の増大に伴い M_s が増加し、x=0.4 において、PLD 法等で単結晶基板上に高温で作製された薄膜の値と同程度の 60 emu/cm³ が得られ、かつ $P-E$ および $M-H$ 曲線において明瞭なヒステリシスを示すことから、本薄膜は強制的秩序のマルチフェロイック特性を有している。しかしながら、 P_s は最大 10 μC/cm² 程度であり、PLD 法等で単結晶基板上に高温で作製された薄膜の値の 5 分の 1 以下であった。その原因として BBFO 薄膜組成の化学量論比からのずれや酸素欠損が挙げられる。Fig. 2 に、マルチフェロイック特性を有する Bi_{0.6}Ba_{0.4}FeO₃ 薄膜における、走査型プローブ顕微鏡および導電性探針を用いて観察した表面像を(a)に、同装置および探針を用いて局所電界印加 (3×3 μm 領域に+13 V, 1×1 μm 領域に-13 V) を施した後の分域構造を電気力顕微鏡により観察した像を(b)に、磁性探針を用いて磁区構造を磁気力顕微鏡により観察した像を(c)に、それぞれ示す。(b), (c) いずれにおいても、1×1 μm の中心領域と 3×3 μm の外周領域とでコントラストが異なり、極性が異なることが示唆される。各探針の極性およびその振動の位相変化の結果から、中心および外周領域はそれぞれ-, S, および+, N, であった。以上の結果から、本薄膜において、局所電界印加により強磁性ドメインの誘起させることに成功し、電界制御方式の磁気記録デバイスの実現可能性を示した。講演では、本薄膜の微細組織についても述べる予定である。

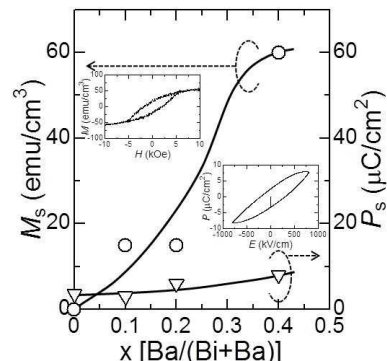


Fig. 1 Dependence of P_s and M_s of Bi_{1-x}Ba_xFeO₃ films onto Ta/Pt underlayer on Ba concentration.

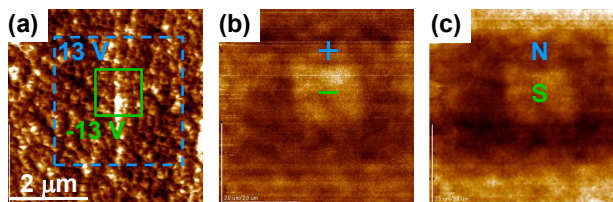


Fig. 2 (a) topographic, (b) EFM, and (c) MFM images of Bi_{0.6}Ba_{0.4}FeO₃ multiferroic film onto Ta/Pt underlayer.

参考文献 1) D. H. Wang et al., Applied Physics Letter, 84, 212907 (2006), 2) I. O. Troyanchuk et al., Neorganicheskie Materialy, 46-4, 475 (2010), 3) 吉村 哲 他, 第 37 回日本磁気学会学術講演概要集, 3aC-6

謝辞 誘電特性評価にご協力賜りました, 名古屋大学 浅野秀文先生・坂本渉先生に感謝申し上げます。