

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：電圧駆動 MRAM 開発タスクフォース

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 28 年 度

研究開発課題名：

電圧効果の物理機構解明と高率化のための指針確立

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

1. 合金系や界面に重元素を挿入した系の組成・構造・電子状態と電圧効果の相関を調べることにより電子状態(電子数)と電圧効果の関係を明確化する。電子状態の評価のためには SPring-8 における XAS, XMCD 測定を用いる。
2. スピン波のバイアス電圧依存性を測定することにより対称的・反対称的交換相互作用に対する電圧効果を明らかにする。さらに、これらの効果が磁化過程に与える影響を明らかにする。
3. 以上の研究を短期間で効率的に実施するために阪大では 2 名の博士研究員を雇用するとともに SPring-8, 産総研, NIMS などと密接な協力をを行う。

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. Fe/MgO 界面に Pt, Ir, Bi 等の重元素を挿入し、系における電圧効果を精査した。XAS, XMCD 測定の結果と第一原理計算(東北大グループ担当)から、Pt 挿入時に電圧効果増大の新機構が働くことを見出し、大きな効果を示す材料設計指針を得た。計画以上に研究が進展している。
2. Fe/MgO 界面に Pt, Ir, 等の重元素を挿入し、スピン波分光で磁気特性及び電圧効果を評価することにより、原理解明のみでなく、実際に Pt の挿入では反対称的交換相互作用の電圧効果がこれまでの 3 倍になることを見出した。そこで、この効果を用いて実際に磁化の双方向反転を高速電圧パルスを用いず実現するための実験を開始した。計画以上に研究が進展している。
3. 2 名の博士研究員を雇用し、XAS, XMCD 分光で SPring-8、膜作製で産総研、構造解析で NIMS、第一原理計算で東北大グループと密接に協力することにより研究を効率的に進めることができた。

2-2 成果

1. 合金系や界面に重元素を挿入した系の組成・構造・電子状態と電圧効果の相関を調べることにより、電子状態と電圧効果の関係を明確化
昨年度に引き続き、Fe/Pt/MgO 構造における検討を行った。昨年度報告した「磁気双極子モーメント機構による電圧磁気異方性制御 (図 1(a)参照)」を精査するため、昨年度検討した FePt 合金/MgO 構造ではなく Pt を 1 原子層 Fe/MgO 界面に挟んだ構造、そして誘電体としてポリマーでなく SiO₂ を用いた新構造を開発し、定量評価を行った。XAS, XMCD そして東北大グループの第一原理計算の結果を鑑みた結果、FePt/MgO 膜における約 100 fJ/Vm の電圧磁気異方性変化は磁気双極子モーメント機構により約 1000fJ/Vm、軌道磁気モーメント機構(Bruno 機構)により約-900fJ/Vm 生じていることがわかった。これは磁気双極子モーメント機構が重要であること、そして 2 つの異なる機構の符号が制御できるなら ImPACT が目指す 1500 fJ/Vm 超の電圧効果を示す材料が実現であることを示す結果である。

この他、Pt 以外の重合金系として Fe/Ir/MgO の XMCD 研究、これまでの 40 倍の感度に Fe/MgO 系の XMCD 測定などを行った。また、昨年度報告した V/Fe/MgO 系における「サブナノ秒の応答速度

