

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 2 7 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成として、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、規則合金材料の開発の力点を置くことで、規則合金材料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、素子のナノ化や 3 端子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、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明らかにする。当該年度では、【研究項目(i)】大きな一軸磁気異方性を有する FePt の Pt を Pd で置換することで、磁気異方性の大きさを系統的に変化させた FePtPd 系規則合金の薄膜試料を作製し、さらに FePtPd 合金層の極薄化のための下地層を探索する。それらの知見をもとに、【研究項目(ii)】FePt および FePd 規則合金薄膜の磁気特性に対する電圧効果について明らかにする。

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

研究項目(i)に関して、超高真空対応マグネトロンスパッタ装置を用いて MgO(100)単結晶基板上に薄膜試料を作製した。Fe、Pt および Pd を同時蒸着させることにより FePt_{1-x}Pd_x 規則合金薄膜の作製を行い、構造および磁気特性を系統的に調べた。さらに、電圧効果評価用の極薄 FePtPd 合金層を作製するために、Pd 下地層を用いることの有効性について調べ、1nm 厚以下の FePt_{1-x}Pd_x 合金層を有する薄膜試料を作製した。この研究項目(i)で得られた知見をもとに、研究項目(ii)の電圧効果の実験を遂行した。昨年度に構築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、FePt および FePd の極カー効果曲線に電圧印加が与える影響を調べた。

2-2 成果

【研究項目(i)】図 1 は、層厚を 50 nm とした FePt_{1-x}Pd_x 合金薄膜における X 線回折パターンである。成膜温度を 500°C とした試料の結果である。x = 0、0.5 および 1 のいずれにおいても、(001)配向した薄膜が作製されており、加えて規則構造の形成を示す(001)および(003)超格子ピークが観測された。構造解析の結果から、FePtPd 合金層を MgO(001)基板上にエピタキシャル成長でき、高温で成膜することにより規則化を促進できることが明らかとなった。これらの薄膜試料における磁化曲線を測定したところ、x = 0、0.5 および 1 のいずれの試料も垂直磁気異方性を有し、垂直磁化を示した。しかしながら、x の増加に伴って膜面内方向の磁化曲線の飽和磁場が低下し、FePd は FePt と比較して磁気異方性が小さいことが確認された。

上記した構造および磁気特性の知見をもとに、電圧効果の評価に向けた FePt_{1-x}Pd_x 合金層厚の極薄化を行った。極薄化を行うためには、平坦な下地層を用いることが重要となる。そこで、下地層の平坦性を改善するために、当該年

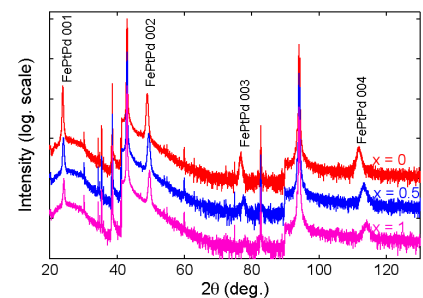


図 1 FePt_{1-x}Pd_x 合金薄膜における X 線回折パターン。

度では Pd 下地層に着目した。図 2 に、Pd 下地層を有する電圧効果評価用 FePt 薄膜における断面の透過型電子顕微鏡(TEM)像を示す。薄膜の積層構造は MgO 基板 // Fe (2 nm) / Pd (40 nm) / FePt (0.8 nm) / MgO (5 nm) / Al-O (7 nm) である。ここで、MgO 層は電子線蒸着、Al-O 層は原子層積層法を用いて形成した。断面 TEM 観察より、Pd を用いることで平坦な界面を有する下地層を形成することに成功しており、下地層の平坦性を反映して、電圧印加用の MgO および Al-O 絶縁障壁層も平坦かつ連続的な層が形成されていることが明らかとなった。

【研究項目(ii)】上記の研究項目(i)で作製した 0.8 nm 厚の FePt 薄膜試料において電圧効果を調べた。図 3 に印加電圧 (V_{app}) を ± 1 V として測定した極カー効果曲線を示す。ここで、カー回転角の値を飽和値で規格化した。正電圧は FePt/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、負電圧は FePt/MgO 界面の電子数を減少させる電圧符号とした。図 3 より、極カー効果曲線の磁化過程が V_{app} に依存していることがわかる。本試料では、 $V_{app} = 1$ V において垂直磁気異方性が低下し、 $V_{app} = -1$ 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。さらに、電圧による異方性エネルギー変化を定量的に見積もったところ、本 FePt 薄膜試料において 139 fJ/(Vm) の値が得られた。この結果は、FePt 薄膜では FeCo 系で報告されている値よりも大きな電圧効果が得られることを示唆している。

同様の電圧効果の測定を 1nm 厚の FePd 薄膜に対して行ったところ、電圧印加による保磁力の変化が観測された。電圧効果の極性は FePt 薄膜と逆であり、電子数を増加させる保磁力が増加し、電子数を減少させると保磁力が低下した。得られた保磁力の変化量は $V_{app} = \pm 2$ V の範囲で数 Oe 程度であり、FePt 薄膜の電圧効果と比較した場合、FePd 規則合金は電圧効果の大きさが充分でないことが明らかとなった。FePt 薄膜における電圧効果の符号については、バッファー層を Au から Pd に変更することで、異方性エネルギーの増減に対する電圧符号が反転し、電界液を用いた実験 (Science 315, 349 (2007)) と同じ符号となった。この符号が変化した原因については、未だ明らかになっていない。

2-3 新たな課題など

当該年度では、FePt 薄膜および FePd 薄膜における電圧効果の観測に成功したが、電圧効果の組成依存性や規則度依存性については未だ十分に調べられていない。来年度は、組成や成膜温度を変化させた試料を測定対象とし系統的な実験を行うことで、電圧効果用材料の開発指針を明確にする必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

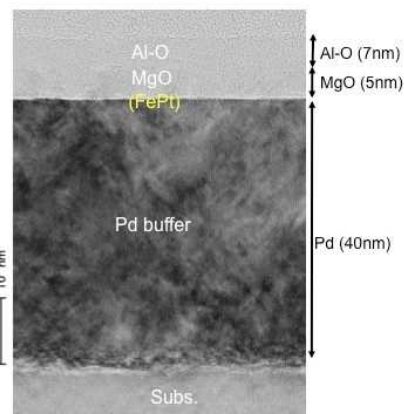


図 2 極薄 FePt 層と Pd 下地層を有する薄膜における断面 TEM 像。

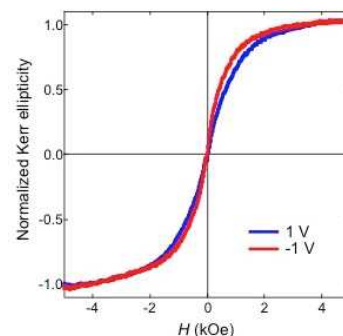


図 3 0.8 nm 厚の FePt 層に対し $V_{app} = \pm 1$ V を印加して測定した極カー効果曲線。

該当なし

