

プログラム名：無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現

PM 名：佐橋 政司

プロジェクト名：交差相関電圧書き込み磁気記録プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 7 年 度

研究開発課題名：

高性能電気磁気効果薄膜材料の開発

研究開発機関名：

国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科

研究開発責任者

白土 優

## I 当該年度における計画と成果

### 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜の電気磁気効果を用いた電圧による磁化反転素子の開発に向けて、パルス電圧を用いたダイナミックな磁化反転、ならびに、磁化反転過程の可視化による磁化反転のエネルギーの低減エネルギー化への指針を得ることを目的とした。平成 27 年度の具体的な検討項目として、(A) 投入電気磁気エネルギー (EH 積) に対する反転時間の変化、(B) 磁場印加による磁化反転過程の可視化による磁区構造と交換バイアスの関係を明らかにすることを主な検討項目として設定して、研究を行った。

### 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

#### 2-1 進捗状況

##### (A) 投入電気磁気エネルギー (EH 積) に対する反転時間の変化

電気磁気効果を利用した反強磁性スピン反転のダイナミクスの解明に向けて、印加する電圧としてパルス電圧を用いたダイナミックなスピン反転の可能性について検討した。平成 27 年度は、平成 26 年度の達成した 1 条件でのパルス電圧反転をベースとして、投入 EH 積による反強磁性スピン (交換バイアス) 反転速度の変化について検討することを主な目的とした。進捗状況として、投入 EH 積の増大による反転速度の増大の可能性を示すことが出来た。一方、反強磁性スピン反転速度の定量評価には、解決すべき課題があり、今後の課題である。

##### (B) 磁場印加による磁化反転過程の可視化による磁区構造と交換バイアスの関係

垂直交換バイアス膜における磁区構造観察、特に、強磁性スピンと反強磁性スピンを独立に検出できる元素選択的手法による磁区構造観察は、放射光実験をもってしても、チャレンジングな課題である。研究開発代表者は、SPring-8 との連携の下 (パートナーユーザー課題 課題番号 2015A0079, 2015B0079)、軟 X 線ナノビームを用いた強磁性スピンと反強磁性スピンに由来する軟 X 線磁気円二色性 (XMCD) の空間分布の可視化を行い、また、磁場下での計測と組み合わせることで、垂直交換バイアス膜の磁化過程を直接的に観察し、無磁場下における磁区構造と交換バイアスの極性の関係を明確にした。今後は、本技術を、(A) で明らかにした成果と組み合わせることで、反強磁性スピン反転のダイナミクス計測に発展させることを目指す。

#### 2-2 成果

##### (A) 投入電気磁気エネルギー (EH 積) に対する反転時間の変化

平成 26 年度の成果により、パルス電圧による交換バイアス反転が反強磁性ドメインの反転核生成と磁壁伝搬によって生じていることを示唆した。平成 27 年度は、本知見に対する更なる理解を進めるため、投入 EH 積に対する交換バイアス反転速度の変化について検討した。上記の予測を支持するように、投入 EH 積を増加させると、交換バイアス磁場の反転速度は減少し、交換バイアスの極性反転が反強磁性ドメインの磁壁移動によって生じていることを支持する結果が得られた。

##### (B) 磁場印加による磁化反転過程の可視化による磁区構造と交換バイアスの関係

平成 26 年度に基板技術を開発した軟 X 線ナノビームを用いた元素選択磁区構造観察手法を用いて、Pt/Co/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt 垂直交換バイアス薄膜の強磁性 (Co) スピンと界面非補償反強磁性 (Cr) スピンの XMCD 空間分布を観察した (図 1: Y. Shiratsuchi et al., AIMS Materials Science, vol. 2, 484 (2015)). XMCD 空間分布は、それぞれの層の磁区構造に対応しているものと考えられ、図 1 から明らかに、強磁性磁区と反強磁性磁区が空間的に整合していることが分かる。また、図 1 に示した磁区構造を初期状態として磁化曲線を測定すると、正負の磁場方向に交換バイアスが観測される。この結果から、Pt/Co/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt 垂直交換バイアス薄膜における交換バイアスの極性は、磁場中冷却時の磁区構造によって決定され、界面反強磁性スピンの向きによって交換バイアスの向きが決定されていることを示唆している。この結果は、(A)に示した交換バイアスのパルス電圧による反転が反強磁性磁区構造の変化によって生じているとする考察と矛盾しない。

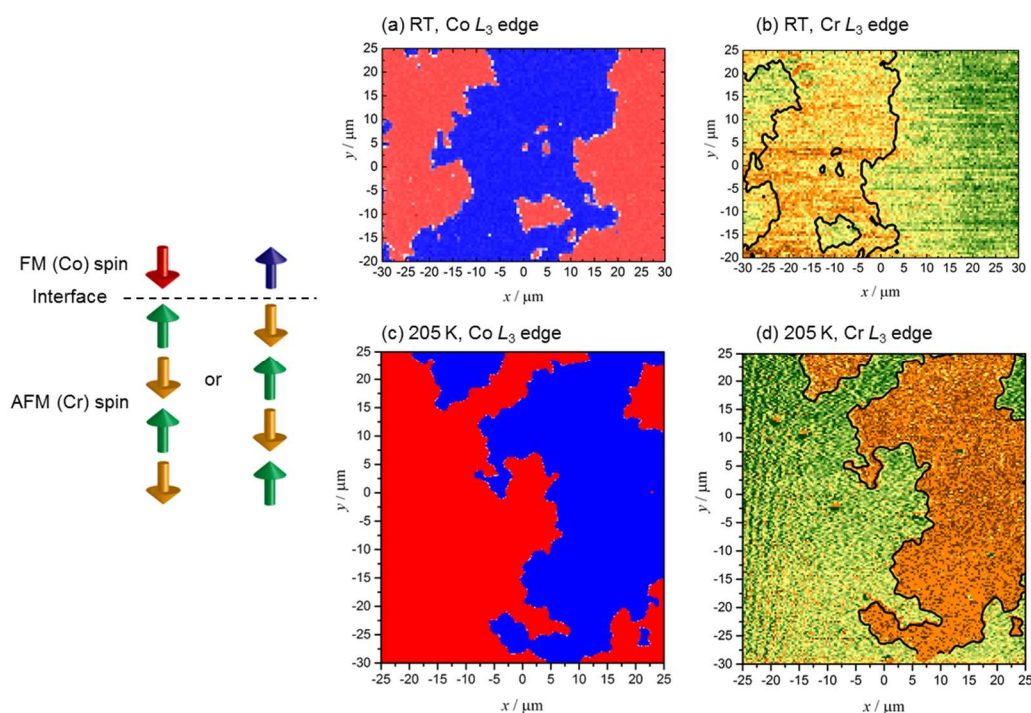


図 1 (a), (c) 強磁性 Co L<sub>3</sub> 吸収端および, (b), (d) 反強磁性 Cr L<sub>3</sub> 吸収端で測定した XMCD 強度の空間分布。測定温度は, (a), (b) 室温, (c), (d) 205 K である。(Y. Shiratsuchi *et al.*, AIMS Materials Science, vol. 2, 484 (2015).)

### 2-3 新たな課題など

パルス電圧を用いた交換バイアス反転のダイナミクス評価に際して、更なる高速パルスの印加には、計測系の高度化が必要であり、これによって交換バイアス反転の定量評価が可能になるものと思われる。また、放射光を用いた交換バイアス反転実験については、開発した計測技術を電気磁気効果素子に適用することで、交換バイアス反転過程の直接的な可視化が可能になるものと期待される。

### 3. アウトリーチ活動報告

該当なし。