

2021 年度 MERIT インターンシップ(国内) 報告書

MERIT 9 期生

新領域創成科学研究科 物質系専攻

中辻研究室 博士課程 1 年 上杉 良太

受入れ先: 産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター
スピンドバイスチーム

期間: 2021 年 5 月 1 日 ~ 2021 年 7 月 31 日

研究課題名: 積層磁性体薄膜の微細加工

インターンシップ内容

磁気トンネル接合(MTJ)を用いた磁気抵抗素子は、次世代の不揮発性磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)としての活用が進んでいる。MTJ の主な構成要素としては、磁化の向きを変えて”0”もしくは”1”の信号として読み書きを行うためのフリー(記録)層、常に同じ磁化の向きを保つピン(参照)層、そして、それらをトンネル接合にして抵抗の変化を増強するための絶縁層の 3 つである。MTJ が考案されて以降、ピン層の保磁力を強化するために非常に薄い重金属などによる交換相互作用を用いた層間反強磁性(SAF)層の利用や、絶縁層に MgO を用いることで磁性体のスピンの偏極電流をバリストックに伝えることで、ゼロ磁場での動作の安定性や磁気抵抗(MR)比を高めるなどの開発がなされており、実用化が進められている。今回のインターンシップでは、世界で初めて 100%超えの MR 比を実現する MgO トンネルバリアを用いた MTJ 素子の開発に成功した最高峰の微細加工施設があり、日本の MTJ 素子研究を先導する産業技術総合研究所の新原理コンピューティングセンターで、積層磁性体薄膜を微細加工することで作られる、MTJ 素子の作製とその評価について取り組んだ。

薄膜作製においては、自動制御プログラムを用いて下部電極が成膜されたテンプレート上に、ピン磁性層、と SAF 磁性層、トンネル層、フリー磁性層からなる多層膜の合成を行った。積層薄膜上に電子ビームリソグラフィーとドライエッチング装置を用いて直径 1 μm 以下のドットパターンを作製し、フォトリソグラフィー装置とドライエッチングを用いて下部電極の作製を行った。さらにその上に電極用の金を成膜し、同様にフォトリソグラフィーを用いて上部電極を作製した。

作製した MTJ 素子をオートプローバーにセットして、全素子の抵抗の測定を行い、トンネルバリアに由来する $\text{k}\Omega$ オーダーの素子をピックアップし、その I-V 特性と歩留まりの評価を行った。電圧を掃引しながら I-V 特性を測定したところ、ゼロ磁場中で抵抗値(電流値の傾き)が 2 値を取るヒス

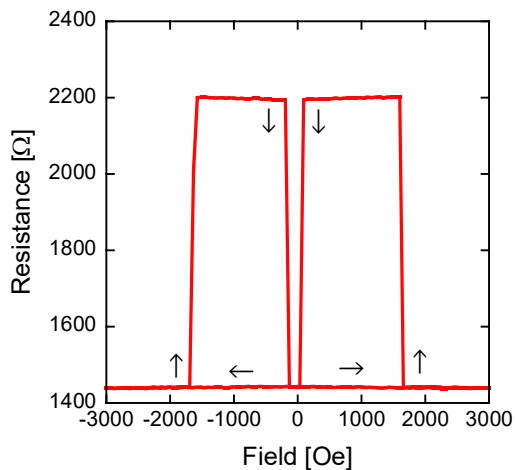


図 1 MTJ 素子の抵抗値の磁場掃引

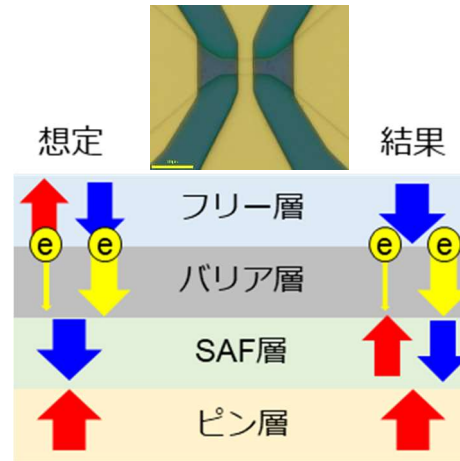


図 2 MTJ 素子の構造と動作原理

(赤と青が各層の磁化の向き、黄色が流れる電流)

テリシス形状を示すことが確認できた。また、この素子に対して面直方向に磁場を掃引して抵抗の測定を行ったところ、一般的に見られるヒステリシスと異なり、ゼロ磁場を通過する前に高抵抗状態が現れていることがわかった(図 1)。これらの結果から、ピン層は想定とは異なりフリー磁性層ではなく SAF 磁性層が先に反転していることが示唆された。今後は SAF 磁性層とピン層の交換相互作用を強め、フリー層を選択的に制御できる薄膜合成を行うことが求められる。

所感

薄膜の作製から微細加工を行う装置など、今まで触れてきたものに比べ大規模な装置を実際に使わせていただくことができ、貴重な経験になった。また、規模だけではなく、細やかな道具の取り扱い揃えやその管理の方法など、クリーンルームを使っていく上で重要な考え方を学ぶことができたと思う。合わせて、組織として研究を行うために”人依存性”を適切に排除する段取りがあり、大学とは異なる運用方針は大変印象的だった。

さらに測定においても、フレンジブルなトンネル接合素子を安全に測定するための方法や、測定プログラム作成のための確実な機器との接続から学ぶことで、確実な手順で行うことの重要性とその方針を理解することができ、これからの測定実験に活かしたいと思う。

謝辞

本インターンシップの受け入れと技術指導をしていただいた薬師寺様、福島様、豊田様をはじめとするスピンドバイスチームの皆様には大変お世話になりました。テーマの遂行に必要な技術だけではなく、方法が確立するまでの試行錯誤や関連した研究内容など、惜しみなく教えていただいたことに深く感謝しております。また、COVID-19 下のイレギュラーなスケジュールの中で対応していただいた産総研の事務担当の方々、貴重なマシンタイムを提供していただいたクリーンルームの共同利用の皆様に感謝しております。そして、インターンシップの機会を与えていただいた中辻先生、統合物質・情報国際卓越大学院の皆様には厚く御礼を申し上げます。