

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：

電圧駆動 MRAM のための新材料素子の開発

研究開発機関名：

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

研究開発責任者

水上 成美

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

H28年度のマイルストーンである「電圧効果 500 fJ/Vm 以上の磁気トンネル接合 (MTJ) 素子の開発」、「面内磁化 MTJ 素子において、Resistance・Area Product (RA) が 10~100 $\Omega \mu\text{m}^2$ でかつ磁気抵抗比 (MR) が 300%以上の新材料 MTJ 素子の開発」を目標とし、次の3つの計画を実施した。【計画①】マンガン系合金極薄膜素子の高度化と新しい電界効果磁性材料素子の開発、【計画②】光を用いた一方向・双方向電界効果ダイナミクス計測、【計画③】電界効果バリア新材料の開発。

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

【計画①】

○垂直磁化マンガン系極薄膜 MTJ 素子の高度化 H27年度までに得られた Mn 系垂直磁化 MTJ 素子の成果をベースに、TMR 比、電圧効果、垂直磁気異方性の増大を狙い、界面元素と界面構造の高度化を行った。界面元素を制御することで、TMR 比を約 20% (平行・反平行換算)、垂直磁気異方性を約 1 mJ/m² と、界面元素を制御しない場合の数倍程度まで増大することに成功した (図 1)。界面構造を透過電子顕微鏡等によって詳細に解析し、界面元素がアニール後も拡散せず、界面に存在していることが分かった。これらの結果について、理論グループと共同で第一原理計算による理論解析を行い、その物理を大まかに理解できることが分かった (知財・論文準備中)。

○コバルトをベースとする新規化合物素子の検討 高電界効果と高 TMR 比を両立する新磁性材料の探索を目的に、面内磁化ではあるが、半金属的 (スピンギャップレス) ハーフメタル磁性体とされる Co 系等比ホイスラー単結晶薄膜と MTJ 素子、極薄膜における界面異方性の評価を行った。30 nm 程度の規則度の高い単結晶薄膜を作製することに成功した。また、特異な電子状態に伴う低ダンピング特性を得た。しかし、TMR 比は 30-40%であり、極薄膜化した際に垂直磁化を示す試料はまだ得られていない (論文準備中)。

【計画②】

○一方向電界効果ダイナミクス計測の高度化 H27年度まで構築した光学系に申請の小型ベクトル電磁石を導入し、磁場強度・方向を可変できる時間分解磁気光学カー効果測定顕微装置を開発した。これを用いて、Ta/CoFeB/MgO 薄膜の垂直磁気異方性とダンピング定数に及ぼす電界効果を計測することに成功した。電界効果の大きさは TMR カーブから評価した結果と一致することが分かった。他方、ダンピング定数の電界効果は誤算の範囲で見られなかった (論文発表済)。

○双方向電界効果ダイナミクス計測の検討 双方向電界効果スイッチングで重要視される反対称交換相互作用とその電界効果はスピン波伝搬を評価することで見積もることができる。上に述べた装置を用

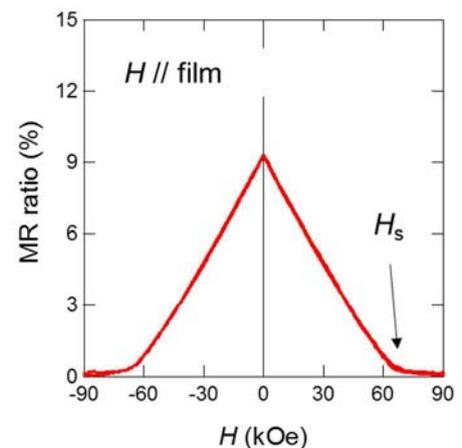


図 1 界面を制御した 1 nm の膜厚の Mn 系合金-MTJ における磁場を面内に印加した MR 曲線。60 kOe を超える大きな垂直磁気異方性磁場を示している。

いて、他機関で作製された試料を評価したが、光励起されるスピン波の波数領域がまだ小さく、反対称交換相互作用を評価するに至っていない。

【計画③】

○遷移金属酸化物をベースとする材料の検討 新バリア材料開発の知見を得るため、【計画①】で開発した素子界面の酸化の及ぼす影響について調べた。TMR 比のバイアス電圧依存性や温度依存性が従来の素子とは異なるとともに、大きな垂直磁気異方性と電界効果を示す試料が得られた。

2-2 成果

【計画①】と【計画③】で実施した研究開発から、H28 年度のマイルストーンである「電圧効果 500 fJ/Vm 以上の磁気トンネル接合(MTJ)素子」示す素子は得られた。しかし、後述の課題がある(図 2)。また、H30 年度のマイルストーンである「垂直磁気異方性 $>2 \text{ mJ/m}^2$ と電圧効果 $>1500 \text{ fJ/Vm}$ を両立する MTJ 素子の開発」の道筋は得られた(図 2)。【計画②】では、 μm サイズの磁性体/絶縁体/非磁性電極接合で、垂直磁気異方性やダンピング定数の電界効果の評価できる装置の開発を達成した。

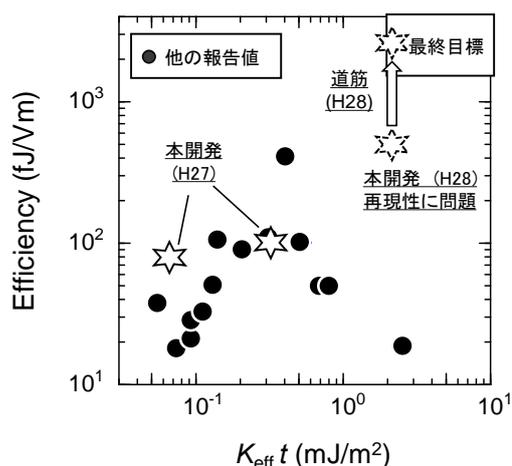


図 2 電界効果と垂直磁気異方性の報告値、ならびに本機関の研究開発成果。

2-3 新たな課題など

【計画①】と【計画③】に関して 大きな電界効果を示す素子を得ることはできたが、その再現性に問題がある。また、Mn 系 MTJ 素子の特性は、界面状態によって大きく変化することが明らかになりつつある。これらを解決するためには、磁性体材料と絶縁体材料を各々別々に開発するというよりは、求められる機能性を発現する特殊なマンガン系ヘテロ界面構造の作製と、精密な構造解析ならびに理論的解析が必要である。そこで、次年度では【計画①】と【計画③】を統合した研究開発を行い、他機関と連携した研究開発を進める。他方、H28 年度のマイルストーンである「面内磁化 MTJ 素子において、Resistance \cdot Area Product (RA) が $10 \sim 100 \Omega \mu\text{m}^2$ かつ磁気抵抗比 (MR) が 300% 以上の新材料 MTJ 素子の開発」を目指したものの、進捗は芳しくない。そこで次年度以降は、本機関では大きな磁気異方性と電界効果を示す素子開発に集中する。

【計画②】に関して 当機関ならびに他機関で開発の進んでいる素子の磁気異方性磁場がすでに 2 T を超えており、開発した光学装置の印加磁場が相対的に弱いいため、感度が不足する可能性がある。今後、実際の素子評価を進め、必要に応じて装置の改良を行う。また、反対称相互作用の評価を達成するため、光学系や試料を工夫することで対応する。

3. アウトリーチ活動報告

MnGa ナノ薄膜を用いた新素子の研究開発成果を広く社会に伝えるために、プレスリリースを行った。成果は日経産業新聞に取り上げられた。