

情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

金井 駿

東北大学 電気通信研究所
准教授

不確定性スピントロニクスデバイス

研究成果の概要

(1) 研究実施内容

1. スピントロニクス確率ビットデバイスの動作原理の解明と高性能化:

1-3 外場耐性 s-MTJ の実証

1-3-(a) s-MTJ の外場応答を抑制する、自由層が人工反強磁性体(SAF)構造を持つ確率 MTJ を作製した。自由層がほぼ体積の同じ二層の強磁性体で構成された構造を用いることにより、ゼーマンエネルギーを打ち消すことで、容易軸方向及び困難軸方向の磁場、すなわち全方位の磁場に対して磁化の典型的遷移時間(τ)がよりロバストになったことを示した。特に、本素子が達成した外場耐性は、確率コンピューティングに於いて大きな市場となるエッジコンピューティングにおける、各端末への磁場攻撃に対して有効な解決策となることが期待される(原著論文 1)。

2. スピントロニクス確率ビットの時間平均応答の物理的因子の解明

2-1 Néel-Arrhenius 則を用いた時間平均応答の定式化

2-1-(a) 第一年次、確率ビットの STT に対する摂動項を、STT スイッチング、強磁性共鳴、磁化測定、ランダムテレグラフノイズ測定を組み合わせることにより明らかにする実験の手掛かりを得た。第二年次、得られた実験結果を「局所分岐理論解析」を取り入れることにより解釈することに成功した。局所分岐理論とは、ある運動方程式により支配される物体の時間発展方法の、運動方程式中のパラメータによる分類方法である。この理論により、超えるべきエネルギー障壁が有るパラメータに対してどのようにスケールするかを記述することが可能である。磁性体の確率的振る舞い、特に磁化の熱的反転に関わるエネルギー障壁が、この運動方程式の典型的な分類方法により解釈でき、かつスケーリング指数が分岐理論による分類と合致することが明らかになった。MTJ 素子において磁化を反転させるためのスピントランスファトルク(STT)によるスイッチング指数 n_I は、s-MTJ の入出力特性を決める重要な物理量である。世界初のスイッチング指数の実験的同定により、s-MTJ の入出力特性を詳細に決めることに成功した。加えて、こうした現象の新しい解釈方法により、物理現象を実証するためのプラットフォームとしての s-MTJ の新しい応用手法が期待されつつ有る。(原著論文 2)

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Kobayashi, K. Hayakawa, J. Igarashi, W. A. Borders, S. Kanai, H. Ohno and S. Fukami, "External-Field-Robust Stochastic Magnetic Tunnel Junctions Using a Free Layer with Synthetic Antiferromagnetic Coupling," *Physical Review Applied* **18**, 054085(1)-(9) (2022). doi:10.1103/PhysRevApplied.18.054085 (責任著者)
- 2) T. Funatsu, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Local bifurcation with spin-transfer torque in superparamagnetic tunnel junctions," *Nature Communications* **13**, 4079(1)-(8) (2022). doi:10.1038/s41467-022-31788-1 (責任著者)