

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 28 年度

研究開発課題名：

電圧効果新材料開発（側壁成膜を含む）

研究開発機関名：

国立大学法人東北大学 金属材料研究所

研究開発責任者

高梨 弘毅

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

「電圧トルク MRAM」の原理を実現するための物質創製として、大きな電圧効果が得られ、且つ素子の 3 端子化まで対応可能な材料の開発に取り組む。特に、 $L1_0$ 型の規則合金材料に開発の力点を置くことで、 $L1_0$ 型規則合金の持つ高い磁気異方性を利用し、ナノサイズでの磁化の高熱安定性を担保する。これは、素子のナノ化など最終素子構造へ研究を展開させる際に重要となる特性である。そこで、 $L1_0$ 型規則合金という材料群において磁気異方性あるいはスピン軌道相互作用と電圧効果との相関を調べる。当該年度では、 $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x$ 規則合金の薄膜試料を作製し、それらの磁気特性に対する電圧効果について明らかにすることを目的とする。

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

超高真空対応マグネトロンスパッタ装置、電子線蒸着装置および原子層蒸着装置を用いて、 $\text{MgO}(100)$ 単結晶基板上に薄膜試料を作製した。まず、 MgO 基板上に Pd 下地層をエピタキシャル成長させ、その後 Fe 、 Pt および Pd を同時蒸着させることにより 0.8 nm 厚の $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x$ 規則合金層を形成した。そして、電圧印加用の MgO 絶縁層および Al-O 絶縁層、さらに Au 保護層を成膜した。薄膜試料の構造は、X 線回折および反射高速電子線回折を用いて評価し、磁気特性の測定には超伝導量子干渉素子磁束計を用いた。磁気特性に対する電圧効果を評価するために、薄膜試料を素子へと微細加工した。電圧を印加しながら極カー効果を測定するセットアップを用い、各々の組成の試料について電圧印加が極カー効果曲線に与える影響を調べた。

2-2 成果

図 1 に、作製した素子と測定セットアップの模式図を示す。電界印加用の電極の一部に、レーザー光でアクセスするための領域を設けることで、電界印加による磁気特性の変化を極カー効果により評価できる測定系となっている。図 2 は、様々な合金組成の $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x$ 薄膜における極カー効果曲線の電圧印加による変化を示している。極カー効果曲線は第一象限の曲線のみを示しており、縦軸を規格化したカー楕円率 (η_k) とした。また、本測定では、正電圧が $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x/\text{MgO}$ 界面における電子数を増加させる電圧符号に対応し、一方、負電圧が $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x/\text{MgO}$ 界面の電子数を減少させる電圧符号となっている。 $\text{FePt}_{1-x}\text{Pd}_x$ の組成 x は、0 から 1 まで変化させた。 $x=0$ では、印加電圧 (V_{app}) が $\pm 1 \text{ V}$ の範囲において、極カー効果曲線に明瞭な違いが観測されている。極カー効果曲線の磁化過程が V_{app} に依存しており、 $V_{\text{app}} = +1 \text{ V}$ において垂直磁気異方性が低下し、 $V_{\text{app}} = -1 \text{ V}$ では垂直磁気異方性が増加することが明らかとなった。

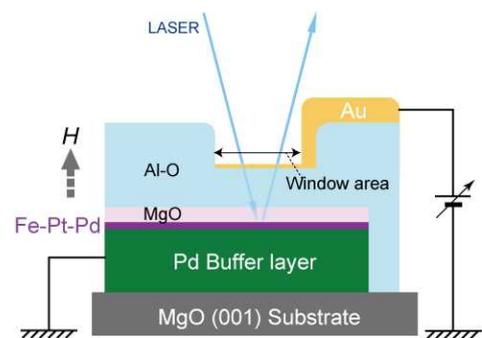


図 1 電圧効果測定用素子の模式図。

この印加電圧に依存した極カー効果曲線の変化は、 x の増加に伴い顕著ではなくなり、 $x = 0.5$ では $V_{\text{app}} = \pm 1.5 \text{ V}$ での極カー効果曲線に違いがほとんど見られないことがわかった。

この極カー効果測定から得られた電圧による異方性エネルギー変化 ($\Delta\epsilon t / \Delta E$) の組成依存性を図3にまとめた。FePt合金のPtをPdによって置換するにつれて、異方性エネルギー変化が急激に小さくなっていることがわかる。当該研究では、FePt合金において $\Delta\epsilon t / \Delta E = -129 \text{ (fJ/Vm)}$ が得られた。以上の結果から、FePt_{1-x}Pd_x合金においては高い磁気異方性と大きな電界効果を両立する材料の候補として、FePt合金が有望であるという知見が得られた。

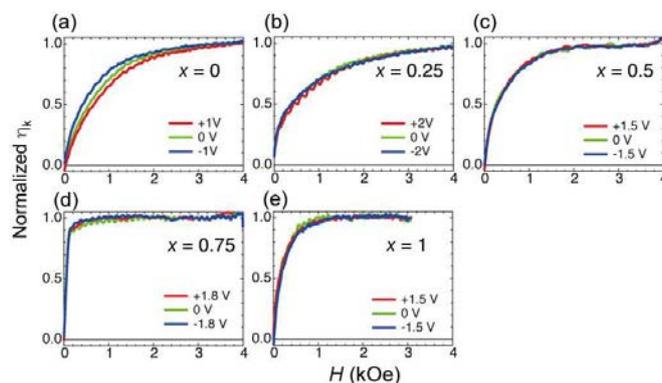


図2 FePt_{1-x}Pd_xにおける極カー効果曲線の電圧印加による変化。第一象限の極カー効果曲線のみを示しており、縦軸は規格化したカー楕円率 (η_k) である。

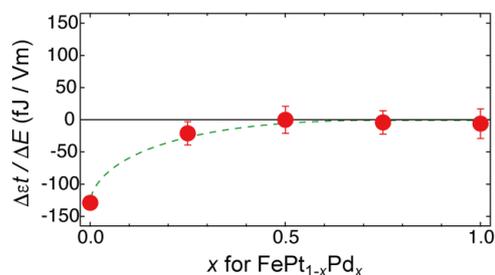


図3 電圧による異方性エネルギー変化 ($\Delta\epsilon t / \Delta E$) の FePt_{1-x}Pd_x組成依存性。

2-3 新たな課題など

当該年度では、FePt_{1-x}Pd_x規則合金にお

ける電界効果の組成依存性を明らかにすることに成功した。しかしながら、電界効果の磁気異方性に対する依存性などを十分に理解することはできておらず、今後の課題としてあげられる。

3. アウトリーチ活動報告

該当なし