を保持しつつ大きな電圧トルク」の最適化を行い 180 fJ/Vm 相当のトルクを実現した。高速性が確認されたものとして世界最大である。

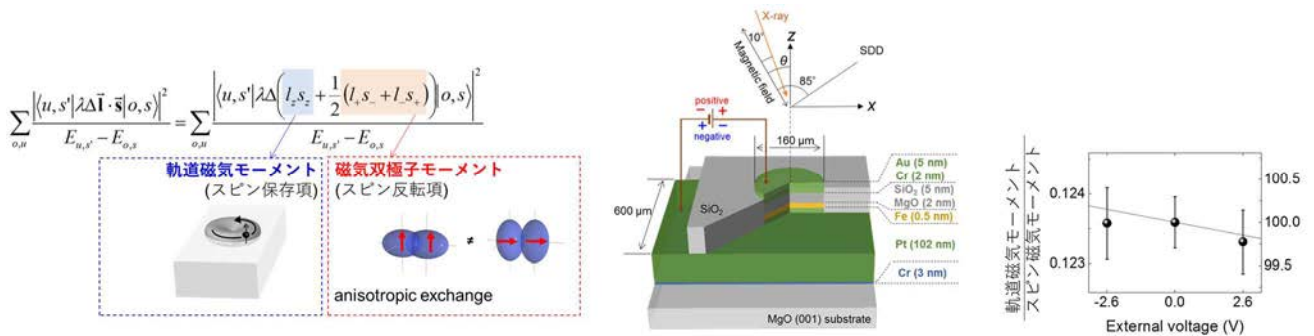


図 1 (a) 電圧磁気異方性変化の機構 (b) XMCD 測定系 (c) Fe/MgO 系の軌道磁気モーメント変化

2. スピン波のバイアス電圧依存性測定による対称的・反対称的交換相互作用の評価

Fe(20nm)/MgO(5nm)界面に Pt 及び Ir を挿入した多層膜構造を有するスピン波分光用のデバイスを作製評価した(図 2(a)参照)。伝搬スピン波共鳴周波数の外部電圧依存特性及びその伝搬方向依存特性から、Fe/MgO 界面における垂直磁気異方性、垂直磁気異方性の電圧効果、ジャロシンスキー守谷相互作用(DMI)の電圧効果を精査した。結果として Pt 挿入は Ir 挿入よりも効果が大きいことを見出した。また Pt 挿入層の膜厚依存特性から、Pt-0.2nm(1 原子層相当)付近で電圧効果が最大になることを見出した。

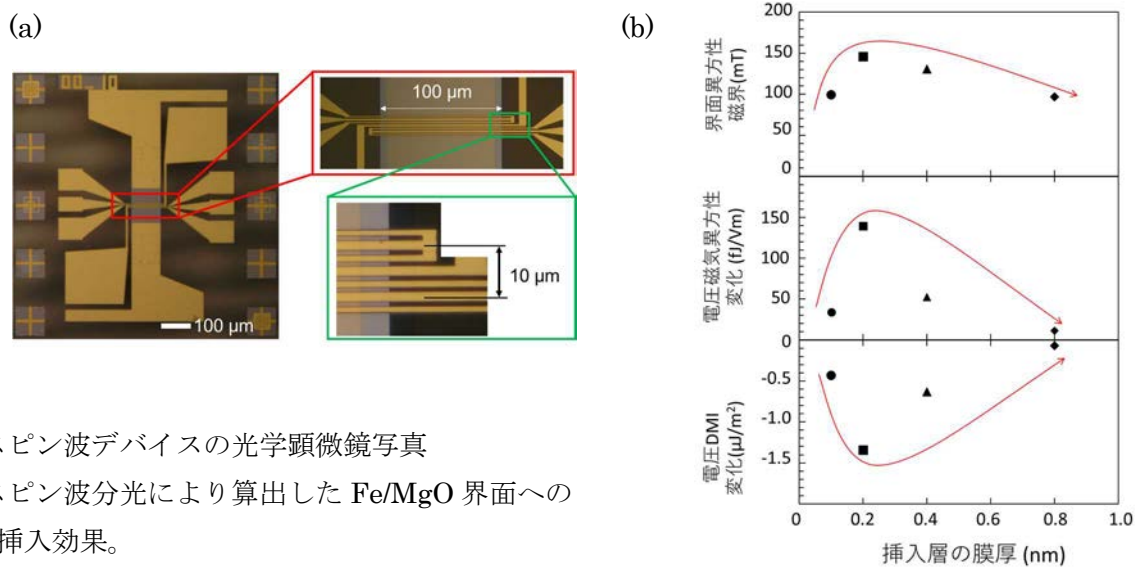


図 2 (a) スピン波デバイスの光学顕微鏡写真 (b) スピン波分光により算出した Fe/MgO 界面への Pt 層挿入効果。

ジャロシンスキー・守谷相互作用の電圧制御 (VCDMI) を利用した磁化反転の実現に向けて、素子作成および磁気測定評価を今年度から開始した。本実験には微小三角形の磁性素子が必要となるため、Ta|Pt|CoFeB|MgO|SiO₂ における微細加工条件を調べた。また、磁化過程の測定のために異常ホール電圧を測定する測定系を立ち上げた。

2-3 新たな課題など

なし

3. アウトリーチ活動報告

なし