

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：新規 MRAM 開発のための計算科学支援チーム

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

界面効果とスピンドYNAMICS

研究開発機関名：

国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究開発責任者

今村 裕志

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年度は電圧書き込みにおける磁気摩擦係数増大の起源を明らかにすることを目指す。電圧書き込みにおけるスピンドYNAMIXはLLG方程式と呼ばれる運動方程式で記述される。電圧印加の効果は界面の磁気異方性の電圧変化として取り入れる。LLG方程式では磁気摩擦係数は定数パラメータとして記述されており、その微視的な起源は考慮されていない。磁気摩擦係数増大の微視的な起源としては渦電流、スピン波散乱、他の磁性層との双極子相互作用、電圧印加による界面電子状態の変化などが考えられる。実際の電圧書き込み動作におけるそれらの寄与を理論的に評価し、実験で観測された磁気摩擦係数増大の微視的な起源を明らかにする。また、界面Dzyaloshinskii-Moriya相互作用の電圧変調を利用したMRAM電圧書き込みの実現可能性についても理論的に精査する。

実験グループはもとよりH28年度に新しく設立された「新規MRAM開発のための計算科学支援チーム」のメンバーと密接に連携をとりながら進めていく。またWER評価のための数値シミュレーションについても行う。

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

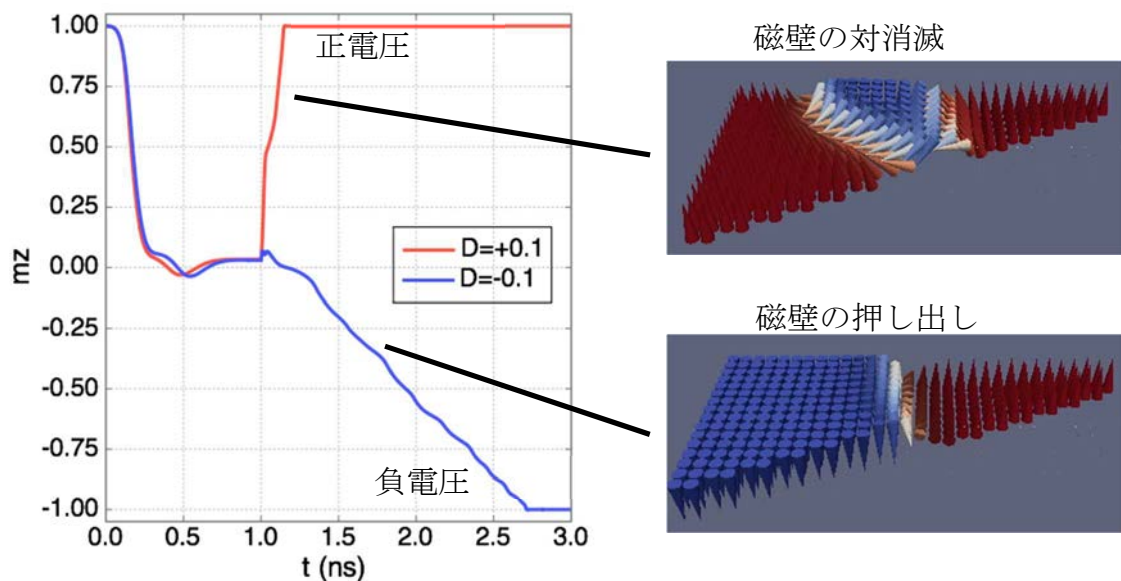
H28年度は、磁気摩擦係数増大の微視的な起源の解明と界面Dzyaloshinskii-Moriya相互作用(DMI)の電圧変調を利用したMRAM電圧書き込みの実現可能性の精査という2つのテーマについて研究開発を行った。特に新しい書き込み手法である界面DMIを利用した書き込み手法の研究開発に注力した。磁気摩擦係数増大の微視的な起源に関する研究では、有限温度でのLLG方程式やFokker-Planck方程式を解き書き込みエラー率(WER)を計算するシミュレーションプログラムの作成を行った。さらにシミュレーションで得られた膨大なデータを解析するツール群の作成を行い、研究開発の基盤を構築した。界面DMIを利用した書き込みに関しては、マイクロマグネティクスシミュレーションを駆使し、磁化反転のメカニズムの解明し、書き込みに必要な条件を明らかにした。

2-2 成果

まず、DMIを利用した書き込みを行うために必要な5つの条件を明らかにした。その条件とは、1. 不等辺三角形などの非対称な形状であること、2. 電圧の正負に対して対称に磁気異方性が変化すること、3. 電圧の正負に対して非対称にDMI係数が変化すること、4. 面内方向に外部磁場を印加すること、5. 磁気摩擦係数が大きいこと、の5つである。1番目の非対称な形状は磁化反転の際に生成される磁壁を消滅させるために必要な条件であり、対称性の良い形状だと電圧パルス印加後に磁壁をはさんで2つの磁区がある構造に緩和してしまい、書き込みに失敗してしまう。2番目と3番目の条件は、電圧の正負に応じた磁気構造を実現するために必須な条件であり、磁気異方性を制御することで磁化を面内に寝かせ、DMI係数を制御することで電圧の正負に応じた反転核の磁化の向きを実現する。4番目の面内方向の外部磁場はエネルギーの対称性をくずすために必要であり、面内磁場を印加しない場合には磁化の面直成

分の運動が電圧の正負に依存しなくなり、電圧の正負に応じた書き込みができなくなる。5番目の大きな磁気摩擦係数は、書き込み動作を高速に行うために必要な条件である。磁気摩擦係数が小さすぎると歳差主体の運動となってしまう、反転核の形成に時間がかかってしまう。

さらに、マイクロマグネティクスシミュレーションを駆使して、電圧書き込みに必要な形状やパラメータ、および磁化反転時のダイナミクスを詳細に調べた。下図に1ナノ秒の電圧パルス印加時の磁化反転の様子を示す。素子の形状は $32\text{ nm} \times 64\text{ nm} \times 2\text{ nm}$ の直角三角形であり、DMI 係数の大きさは最大で $\pm 0.1\text{ mJ/m}^2$ とした。シミュレーションでは温度を絶対零度と仮定した。電圧の正負で磁化方向の異なる面直磁化状態が実現されており、電圧パルスでの書き込みに成功していることが分かる。



図説：1ナノ秒の電圧パルス印加時の磁化面直成分の時間変化と反転途中の磁化の様子。赤線（青線）が正電圧（負電圧）パルスに対応する。

また、前年度に行った Cr_2O_3 に関する研究成果をまとめ、小田氏（福島高専）、木村氏（大阪大学）とともに論文発表を行った。

2-3 新たな課題など

室温を仮定して行ったシミュレーションでは、DMI を利用した書き込みのエラー率がかなり大きくなる傾向が見られている。室温での挙動を精査し、メモリとして実用化可能かどうか見極める必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

該当なし。