

Ga-Sn-O 薄膜シナプス素子の STDP 特性

谷内田 健太

Kenta YACHIDA

電子情報学専攻修士課程 2年

1. 研究背景と目的

近年人工知能に関する研究が活発に行われている。人工知能の代表的な技術としてニューラルネットワークが注目を浴びている。ニューラルネットワークは生物の脳の神経回路を基にした情報処理モデルである。ニューラルネットワークは情報となる信号を保持する働きをもつニューロンとニューロン同士をつなぐシナプスで形成される。今現在のニューラルネットワークはソフトウェアでの研究が主流であるが、並列分散処理、ロバスト性、消費電力に問題がある。それに対して、ハードウェアでのニューラルネットワークは並列分散処理が可能であり、ロバスト性があり、低消費電力である。ハードウェアでのニューラルネットワークを構築するためには大規模にする必要があるので高集積化が必要である。そこで、高集積化が容易な酸化物半導体をシナプスとして用いた。人間の脳の学習法としてスパイクパルスのタイミングによってシナプスの結合強度が変化するスパイクタイミング依存可塑性 (Spike Timing Dependent Plasticity: STDP) が知られている。STDP は脳の学習を忠実に再現し、さらなる低消費電力化を実現できる。

本研究では、STDP 学習則により、学習可能なシナプス素子の作製を目的としている。シナプス素子として、ガラス基板上に成膜した Ga-Sn-O (GTO) に時間差をつけて正と負のパルスを印加し、その際の電気的特性を測定した。この結果から、GTO が STDP によるニューラルネットワークのシナプス素子として使用できるかどうかを検証した。

2. 実験方法

私たちは、始めに、真空蒸着法を用いてガラス基板上に下部電極として Ti を 5 分間蒸着した。次に、RF マグネトロンスパッタリング法を用いて GTO 薄膜 (Ga : Sn = 1 : 3) を成膜した。最後に、真空蒸着法を用いて下部電極と交差するように上部電極として 5 分間 Al を蒸着した。本実験で作製したシナプス素子の写真と断面図を図 1 に示した。実験装置を図 2 のように接続した。表 1 にある条件で時間差をつけた正と負のパルスを印加した際にシナプス素子に流れる電流値の変化を評価した。

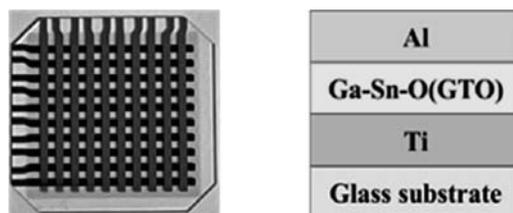


図 1 左はシナプス素子の写真、右は断面図

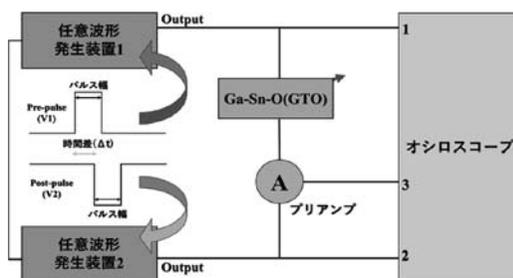


図 2 実験系の概略図

表 1 印加されるパルスの条件

周波数	1Hz
パルス幅	100ms
Pre-pulse (V1)	High: 8V Low: 0.1V
Post-pulse (V2)	High: 0V Low: -8V
時間差 (Δt)	$\pm 0, 5, 25, 50, 75, 100$ ms

3. 実験結果と考察

図3は横軸が時間 [min]、縦軸が電流変化率 [%] を示した10分間の電流値の変化量を表したグラフである。図3から、全ての時間差 Δt において、電流値は時間が経つにつれて増加していることを確認することができた。図4は横軸が時間差 Δt [ms]、縦軸が電流変化率 [%] を示した STDP 特性を表したグラフである。図4から、時間差が 0ms のとき電流変化率が最大であり、時間差の絶対値が増加するにつれて、電流変化率が減少していく対称型 STDP 特性を確認することができた。

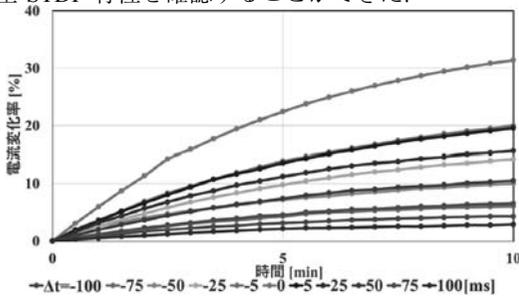


図3 時間差ごとの電流の変化

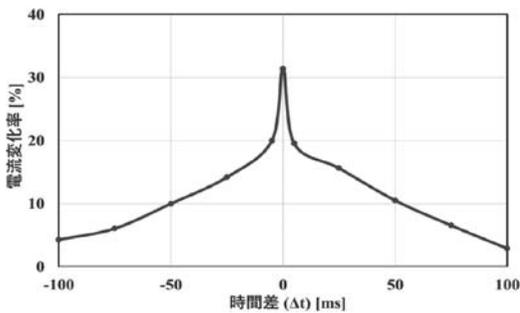


図4 STDP 特性

このような結果になったのは、印加した正と負のパルスの時間差を変えることで、GTO のシナプス

素子にかかる電圧が変化したためだと考えられる。図5はパルスの時間差ごとのシナプス素子にかかる電圧の変化を示す。A は時間差 -50ms, B は時間差 0ms, C は時間差 50ms の電圧の変化を示す。V1 の Pre-pulse と V2 の Post-pulse を入力した後、シナプス素子に Pre-pulse と Post-pulse の電圧差、V1-V2 が印加される。よって、シナプス素子に V1-V2 の電圧が、(A) と (C) では、50ms, (B) では、100ms 印加された。これらの結果から、電圧がかかっている時間が長ければ、電流値は増加すると考えた。また、GTO 薄膜内で形成された導電性フィラメントによって、電流値が増加すると考えた。

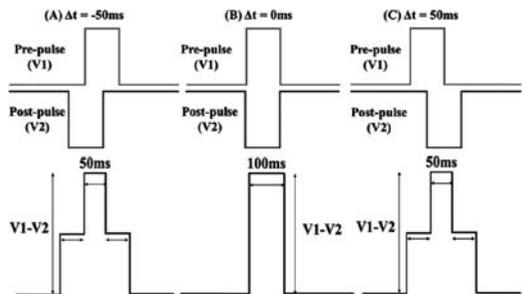


図5 シナプス素子に印加される電圧の変化

4. 結論

本研究では、ガラス基板上に Al-GTO-Ti のクロスポイントのシナプス素子を作製し、正と負のパルスを印加し、その際の電気的特性を評価した。その結果、電流値は時間が経つにつれて増加し、電流変化率が時間差ごとに異なっていることを確認することができた。また、STDP 学習則として知られている対称型 STDP 特性を確認することができた。以上の結果から、GTO が STDP により学習するニューラルネットワークのシナプス素子として利用可能であると考えた。