

磁気スキルミオンを用いた スパイクングニューロン素子の検討

岡 大輔[†] 河原 尊之[†]
[†] 東京理科大学大学院工学研究科

1. はじめに

神経細胞の働きを模倣することで情報処理性能の向上と効率化を図るスパイクングニューラルネットワーク(SNN)の研究開発が広く行われている。SNNは汎用的なノイマン型コンピュータによる再現では電力効率が悪く、専用ハードウェアの開発が課題となっている。

磁気スキルミオンは磁性体上で粒子のようにふるまう磁気構造である。磁気スキルミオンは微小な電流で移動・検出することが可能で、ナノスケールのサイズ、高い動作速度といった性質からエネルギー効率の高い次世代電子デバイスへの応用が期待されている。

磁気スキルミオンを用いたスパイクングニューロンデバイスが先行研究によって提案されたが、膜厚が様でないため成膜が難しいという欠点があった[1]。本研究ではこの課題を解決するため、Dzyaloshinskii-Moriya-Interaction(DMI)強度の勾配を利用したスキルミオンベースのスパイクングニューロン素子の提案を行い、その動作と特性をシミュレーションにより検証した。

2. 提案方式

LIF(leaky-Integrate-and-Fire)ニューロンを模倣した動作をする素子设计了。素子の構造を図1に示す。強磁性体層上のスキルミオンのx座標は生体ニューロンの内部電位と対応しており、内部電位が発火閾値まで上昇したときのみ出力を行うため、内部電位の計算・記録が不要であるという利点がある。このような方式のニューロン素子は先行研究で提案されており、スキルミオンの移動方式として膜厚の勾配を利用したものなどが報告されている[1]。先行研究の方式では成膜が難しく、量産が困難であるという課題があった。本研究では、移動方式としてDMI強度の勾配を利用する方式を提案した。スキルミオンはDMI強度の高い方に移動する性質を持ち、電力を消費せずに移動させることが可能である。強磁性体層の組成を変えることにより素子のx軸が小さい部分ほど大きなDMI強度が増加する構造となっており、従来方式よりも成膜が容易であるという利点がある。

3. 検証結果

Mumax3[2]を用い、マイクロマグネティックシミュレーションによる検証を行った。強磁性体層の磁化を1nm単位のセルのベクトル場として近似し、Landau-Lifshitz-Gilbert方程式を解くことによって磁化の状態を明らかにした。

パルス幅0.5nsのパルス電流を複数回入力し、スキルミオンの座標を記録した。LIFニューロンは、他のニューロンからの入力電流によって内部電位が上昇し、時間経過によって内部電位が減少する。入力電流およびスキルミオンのx座標を図2に示す。検証結果から、スパイク電流が入力された場合にはスキルミオンの位置のx座標が増加し、入力電流がない時はスキルミオンのx座標が減少し、ニューロンの挙動を再現できていることが確認できた。

4. まとめ

スキルミオンの移動方法としてDMI強度の勾配を利用したスキルミオンベースのニューロン素子を提案し、シミュレーションにより動作を検証した。今後、提案素子の消費電力や安定性などの特性についての検証を行う。

参考文献

- [1] Sai Li, et al., Magnetic skyrmion-based artificial neuron device. Nanotechnology 28 31LT01 (2017)
- [2] Vansteenkiste A, et al., The design and verification of MuMax3 AIP Adv 4(10), 0–22 (2014)

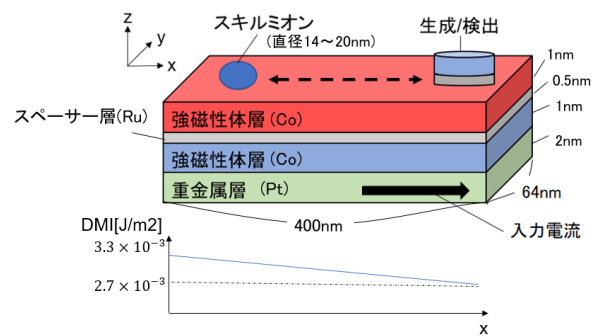


図1. 提案素子の構造

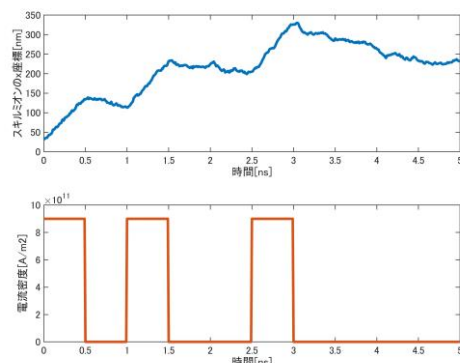


図2. 入力電流およびスキルミオンの座標