

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：電圧トルク MRAM プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 27 年度

研究開発課題名：

電圧効果ダイナミクス解明と新材料の開発

大阪大学 大学院・基礎工学研究科

研究開発責任者

鈴木 義茂

## 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

本研究開発では、H27 に以下の目標を達成する。

1. Well defined な金属強磁性体/絶縁体界面を 3d 強磁性金属, 3d 強磁性金属と貴金属および希土類金属との合金などについて形成する。
2. 界面の電圧効果と、界面状態および電子状態との関係を放射光を用いて調べる方法を確立する。
3. 種々の金属強磁性体/絶縁体界面における電圧効果ダイナミクスを数時間からサブナノ秒の広範な時間範囲において測定する方法を確立する。この方法を用いていくつかの基本的なデータを得る。
4. Well defined な界面形成のために新規に分子線エピタキシャル装置を立ち上げる。

### 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

1. Well defined な金属強磁性体/絶縁体界面を 3d 強磁性金属, 3d 強磁性金属と貴金属および希土類金属との合金などの形成については目標を達成した。
2. 界面の電圧効果と、界面状態および電子状態との関係を放射光を用いて調べる方法の確立については研究が計画以上に進展した。
3. 種々の金属強磁性体/絶縁体界面における電圧効果ダイナミクスを数時間からサブナノ秒の広範な時間範囲において測定する方法を確立する。この方法を用いていくつかの基本的なデータの取得については計画以上に親展した。
4. Well defined な界面形成のために新規に分子線エピタキシャル装置を立ち上げについては、計画通り終了した。

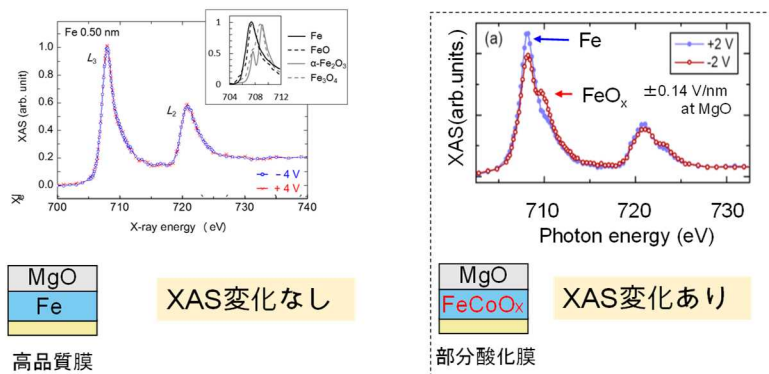
#### 2-2 成果

2-2-1. Well defined な金属強磁性体/絶縁体界面を 3d 強磁性金属, 3d 強磁性金属と貴金属および希土類金属との合金などの形成

(1) Fe/MgO 系について微細加工プロセスを再検討することにより Spring-8 での測定に用いる大面積試料でも強磁性層の酸化を完全に防ぐことに成功した。これまでの素子では初めから酸化に対応するスペクトルが観察され、電圧の印加により酸化還元が可逆的に生じたが、新しい試料では電圧の印加により磁気異方性は通常通りに変化するが、酸化還元は全く生じなかった(図 1 参照)。即ち、酸化還元なしに電圧効果を示す理想的な系の作製に成功した。

(2) これまで、Au を下地とした Au/Fe/MgO 系では Au が Fe と MgO の界面に偏析していることが確認されたが、下地を V に変えることにより界面偏析のない理想的な系を実現した。

(3) Pd/Fe 1ML/Pt 1ML/Fe 1ML/Pt 1ML/MgO 系と Pd/Fe 1ML/Pt 1ML/Fe 1ML/Pt 1ML/Fe 1ML/MgO 系を産総研の協力を得て作製した。さらにその構造を物材研の協力により解



S. Miwa, T. Nakamura, Y. Suzuki *et al.*, APL 107, 162402. F. Bonell, S. Miwa, Y. Suzuki *et al.*, APL 102, 152401 (2013).

図 1. 電圧を印加しても酸化還元のない Fe/MgO 界面(左)と酸化還元のある場合(右)析したところ、後者では積層構造が乱れているが、前者ははっきりとした積層構造を示し、MgO との界面 1 原子層まで well defined な人工 L10 構造の作製に成功した(図 2 参照)。

(4)大きな軌道角運動量を持つ FeGd/MgO, FeNd/MgO, FeTb/MgO 系の界面を作製し軌道角運動量と電圧効果の相関を見出した。

### 2-2-2. 界面の電圧効果と電子状態との関係を放射光を用いて調べる方法の確立

前述したように Spring-8 との共同により酸化状態を明確に測定する技術を確認し、さらに Pt の L 吸収端の測定により Pt の電子状態を決定する方法を確認した。その結果、電圧印加によるスピン双極子モーメントの誘起を見出した(図 3)。このことは、

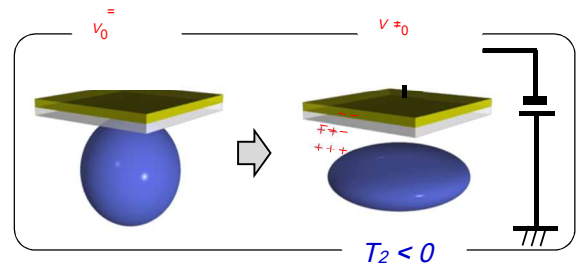


図 2 電圧によるスピン双極子モーメントの誘起

電圧誘起磁気異方性制御にこれまでの Bruno 機構とはことなるメカニズムがあることを示唆するものであり、機構解明のための大きな前進といえる。

### 2-2-3. 種々の金属強磁性体/絶縁体界面における電圧効果ダイナミクスを数時間からサブナノ秒の広範な時間範囲において測定する方法の確立

Spring-8 の測定において漏れ電流と電子状態の時間変化を測定することにより素子の劣化を明確にとらえることに成功した。その一方で、電圧誘起磁気共鳴により前述の V/Fe/MgO 系においてサブナノ秒の応答速度を持ちかつ 160 fJ/Vm と大きな電圧効果の測定に成功した。この値は高速性が確認されたものとしては世界最大である。

### 2-2-4. 4. Well defined な界面形成のための新規に分子線エピタキシャル装置の立ち上げについては、計画通り終了した。

### 2-3 新たな課題など

なし

### 3. アウトリーチ活動報告

なし