

## 第11回青葉工学振興会賞



## 新規スピントロニクス素子の開拓と 集積回路・脳型情報処理応用

東北大学  
電気通信研究所  
准教授 深見 俊輔

情報通信社会の今後の持続的な発展を実現するためには、その頭脳を司る集積回路の更なる高性能化と低消費電力化が不可欠である。現行の集積回路に、電子の電荷（電気的性質）とスピン（磁氣的性質）の両者を積極利用する不揮発性スピントロニクス素子を融合することで、集積回路の更なる高性能化・多機能化と消費電力の劇的な低減がもたらされるものと期待される。本稿では、スピントロニクス技術を集積回路に適用してモノのインターネット（IoT）や人工知能などの社会実装を促進することを目指して我々が行っている、スピン軌道トルク磁化反転を用いたナノ磁性体の電気的な制御、及びその集積回路・脳型情報処理応用に関する研究を紹介する。

不揮発性スピントロニクス素子を実用化する上で鍵となるのが、小さな電力で高速かつ信頼性高く磁化を反転させ、デジタル情報の0と1を書き込む技術である。近年、量子相対論の帰結であるスピン・軌道相互作用に由来するトルク（スピン軌道トルク）を利用して磁化反転を誘起する、いわゆるスピン軌道トルク磁化反転が、新たな不揮発性スピントロニクス素子への情報の書き込み手法として注目を集めている。

我々は、現行のSRAMと同等のGHzクラスでの動作が可能であり、かつSRAMにはない低消費電力性も兼ね備えたスピントロニクス素子の動作実証に世界で初めて成功した。開発した素子は現在実用化が間近に迫っている2端子構造のスピントロニクス素子とは異なる3端子構造を有し、またスピン軌道トルクにより高速に磁化方向を制御することが可能である<sup>[1]</sup>。この方式を用いて0.5ナノ秒の電流パルスによる信頼性の高い磁化反転を観測し、併せて反転閾値電流の低減や無磁場動作などの応用上の重要課題についてもその解決策を示した。この成果は省エネ性に優れ、かつ瞬間的には高い演算性能を発揮するマイコンなどの情報処理端末に適用できるものと期待され、高度なIoT社会の実現への道を切り拓くものである。

一方、近年、脳の情報処理様式を模倣することで従来の計算機では実現が難しかった認識・判断などの複雑なタスクを効率的に行うことを目指した脳型情報処理などと呼ばれる分野が活況を呈している。我々はスピントロニクス素子の研究の過程で、脳において記憶を司っているシナプス

のように動作する素子を見出した<sup>[2]</sup>。開発した反強磁性体と強磁性体の積層構造からなる「人工シナプス素子」の抵抗の電流応答特性の測定結果を図1(a)に示す。印加する電流の大きさに応じて抵抗がアナログ的に変化しており、これはシナプスの性質と類似している。この性質を利用して人工神経回路網を構築し、図1(b)に示した連想記憶と呼ばれる脳型情報処理のコンセプト実証に成功した。これは世界で初めてスピントロニクス素子を人工神経回路網に適用し機能実証した例である。現在の人工知能は膨大な電力とハードウェアリソースに立脚しているが、スピントロニクス素子の小型性・高速性・高書き換え耐性を利用すると、より生体に近い小型で消費電力が低く環境適応性に優れた人工知能ハードウェアが実現できるものと予測される。この点で当研究は今後人工知能の新しいパラダイムの創成へとも繋がっていくものと期待される。

[1] S. Fukami et al., Nature Nanotech. 11 (2016) 621.

[2] S. Fukami et al., Nature Mater. 15 (2016) 535.

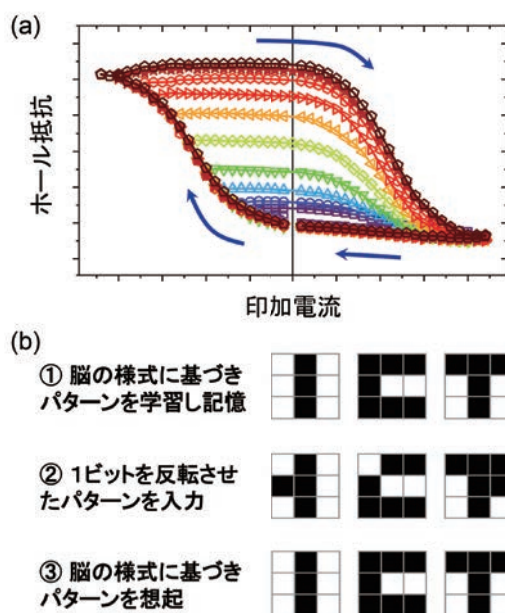


図1 (a) スピン軌道トルクを用いた人工シナプス素子の印加電流とホール抵抗の関係。(b) 人工シナプス素子を用いて構築した人工神経回路網で行った連想記憶の原理実証実験。