

Fe/BaTiO₃における電界効果と界面状態の観察 Observation of the electric-field effect in Fe/BaTiO₃ and its interface state

酒巻真粧子^{1,2,*}, 雨宮健太^{1,2}

¹放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

²構造物性研究センター, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Masako Sakamaki^{1,*} and Kenta Amemiya²

¹Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

²Condensed Matter Research Center, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

一般に磁性体の磁化は磁場によって制御されるが電流や電界によっても制御される場合がある。特に電界を用いた技術は、低消費型の素子開発において、優位性の高い技術として注目を集めている。筆者らは中でも強誘電体を用いた強磁性体の制御に着目し、特に界面の電子状態や原子構造を調べることで、電界印加による磁気特性変化の機構について理解することを目的としている。典型的な強誘電体であるBaTiO₃(BTO)基板の上にFe薄膜を作製し、基板と薄膜表面の間に電界を印加することによって生じるFeの磁性変化を、X線磁気円二色性(XMCD)を用いて調べた。また分極に伴う構造変化について広域X線吸収微細構造(EXAFS)を用いて調べた。その結果Fe/BTO界面付近にFe酸化物が存在し、電界に対するFeの磁性変化に密接に関わっていることがわかってきた[1]。ここでは、電界効果に対する界面酸化物の役割を明らかにするため、界面に異なる化学状態のFe酸化物を挿入した試料を比較し、Feの磁性変化に与える影響を評価した結果について報告する。

2 実験

XMCD実験はKEK Photon Factory BL-7Aおよび16Aにおいて、EXAFS実験はBL-12Cにおいて行った。薄膜は高真空チャンバー内で電子衝撃加熱法を用いて作製した。BTO(001)基板の上にwedge状のFe酸化物層(FeO_x)を作製し、その上にFe薄膜およびAuキャップ層を順次蒸着した。BTOのc軸方向に±10 kV/cmの電界を印加した状態で、室温におけるFe L端XMCDスペクトルおよびL₃端ピークトップにおけるヒステリシス曲線と、Fe K端EXAFSスペクトルを測定し、異なる界面状態を示す試料について、電界効果の違いを比較した。これから先、基板側の電位を0Vとし、薄膜表面側の電位の符号を正または負として表記する。また全ての測定は蛍光収量法で行なった。

3 結果および考察

図1(a,b)にFe(10 nm)/BTOとFe(10 nm)/FeO_x(1 nm)/BTOのFe L₃端XMCDヒステリシス曲線の電界依存性を示す。Fe/BTOは比較的良好な角形比を示

すが、Fe/FeO_x/BTOはループが外側に伸びて歪んでおり、重心が左側に偏っているように見える。ループ重心の水平方向のずれを見積もり、図2にその電界依存性を示した。Fe/BTOは電界の変化に依らず重心はループ中心にあるが、Fe/FeO_x/BTOでは重心のシフトが見られ、特に負バイアスを印加するとより大きくシフトする傾向が見られた。X線吸収スペクトル解析から、FeO_x層にはFe₃O₄成分が多く含まれることがわかっている。従って、界面Fe₃O₄成分とFeの間には交換結合的な相互作用が働いており、負バイアスでその効果が強められていると解釈できる。なぜこのような電界効果が生じるのかを理解するには、Feの詳しい電子状態を知る必要がある。図3にFe(10 nm)/BTOとFe(10 nm)/FeO_x(1 nm)/BTOのFe L端XMCDスペクトルを示す。L₂端を拡大した図を比較すると、720.3 eV(X)と722.5 eV(Y)付近に二つのピーク構造が見られる。これらの比率を比較すると、Fe/BTOでは電界の符号反転による変化は見られないが、Fe/FeO_x/BTOでは負バイアスの時にYの強度が弱くなる傾向が見られた。YはFe³⁺サイト

