

平成 27 年 3 月 31 日

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 26 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：

東北大学 金属材料研究所

研究開発責任者

高梨 弘毅

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、規則合金材料に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。最終素子構造の一つと位置づけられる「垂直磁化トンネル接合とサイドゲート」という 3 端子化を視野に入れ、当該年度ではまず、磁化方向と電圧印加用ゲートの相対配置が同じとなる「膜面内磁化」と「トップゲート」の構造において電圧効果を調べる。具体的な研究項目として、(i)膜面内に一軸磁気異方性を有する極薄 FePt 薄膜の作製、および(ii)その磁気特性に電圧印加が与える影響の評価を行う。加えて、(iii)FePt 薄膜に第三元素を添加することで、磁気異方性やスピン軌道相互作用の大きさを系統的に変化させた薄膜試料の作製について検討する。

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、面内結晶構造に二回対称性を有する MgO(110)単結晶基板上に Fe および Au 下地層上、さらに FePt 層を成膜し、超伝導量子干渉素子磁束計により磁気特性の評価を行った。並行して、研究項目(ii)を遂行するための準備として、マイクロサイズのレーザースポットを利用できる磁気光学カー効果 (MOKE) 装置において、電圧を印加しながら縦カー効果を測定するためのセットアップを構築した。そして、上記の薄膜試料および測定系を用いることで、面内磁化 FePt 薄膜に電圧印加が与える影響について評価した。また、研究項目(iii)について、超高真空対応スパッタ装置を用いて Fe、Pt および Pd を同時蒸着させることにより 3 元系規則合金の作製を行い、その構造および磁気特性を系統的に調べた。

2-2 成果

研究項目(i)：図 1 は、膜面内[001]方向および膜面内[1-10]方向に磁場を印加して測定した 1nm 厚 FePt 層の磁化曲線である。本試料では、膜の連続形態を保つために FePt 層を室温で成膜しており、そのため温度による規則化は促進されていないと推察される。しかしながら、MgO(110)結晶面の面内二回対称性を反映して、膜面内に一軸磁気異方性を有する FePt 薄膜を作製できることが確認された。

研究項目(ii)：研究項目(i)で作製した薄膜試料を用い、電圧を印加しながら MOKE により磁気特性を評価するための素子 (図 2) を作製した。レーザー光を取り入れて MOKE 効果を測定可能とする Window 領域を有する素子構造となっている。この素子に面内磁場を加え、電圧印加下での縦カー効果曲線を測定した結果を

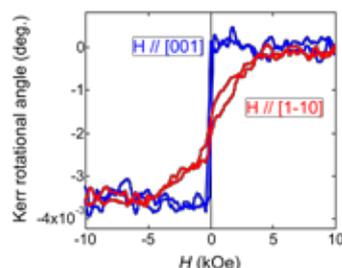


図 1 MgO(110)基板上に作製した 1nm 厚の FePt 薄膜における磁化曲線。青が膜面内[001]方向、赤が膜面内[1-10]方向に磁場を印加して測定した結果である。

図 3 に示す。30 回測定を繰り返した平均の結果であり、 ± 10 V の電圧変化により、およそ 3 Oe の保磁力変化の観測に成功した。この結果は、電圧により面内磁化膜の保磁力が制御可能であることを示唆する成果である。

研究項目(iii)： MgO(001)単結晶基板上に、Pt と Pd の組成比を変化させた FePtPd 合金薄膜を成長させた。本研究では、 $\text{Fe}_{50}(\text{Pt}_{1-x}\text{Pd}_x)_{50}$ の組成を $0 \leq x \leq 1$ の範囲で変化させ、成長温度を 350°C あるいは 500°C とした。また、膜厚は 50 nm とした。構造解析の結果、いずれの薄膜試料も MgO(001)基板上へのエピタキシャル成長および規則構造の形成が確認された。さらに、 500°C で成長した全ての試料において、垂直磁気異方性が発現した。一軸磁気異方性の大きさは、Pd 濃度 x が増加するにつれて低下した。これは、Pt の方が Pd と比較してスピン軌道相互作用が大きいことに起因するものと考えられる。一方、 350°C で成長した試料では、 x の増加により磁気異方性が大きくなる傾向が見られた。これは、FePd 合金は 350°C の低い成長温度でも規則化が促進したためと考えられる。以上の結果より、FePtPd 合金の組成および成長温度を変化させることにより、磁気異方性とスピン軌道相互作用の大きさを独立に制御できる可能性が示された。

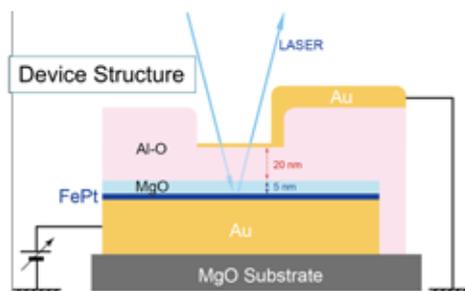


図 2 電圧を印加しながら MOKE により磁気特性を評価するための 1nm 厚 FePt 層を有する素子構造の模式図。

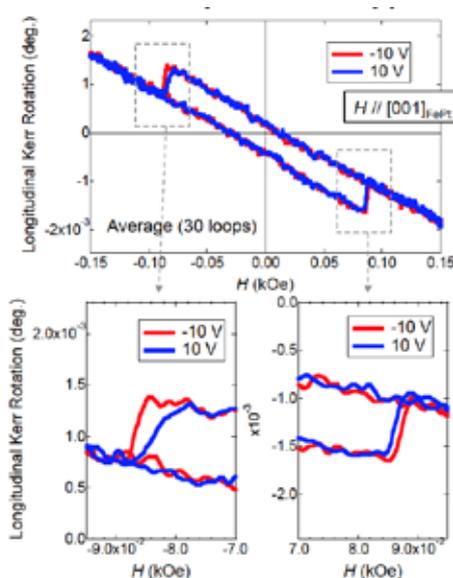


図 3 ± 10 V の電圧印加下で測定した縦力-効果曲線および保磁力近傍の拡大図。図 2 に示した素子を用いて測定した。

2-3 新たな課題など

当該年度の研究により、FePt 面内磁化膜の保磁力を電圧によって制御できる可能性が示されたが、その変化量は数 Oe 程度と非常に小さく、応用上、効果の増強が不可欠であることがあらためて認識された。FePt 層厚を低下させることが効果の増強に有効であると考えられる。また、観測された電界効果の起源についても未解明であり、垂直磁化系の試料と比較するなど系統的な実験が必要と考えている。

3 . アウトリーチ活動報告

該当なし