

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 2 6 年 度

研究開発課題名：

電圧トルク素子のダイナミクス・新材料・微細加工技術の開発（超低ダメー

ジ・エッチング装置導入を含む）

研究開発機関名：

独立行政法人産業技術総合研究所

研究開発責任者

野崎隆行

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

電圧効果ダイナミクスの解明と高性能化に関しては、磁気抵抗効果を介した強磁性共鳴測定を利用した電圧トルクの精密な定量評価技術を確認する。電圧効果新材料開発に関しては、Fe 基合金/MgO 積層を基本として下地材料を含む構造・界面制御による電圧効果の向上指針を検討する。電圧素子微細加工技術開発に関しては、素子側壁の構造分析、電磁気的特性の評価を通して既存の加工プロセスにおける問題点を明らかにする。

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

電圧効果ダイナミクスの解明と高性能化に関しては、Ta, W, Ir の異なるキャップ層を有する FeB/MgO 積層を上部電極フリー層とした電圧駆動型垂直磁化トンネル磁気抵抗素子の開発に着手した。アニール温度をパラメータとして、電圧誘起強磁性共鳴法による垂直磁気異方性および電圧効果の定量評価を行った。

電圧効果材料開発に関しては、現状の基本構造である下地層/超薄膜 3d 遷移金属磁性層/MgO における電圧効果の限界を見極めることを1つの目標として、特に下地層材料依存性を網羅的に調査し、垂直磁気異方性、電圧効果への影響を明らかにした。

電圧素子微細加工技術開発に関しては、既存の加工プロセスにおける問題点を明らかにするために、微細加工により作製した MgO トンネルバリアを有する垂直磁化型強磁性トンネル接合の断面構造の観察をおこなった。併せて、ミリング条件を少し変えるなどして、形状に及ぼす影響を調査した。また、超低ダメージエッチング装置の導入に関しては、装置仕様を決定し、調達手続きをおこなった。3月末に入札により業者が決定した。

2-2 成果

電圧効果ダイナミクスの解明と高性能化に関しては垂直磁化トンネル磁気抵抗素子における電圧誘起ダイナミック磁化反転のエラーレートの評価に重要なパラメータとして、まずは素子の垂直磁気異方性および電圧効果を、電圧誘起強磁性共鳴法を用いて評価した。Ta, W, Ir の異なるキャップ層を有する FeB/MgO 積層において評価したところ、Ta, Ir キャップの場合はアニール温度上昇に対して垂直磁気異方性が単調に減少したが、W キャップの場合は図1に示すように高アニール処理下においても比較的大きな垂直磁気異方性が維持され、かつ電圧効果の減少も見られなかった。これは、Ta, Ir に対して W は加