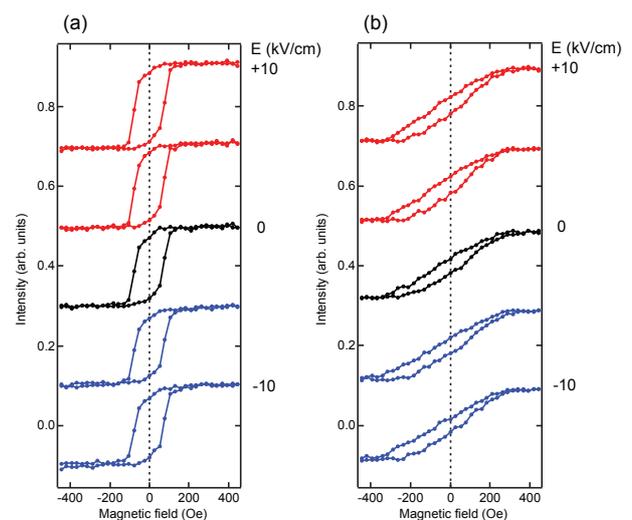


図 1: (a)Fe(10 nm)/BTO および (b)Fe(10 nm)/FeO_x(1 nm)/BTO の Fe L₃端 XMCD ヒステリシス曲線。

および金属 Fe に由来する界面成分と考えられ、負バイアスでその割合が小さくなることがわかった。この結果は、負バイアスで保磁力(および残留磁化)が減少するという観測結果と整合的であり、電界の符号反転によって金属 Fe あるいは Fe_3O_4 の磁化成分が変化することに由来すると考えられる。一方 Fe/ Fe_3O_4 接合モデルを使った理論計算から、界面における反強磁性的な交換相互作用の可能性が示され [2], 今回観測された交換バイアス的な振る舞いはこの相互作用に由来することが示唆された。電界依存性に関しては、何らかの原因で相互作用に変化が生じ、特に負バイアスでより強い反強磁性的な結合が生じたと考えられる。その結果、より大きな重心のシフトと、磁化の減少が観測されたものと推測している。

参考文献

- [1] M. Sakamaki and K. Amemiya, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, **13**, 139 (2015).
- [2] H. Yanagihara et al., *Phys. Rev. B*, **91**, 174423 (2015).

* masako.sakamaki@kek.jp

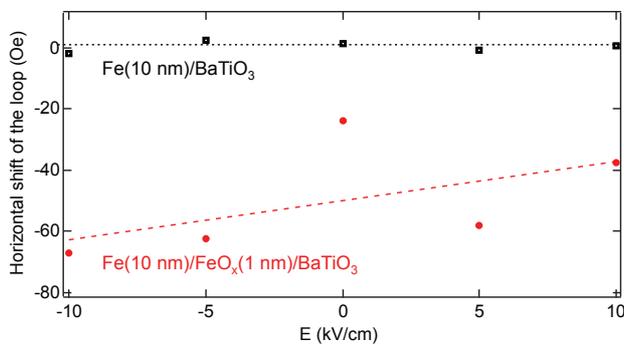


図 2: ループ重心のシフトの電界依存性。

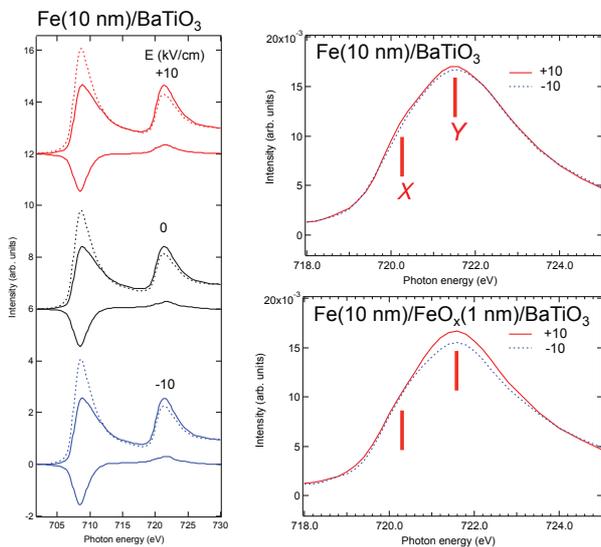


図 3: Fe(10 nm)/BTO と Fe(10 nm)/FeO_x(1 nm)/BTO の Fe L 端 XMCD スペクトル。右図は L₂ 端を拡大したもの。