

コバルト置換ビスマスフェライト薄膜における電場印加磁化反転

重松 圭 〈東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所 kshigematsu@msl.titech.ac.jp〉

清水啓佑 〈東京工業大学科学技術創成研究院全固体電池研究センター shimizu.k.ak@m.titech.ac.jp〉

北條元 〈九州大学大学院総合理工学研究院 hojo.hajime.100@m.kyushu-u.ac.jp〉

東正樹 〈東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所 mazuma@msl.titech.ac.jp〉

情報通信技術関連機器のエネルギー消費は年々増大し、深刻な状況になりつつある。科学技術振興機構低炭素社会戦略センターの試算によると、日本/世界の情報通信技術関連機器のエネルギー消費量は、2016年の41/1,170 TWhから、2030年には1,480/42,300 TWhにまで増大すると予測される。2020年の全世界のエネルギー消費量が約26,000 TWhであることを考えると、情報通信技術のエネルギー消費問題がいかに顕著で喫緊であるかがわかる。この問題に対応するため、デバイスの省エネルギー化、ネットワークの効率化、新たな原理の素子の開発など、多方面からの取り組みが行われている。

なかでも、低消費電力・高記録密度・不揮発性の次世代メモリデバイスの開発は、エネルギー消費の大幅な低減をもたらすと考えられ、世界中で重点的に研究が進められている。こうした観点から注目されるのが、**マルチフェロイック物質**である。我々の研究グループは、菱面体晶ペロブスカイトのビスマスフェライト (BiFeO_3) のFeサイトにCoを一部置換した $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ において、電場印加で磁化を反転する結果を得た。

現行で使用されているHDD (Hard Disk Drive) やMRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) 等の磁気メモリは書き込みのためにコイルに電流を流して磁場を発生するため、電力消費が本質的に避けられない。また、近年研究が進展している、電子スピンの自由度を活用するスピントロニクスメモリにおいても、情報の書き込み

はスピン偏極した電流を生成する必要がある。一方で、強磁性と強誘電性を併せ持つマルチフェロイック物質で、磁化と電気分極の相関が十分に強く、電気分極の反転に伴って磁化を反転することが可能ならば、電場書き込み・磁気読み出し (電圧駆動) のメモリ動作を実現できる。このメモリの電場印加による情報書き込み過程には、分極反転電流以外の電流による電力消費を伴わないので、超低消費電力メモリとしての可能性が期待される。このアイデアは、世界的に展開されているマルチフェロイック材料研究の一つの大きな目標とされており、基礎研究の段階では、これまで $\text{Dy}_{0.75}\text{Gd}_{0.25}\text{FeO}_3$ などいくつかの物質で実験的に達成されている。しかしながら、これらの物質では強磁性と強誘電性のいずれかが -200°C 以下の低温でしか現れないため、実用材料として見なすことは難しい。

一方 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ では、**弱強磁性**と強誘電性が室温で共存し、この弱強磁性の出現がスピン構造変化に由来した本質的なものであることを明らかにしてきた。また、 $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ のエピタキシャル薄膜においても上記のスピン構造変化による弱強磁性の存在を確認したうえで、同一視野における**強誘電ドメイン・強磁性ドメイン**を観測し、室温で電場印加によって電気分極を反転させた際に、磁化の方向が反転することが実験的に確かめられた。この特性を生かせば、不揮発性・高安定性という現在の磁気メモリの特徴を生かしつつ、電場書き込み磁気読み出しのメモリデバイスを実現できるのではと期待される。

用語解説

マルチフェロイック物質：

強磁性、強誘電性、強弾性など、複数の強制的秩序相 (ferro ordered phase) を有する物質のことを指す。ここでは、強磁性と強誘電性の2つの強制的秩序を有する物質を指す。

弱強磁性：

隣り合うスピンの反対を向く反強磁性秩序を持つ物質は全体として磁化を持たない。しかし、隣り合うスピンの完全な反平行からわずかに傾く (キャント) と、磁化が完全には打ち消し合わず、強磁性に比べると小さいながら、自発磁化が出現する。スピンの反平行からずれる起源としては Dzyaloshinsky-守谷相互作用などが挙げられる。

強誘電ドメイン・強磁性ドメイン：

それぞれ、電気分極・磁化の向きが揃った区域のことを指す。どちらも走査型プローブ顕微鏡の探針の種類や操作方法を変えることで観察できる。前者は、強誘電体の圧電効果による歪みを検出する圧電応答顕微鏡によって、後者は磁性体でコーティングさせた探針を帯磁させて漏洩磁場を検出する磁気力顕微鏡によって画像を取得する。