

日本—台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」 2022 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	水素化により制御されたスピンネットワークを利用した万能なニューロモルフィックシステム
研究課題名（英文）	Versatile neuromorphic system based on spin network controlled by hydrogenation
日本側研究代表者氏名	木村 崇
所属・役職	九州大学・教授
研究期間	2022 年 4 月 1 日 ～ 2025 年 3 月 31 日

## 1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
木村 崇	九州大学大学院・理学研究院・教授	研究の取りまとめ、ワイヤレス・スピン注入技術の高度化
湯浅 裕美	九州大学大学院・システム情報科学研究院・教授	高品質磁性薄膜の作成

## 2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

ワイヤレス・スピン注入の高効率化に向けて、2022 年度は、熱スピン注入機構の詳細解明に重きを置いた研究を行う。ワイヤレス・スピン注入を支配しているのは、熱スピン注入と考えており、更に、熱スピン注入においても、伝導電子スピン流とマグノンスピン流の二種類の機構がある。一方で、静的な熱スピン注入に関しては、マグノンスピン流の寄与は小さく、伝導電子が主体的であるので、横型スピンバルブを用いたスピン依存伝導から評価可能である。このように、ワイヤレス・スピン注入効率と静的な熱スピン注入の結果を対比することで、ワイヤレス・スピン注入の起源を明確にし、その高効率化に対する指針を得ることが 2022 年度の目標である。

### 3. 日本側研究チームの実施概要

スピン角運動量の流れを表すスピン流は、スピンデバイスを動作させる要であるが、このスピン流の生成手法として、近年、強磁性体の磁化歳差運動の共鳴（FMR）を利用する動的スピン注入法が注目されている。本手法は、試料に特定の周波数のマイクロ波をワイヤレスで印加することで、所望の強磁性体からスピン注入を実現できるため、ワイヤレス・スピン注入へと高度化できる。これまで、動的スピン注入の機構は、界面における強磁性体中の非平衡スピン偏極電子が非磁性体側に拡散することで生じるスピンプンピングが主であると考えられていたが、近年、FMR 時の発熱に起因するスピン注入（熱スピン注入）の重要性が指摘されている。我々は、この熱スピン注入が動的スピン注入をかなり支配すると考えていたが、より詳細な実験を行った結果、スピンプンピングも同程度の寄与があることを示唆する結果が得られた。これに関しては、素子構造にも強く依存すると考えており、最終的には、動的スピン注入の高効率化を目指しているため、双方が最適化される構造を探索する。更に、熱スピン注入機構には、伝導電子のスピン依存ゼーベック効果に起因するものとマグノンのゼーベック効果に起因するものがあり、これらの詳細を定量的、且つ統一的に理解することは、スピン流物性やデバイスの更なる発展に必要不可欠である。この動的スピンワイヤレス・スピン注入技術の高度化に向けて、2022 年度は、CoFeB/Pt/CoFeB 磁性多層膜構造を用いて、マイクロ波印加時に上下から動的スピン注入が生じる構造を作製した。本構造では、スピンプンピング効果が上下対称となるため、スピンプンピング起因のスピンホール電圧が相殺し、熱スピン注入の効果を選択的に取り出すことが可能となる。また、素子構造における熱伝導解析から理論的に構造内の熱勾配を求め、三層構造における熱スピン注入の方向を明らかにした。一連の研究で得られた結果により、動的スピン注入において、熱スピン注入は、スピンプンピングと同程度の寄与、あるいは支配的であることが示された。

熱スピン注入の高度化に向けて、もう一つ重要な課題が、ナノスピンデバイス構造における熱伝導である。日本側グループが新たに開発した磁気熱電効果を用いた熱伝導の実験的解析手法を用いて、2022 年度は、発熱源から Si 基板を介して伝わる熱流ベクトルを 3 次元的に定量化可能なことを実証した。更に、Si 基板の代わりに YIG などの磁性絶縁体においても、同手法を適用可能であり、台湾グループが手掛けている高品質 YIG 薄膜などに適用させることで、YIG 薄膜の熱伝導率を磁場により制御するなどの実験も共同研究として着手した。

関連する実験として、強誘電体基板上の強磁性体磁区構造変化の電氣的制御に関して、台湾側のマイクロカー効果顕微鏡を用いて実験を行っており、台湾グループの高い空間分解能を活かして、詳細な磁区構造の解析が可能になるなどの成果を得ている。