

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 29 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 材料科学高等研究所

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

電圧効果 500 fJ/Vm 以上を示す磁気トンネル接合(MTJ)素子の作製再現性を高めること、さらにそれをベースとして垂直磁気異方性 $>1 \text{ mJ/m}^2$ と電圧効果 $>1000 \text{ fJ/Vm}$ を両立する MTJ 素子の開発を目標とした。その際 TMR 比については 50%以上を目標とした。この目標を達成するため、巨大電圧効果を示すマンガン系磁気トンネル接合素子の開発、ならびに光を用いた一方向・双方向電圧効果ダイナミクス計測、の二つの研究計画を推進した。

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

巨大電圧効果を示すマンガン系磁気トンネル接合素子の開発

H28 年度に目標とする巨大な電圧効果を示す磁気トンネル接合(MTJ)素子を開発する知見が得られたものの、再現性に乏しく、H29 年度はこれを解決するための研究開発を行った。様々な試行錯誤の結果、CoGa 規則合金下地およびマンガン系合金、および MgO バリアを含むトンネル接合で、非常に大きな磁気異方性磁場を示す構造を開発することができた。そのデータの一例を図 1 (a)に示す。素子接合はバリア下部に上述のマンガン系ナノ構造を含み、バリア上部には面内磁化 CoFeB 電極層を有する。この素子は負のトンネル磁気抵抗 (TMR) 比を示し、面直方向に磁場を印加した場合にはマンガン系ナノ構造の垂直磁化を反映した磁化スイッチングが観測されている。他方、膜面内に磁場を印加した際には、素子抵抗が 9 T でも飽和せず非常に大きな垂直磁気異方性が発現していることを示している。この素子に電圧を印加した際の電圧効果の例を図 1 (b)に示す。負の電圧印加とともに磁化は飽和しやすくなり、電圧によって垂直磁気異方性が低下していることが見て取れる。ゼロバイアス電圧付近の TMR 比は平行・反平行換算で最大約-20%であった。また、下部マンガン系磁性体の飽和磁化は 100 kA/m 未満と極端に小さく、垂直磁気異方性定数は 1 MJ/m^3 未満であった。素子を多数作製・評価し、値のばらつきは大きいものの、負の TMR 比・高垂直磁気異方性磁場とその電圧効果といった特性は繰り返し再現することができた。

光を用いた一方向・双方向電界効果ダイナミクス計測

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。顕微の時間分解磁気光学カー効果装置を用いて、反対称交換相互

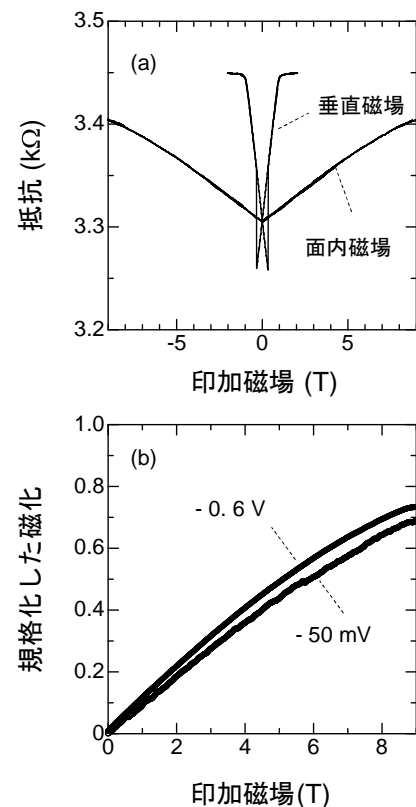


図1 (a) H28年度の成果をもとにH29年度に開発した素子の TMR カーブの一例。面直磁場および面内磁場を印加した際のデータ。(b) 面内に磁場を印加して得られた TMR カーブから求めた規格化した磁化曲線とその電圧効果。

作用を有する試料を評価し、非相反なスピン波の分散関係を可視化することに成功したが、可視化できる波数領域が小さく、定量的な評価にはまだ至っていない。

2-2 成果

H28 年度に電圧効果 500 fJ/Vm 以上を示す素子の知見は得られたものの再現性に課題があった。H29 年度にはこの課題解決に取り組み、ばらつきは大きいものの再現性のある素子作製と特性が得られた。図 3 に、まだ予備的な数値の見積もりではあるが、各々の素子の電圧効果を垂直磁気異方性定数×膜厚の値で整理したデータを示す。データが示すように、観測された電圧効果は垂直磁気異方性の大きさと正の相関を示しており、最終目標である電圧 MRAM に応用できる大きな垂直磁気異方性と電圧効果を得るための指針を示す成果が得られたといえる。

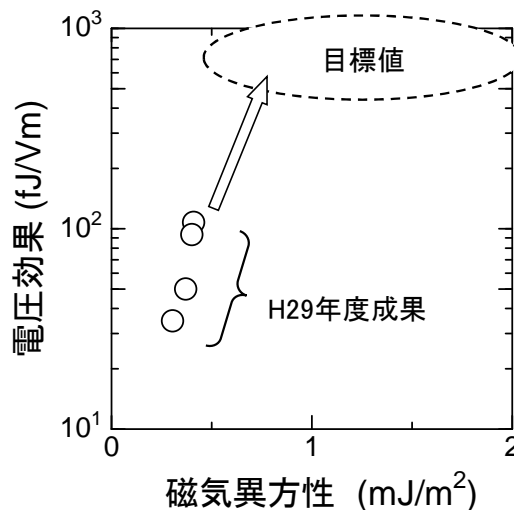


図 2 H29 年度に作製に成功した各々の素子についての電界効果の大きさを、磁気異方性で整理した結果。

2-3 新たな課題など

前述のように負の TMR 比、垂直磁気異方性とその電圧効果を再現するマンガン系素子作製に関する再現性の課題は解決できた。また、電圧効果と垂直磁気異方性の関係についての知見を得ることができた。しかしながら、電圧効果の大きさならびに垂直磁気異方性と膜厚の積、TMR 比は、まだ電圧 MRAM に応用できる大きさに至っていない。加えて、開発した素子の垂直磁気異方性磁場は非常に大きく 9 T の磁場でも飽和していないため定量的な評価にも課題がある。更に、上述の特性を発現する界面ナノ構造の詳細は全く明らかではなく、ナノ構造の理解とその物理解明も課題である。これらいくつかの課題を解決し最終目標を達成するため、今後はこのマンガン系ナノ構造を含む素子の研究に集中する。具体的には、強磁場測定などで定量精度を向上するとともに、界面ナノ構造の極微細観察を通して物理を明らかにする。その知見をベースにさらに優れた特性を発現する素子の開発を実施する。

3. アウトリーチ活動報告

例えば、本計画に参画する研究員がテレビ番組に出演し、MRAM やマンガン系合金など本研究開発の意義やこれまでの当グループの研究開発の成果について説明した。また、本計画に参画する別の研究員は、高校生らにスピントロニクス基礎やメモリに関する事柄について紹介した。このように、本研究開発課題に関わる事柄をわかりやすく、広く社会に発信することができた。