

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

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 8 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、磁化反転に必要なエネルギー閾値の定量化手法ならびに、パルス電圧による高速反転を開発する。前者については、交換磁気異方性、磁場、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜厚による磁化反転エネルギー積の定量化、後者については、パルス電圧下での交換バイアスの反転速度に関する基礎検討を主な開発課題とする。

## 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) 電圧による磁化反転条件の定量化の開発

電圧に寄る磁化反転および交換バイアス反転エネルギーの定量化に向けて、本検討に適した素子構造の最適化、磁場による交換バイアス反転閾電圧の変化を明らかにした。前者については、強磁性体/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面に適切なスペーサ層を数原子層挿入することで、交換バイアス磁場の低下を最小限に抑えつつ、保磁力の上昇を抑制できることを見出した（論文発表済み）。後者については、現在、近日中の論文投稿を目指して、論文発表準備を進めている段階にある。

#### (B) 電圧による磁化反転の律速過程の解明

電圧による磁化反転プロセスの可視化に向けて、SPring-8 パートナーユーザー課題（代表者 白土 優）と連携することで、走査型 XMCD 顕微鏡を用いた電圧誘起磁化反転プロセス可視化手法の開発を進めた。具体的には、低温・強磁場・電界印加可能な計測系の開発を進め、本技術を用いた微細加工素子に対する XMCD イメージングを行った。

### 2-2 成果

#### (A) 電圧による磁化反転条件の定量化の開発

電気磁気効果に基づく反強磁性スピン（あるいは反強磁性ドメイン）反転は、電場と磁場の積（ $EH$  積）＝一定と仮定されることが多い。しかしながら、本 PJ での開発課題のように、強磁性体と交換結合した系では特に界面反強磁性スピンの挙動が重要であり、強磁性体と交換結合した界面反強磁性スピンの電界反転条件については明らかになっていない。本研究では、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/強磁性層交換結合膜に対する電界誘起交換バイアス反転の閾電界を、固定磁場の強度・極性に対して系統的に調べた。主な結果として、交換バイアスの極性反転閾電界は、磁場の逆数に対して比例する。この結果は、上記の  $EH$  積＝一定と矛盾しない。しかしながら、磁場→∞の極限では、有限の電界が存在する（オフセット電界）。さらに、オフセット電界は、交換バイアス反転の向き（正→負、あるいは負→正）によって異なる値を示すことが明らかになった。

#### (B) 電圧による磁化反転の律速過程の解明

Pt/Co/Au/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt 垂直交換バイアス膜の磁化過程を観察した。微細加工法によって作製したホール素子に対する、電界印加による磁化反転過程の可視化を目指して、第一段階として、上記薄膜の磁場による

磁化反転過程，反転磁区生成過程の観察を行った．試料を室温で消磁した後，消磁状態を保ったゼロ磁場中冷却後の磁化過程は，着磁過程（磁場上昇過程）では磁壁移動をとともうが，減磁過程（磁場低下過程）では反転磁区の生成によって磁化過程が律速されていることが分かった．特に反転磁区生成時には顕著な磁壁移動が観察されず，また，反転磁区生成には潜伏時間があることから，反転磁区生成過程は熱活性プロセス，すなわち確率的反転磁区生成が支配的なプロセスである．

## 2-3 新たな課題など

### (A) 電圧による磁化反転条件の定量化

平成 28 年度の研究により，交換バイアス反転の閾電界にはオフセット電界が生じることが明らかになった．オフセット電界は，Pt/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt 系においても報告されているが (T. Kosub *et al.*, *Nature Communication* **8**, 13985 (2017).)，報告されたメカニズムによって，オフセット電界の強度・符号変化を説明することは難しく，このため，オフセット電界の微視的な期限については詳細な検討が必要である．また，EH 積を支配しているパラメータは，Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層の磁気異方性エネルギーであることが予測されるが，その直接的な検証もされておらず，今後の課題である．

### (B) 電圧による磁化反転過程の可視化

平成 28 年度までの研究により，微細加工素子に対する電界印加前後でのドメイン構造観察手法の開発が完了しつつある．本技術を用いて，電界による反強磁性ドメイン反転過程の可視化，ダイナミクスの直接計測などが進展することを期待する．

## 3. アウトリーチ活動報告

該当なし．