

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 9 年 度

研究開発課題名：

界面効果とスピンドYNAMIX

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

電圧駆動 MRAM とはトンネル磁気抵抗素子に電圧を印加することで電子スピンを反転させ情報の書込みを行う不揮発性磁気メモリである。これまで主流であった電流駆動から電圧駆動へと技術革新を行うことで、高速・低消費電荷・低消費電力な MRAM の実現が可能であると期待される。

電圧駆動 MRAM を実現させるためには書込みの高精度化が必要不可欠である。これまでの実験では  $10^{-3}$  台の書込みエラー率 (WER) が実現されているが、実用化には  $10^{-10}$  以下の WER が必要とされている。実験で観測された大きな WER が磁気摩擦係数の増大で説明可能なことは示されているが、その物理的な起源については明らかになっていない。そこでわれわれのグループでは界面効果を取り入れたスピンの運動方程式を解くことで、電圧書込みにおいて WER を支配する物理機構を理論的に解明し、 $10^{-10}$  以下の WER を実現にむけた高精度電圧書込み手法の理論研究を行う。

昨年度開発した Fokker-Planck 方程式に基づくシミュレーションプログラムを活用し、実験グループはもとより昨年度設立された「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関しては本プロジェクトで購入した並列計算機を用いて行う。

本年度の達成目標は、 $10^{-10}$  以下の WER を実現するための高精度電圧書込み手法の理論提案を行うことである。

## 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

研究開発は順調に進んでいる。Fokker-Planck 方程式を用いた WER 解析により、印加する電圧パルスのパルス幅の値に依存した最小の WER が存在することを示した。この解析から  $10^{-10}$  以下の WER を実現するために素子パラメータとパルス幅が満たすべき条件を決定することができる。また、実験で得られた WER の外部磁界・パルス幅依存性について解析を行い、強磁場下での WER の増大に対する理論的な説明を与えた。さらにこの WER の増大が電圧パルス形状を変化させることで避けられることも理論的に示した。

### 2-2 成果

図 1 に本年度の主な成果である熱耐性無限大の極限での WER とパルス幅の関係を示す。解析には昨年度開発した Fokker-Planck 方程式を用いた。図 1 の曲線は縦軸の WER を実現するパルス幅の上限値を示している。パルス幅は無次元化した特徴的な時間  $\tau$  で表されており、 $10^{-10}$  の WER を実現するパルス幅の上限値は 0.027 である。実際に産総研グループが行っている電圧駆動 MRAM の実験で用いられる材料のパラメータを用いると、Gilbert 減衰定数 ( $\alpha$ ) が 0.01 の場合にはこのパルス幅の上限値は 4.8ns となる。無次元化時間  $\tau$  は  $\alpha$  に比例しており、アルファを 0.1 と大きな値に仮定するとパルス幅の上限値は 0.48ns となる。これらのパルス幅は通常の実験で用いられるパルス幅と同程度である。以上の解析から従来の書き込み手法でも熱耐性の値を大きく取ることで  $10^{-10}$  以下の WER が実現可能であることがわかる。さらに WER の電圧パルス形状依存性についても解析を行い、

読み出しを負の電圧パルスで行うことによってWERの低減が可能であることも理論的に明らかにした。

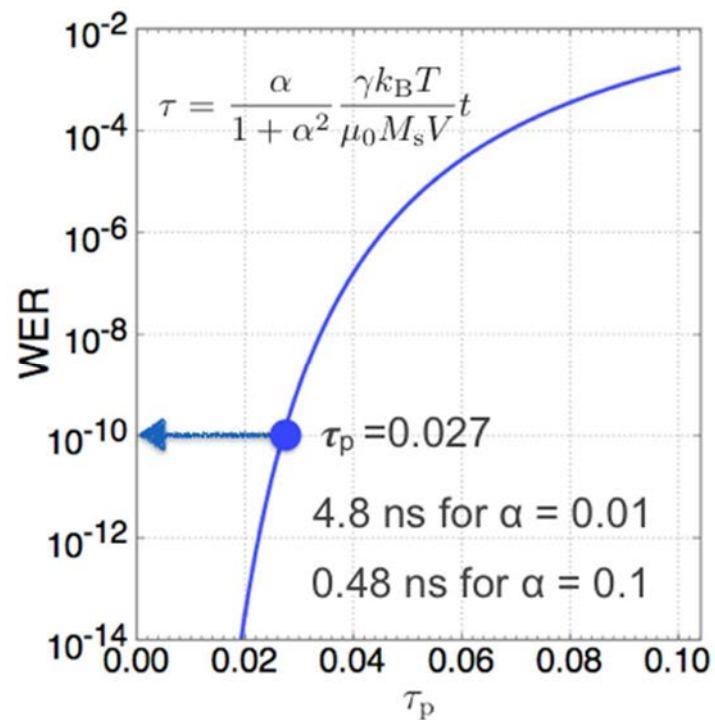


図1：熱耐性無限大の極限における書き込みエラー率(WER)のパルス幅( $\tau_p$ )依存性。

### 2-3 新たな課題など

本年度の研究によって、熱耐性が大きな極限では従来の電圧パルス書き込み手法でも  $10^{-10}$  以下のWERが実現可能であることが分かった。今後は必要な熱耐性の大きさの定量的な見積もりが必要である。また、シミュレーションからパルス形状を変化させることでWERの低減が可能であるという知見も得られている。来年度は、パルス形状によるWER変化のメカニズムを理論的に明らかにし、小さなWERを実現するパルス形状の理論設計を行う必要がある。

### 3. アウトリーチ活動報告

該当なし。