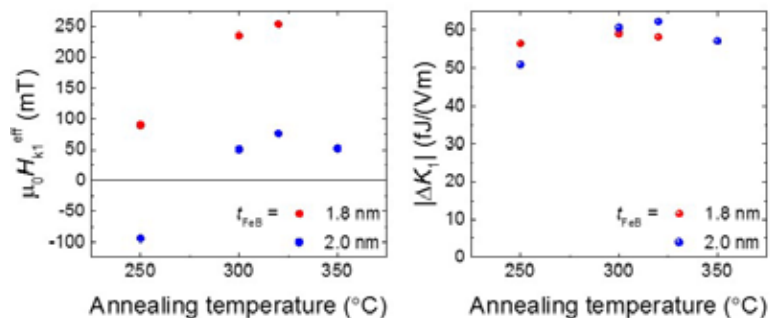


図1 W キャップ層を有する FeB/MgO 接合における (a)垂直磁気異方性及び(b)電圧効果のアニール温度依存性

熱処理に対する CoFeB 層へ拡散が少ないためと考えられる。

電圧効果材料開発に関しては、電圧駆動層用下地材料の探索に取り組んだ。用いた基本構造は Ta/下地材料 X/CoFeB(0.88 nm)/MgO(2.5 nm)/CoFeB(5 nm)/Ta/Ru cap であり、スパッタ法により成膜した。下地材料 X としては、Ag、Ir、CuN、Zr、Nb、W、Pt、Pd、Ta を検討した。図 2 に(a)垂直磁気異方性の指標である飽和磁界(正が垂直磁化膜)、および(b)電圧効果の傾きのアニール温度依存性を示す。いずれもトンネル磁気抵抗測定と VSM による磁化測定評価から算出した。今回対象とした材料の中では 300 °C 以下の Ir が最大の垂直磁気異方性を示し、界面磁気異方性で 1.9 mJ/m² を達成した。電圧効果に関しても最大で 80 fJ/Vm が得られたが、残念ながら熱処理耐性が低く、300 °C 以上では急激な劣化が見られた。一方、注目すべき特性が得られたのは先のキャップ材料の検討と同様に W バッファーであり、400 °C 以上の高温処理下まで異方性の増大と、比較的大きい 50 fJ/Vm 程度電圧効果が維持されることが分かった。飽和磁化、TMR 比等も含めた評価により、熱処理下での下地材料の拡散、磁性層とのミキシングが電圧効果の劣化にも強く影響していることが示唆された。以上の結果より、CoFeB/MgO 界面で生じる電圧効果であっても W のような拡散の生じにくい下地材料の選択が非常に重要であることが明らかとなった。

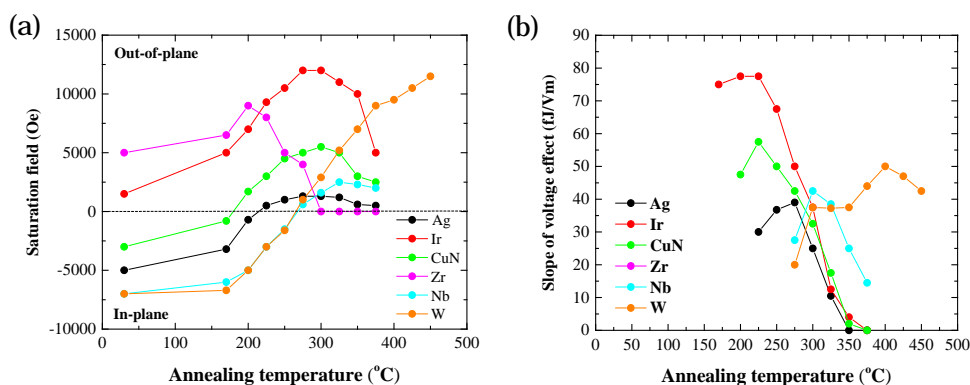


図 2 (a)飽和磁界、および(b)電圧効果の下地材料、およびアニール処理温度依存性

電圧素子微細加工技術開発に関しては、既存の微細加工プロセスの問題点を把握することを目的に実験をおこなった。素子には MgO トンネルバリアを有する垂直磁化型強磁性トンネル接合を用いた。微細加工プロセスは、下部電極形成(光リソグラフィー、Ar イオンミリング、SiO₂ 薄膜(150 nm)スパッタ、リフトオフ)、MTJ セル形成(電子線リソグラフィー、Ar イオンミリング、SiO₂ 薄膜(45 nm)スパッタ、リフトオフ)、上部電極形成(金属電極薄膜スパッタ、光リソグラフィー、Ar イオンミリング、SiO₂ 薄膜(100 nm)スパッタ、リフトオフ)の手順で行った。電子線リソグラフィーによって規定される素子形状の設計は、直径 50 nm の円形とした。Ar イオンミリングの入射角度を主に垂直から 15 度で作製した。抵抗値は約 70 Ω、磁気抵抗(MR)比は約 50%であった。まず、MR 曲線は角形の良いヒステリシスを示し良好であった。この素子の断面形状を透過型電子顕微鏡を用いて行ったところ、素子上部は設計とほぼ同じサイズであったが、MgO トンネルバリア付近では設計より大きくかつ側壁が傾斜していることがわかった。素子端部では MgO および磁性薄膜の像が不明瞭になっており、酸化、エッチングによるダメージがあると考えられる。Ar イオンミリングの入射角度をより傾けたエッチングを取り入れ

たところ。設計値よりも実際の素子サイズが小さくなり、約 30 nm にまで微細化が可能であることがわかった。

3 . アウトリーチ活動報告

特に無し