

Pt/Co/Au/Cr₂O₃/Pt 積層膜における電気磁気冷却による 垂直交換バイアス反転過程

白土 優¹, 渡邊俊介¹, 米村祥吾², 中谷亮一¹

¹大阪大学大学院工学研究科, ²TDK 株式会社

Reversal process of perpendicular exchange bias by magnetoelectric field cooling for Pt/Co/Au/Cr₂O₃/Pt stacked film

Yu Shiratsuchi¹, Shunsuke Watanabe¹, Shogo Yonemura², Ryoichi Nakatani¹

¹Graduate School of Engineering, Osaka University, ²TDK cooperation

緒言 交換バイアスは、反強磁性層/強磁性層界面での交換結合による効果であり、スピバルブ薄膜や磁気トンネル接合における参照層の磁化固定に用いられている。従来の交換バイアスは、磁場中冷却によって向きを決定された後、デバイス中で反転させることが困難とされ、このためスタティックな利用に限られてきた。この一因は、反強磁性スピンをデバイス中で可逆的に制御することが困難であることにある。近年の薄膜作製技術、スピン制御技術の発達により、Cr₂O₃をはじめとする電気磁気効果材料薄膜の作製が可能になり、電場や強磁場を用いた反強磁性スピンの可逆的な制御が可能になっている。強磁性層/Cr₂O₃層積層膜は、0.4 mJ/m²以上の垂直交換バイアス、電気磁気効果に基づく交換バイアス反転が可能な系である。この系における交換バイアスの方位制御は機能実証に注力されてきたが、本現象の詳細な理解には、交換バイアスの方位反転エネルギー、反転過程などを明らかにすることが必要である。本研究では、磁区構造観察に基づいて、電気磁気冷却 (Magnetoelectric field cooling: MEFC) 過程における交換バイアス反転過程について検討した。

実験方法 試料には、c面サファイア基板上に作製した Pt(3.0)/Co(0.7)/Au(1.0)/Cr₂O₃(150)/Pt(20)積層膜を用いた。各層の括弧内の数値は、nm単位での膜厚を表す。試料作製には、DCマグネトロンスパッタリング装置を用いた。試料作製方法、各層の結晶配向性については、過去の報告を参照されたい。作製した薄膜を、フォトリソグラフィ、Arイオンミリング、リフトオフ法を用いて、電場印加可能なマイクロドット (直径 200 μm) に微細加工した。作製したマイクロドットに対して、磁気光学 Kerr 効果顕微鏡によって磁区構造を観察した。作製したデバイスの光学顕微鏡像と等価回路を図 1 に示す。磁区構造観察は、試料を 297 K から 280 K まで MEFC 法によって冷却した後、±1 kOe の磁場範囲で行った。交換バイアス反転のための MEFC 条件は、冷却時の印加磁場を +15 kOe で固定し、印加電界を 0 kV/cm から 600 kV/cm の範囲で変化させることとした。

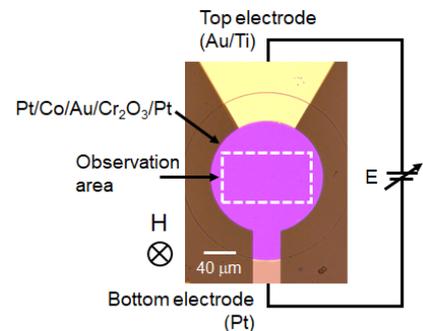


図 1 作製したマイクロドットの光学顕微鏡像と測定系の模式図。

実験結果と考察 MEFC 時の電場が 413 kV/cm 以下では交換バイアスの極性は負となり、通常の磁場中冷却と一致する。MEFC 時の電場が 420 kV/cm となると、正の交換バイアスが観測される。これは、定性的には反強磁性秩序生成時における界面交換結合と電気磁気効果によるエネルギーの競合によって説明できる。従来用いられてきたモデル²⁾は、正負の交換バイアスを発現する磁区の占有比が、両磁区のエネルギー差に対応するボルツマン分布に比例することを仮定しており、このことは正負の交換バイアスを発現している磁区の内部構造の変化がないことを仮定している。しかしながら、MEFC 後の磁区構造観察をもとに、各磁区上で測定した局所磁化曲線においては、局所的な保磁力の上昇、多段階の磁化反転が観測される。このことは、従来モデルとは異なり、MEFC 過程で生成される磁区構造が反強磁性層の界面と内部で異なることを示唆している。

参考文献 1) Y. Shiratsuchi *et al.*, J. Appl. Phys. 121, 073902 (2017). 2) M. Al-Mahwadi *et al.*, Phys. Rev. B 95, 144423, (2017).