導電性ポリマーワイヤーシナプスの抵抗変化特性評価 Resistance switching properties of conductive polymer wire synapses 北大院情報¹, 阪大院理² [○]萩原成基¹, 浅井哲也¹, 赤井恵^{1,2} Hokkaido Univ.¹, Osaka Univ.², [○]N. Hagiwara¹, T. Asai¹, M. Akai-Kasaya^{1,2} E-mail: hagiwara.naruki.vy@ist.hokudai.ac.jp

抵抗変化メモリシナプスを用いたニューラルネットワーク(NN)演算 回路の基本回路アーキテクチャとして定着しつつあるクロスバー構造 は全結合型 NN モデルを容易かつ高集積に実装できる一方で、畳み込 み NN に代表されるような近傍結合のみを持つモデルの実装には適し ていない[1]。そこで我々は過去に、軸索誘導のごとく液相中で電解重合 成長して近傍電極間を配線できる導電性ポリマー(PEDOT:PSS(ポリ (3,4-エチレンジオキシチオフェン):スルホン酸))ワイヤーシナプスを開 発し、これを用いた新規回路構造を提案してきた^[2]。本ポリマーワイヤ ー(PW)はモノマー(EDOT)とドーパント(PSS)の混合前駆体溶液に浸さ れた Au マイクロ電極ギャップ間へ矩形波交流ポテンシャル(50 kHz, 20V_p)を印加することで成長し、電極間を架橋する(Fig. 1)。PW 架橋後 の電極ギャップ間へ+2.5 Vの電圧パルス(幅 10 ms)を連続印加(フォー ミング)したのち±1.0 Vの小電圧パルス(幅 10 ms)を印加すると、パル スの極性に応じて PW のドーピングレベルが増減し、電極間抵抗値の スイッチングが観測される。スイッチングパルスの印加回数及び極性 を制御することで電極間抵抗値を連続的・可逆的に制御できることか ら、PW は配線可能なシナプス素子として機能する^[3]。しかしながら本 手法ではフォーミング成功率が約50%程度であり、スイッチング時の ダイナミックレンジ(DR)も個体差が大きい。即ち、シナプス素子とし て複数生産する場合の製造歩留まりが低いといった課題があった。

そこで本研究ではまずフォーミング条件がスイッチング特性に及ぼ 51/20 す影響を調査した。PW 架橋直後の Au マイクロ電極ギャップへ±2.5V のフォーミングパルスを計 60 回印加したのち、±1.0 V のスイッチン グパルス印加による抵抗変化挙動を観察した。印加する負のフォーミ ングパルス数の割合を変えながら、スイッチング時における DR の平 均値(サンプル数 N=10)を調べたところ、負のフォーミングパルスを僅 かにだけ導入すると DR が向上し、またばらつきも抑えられることが 明らかになった(Fig. 2)。このことから、スイッチングは負のフォーミ ングパルスがトリガーとなって引き起こされ、また正のフォーミング パルス連続印加によって形成される PW の非対称構造に起因している co と考えられる。このことを踏まえて本研究では次に、負パルスを僅かに



Fig. 1. Optical image of PEDOT:PSS conductive polymer wires.





Fig. 2. Forming pulse polarity dependence on dynamic range.



conductance control of three electrode gaps.

導入してフォーミングを行った3対のマイクロ電極ギャップを並列接続し、各電極間電位差 V_i(*i* = 1,2,3)制御によるコンダクタンス G_iの同時制御を試みた。その結果、全電極ギャップ間のコンダクタンスを1つ1つ正確に、高い DR で同時制御することに成功した(Fig. 3)。以上の研究成果は PW シナプスに高い信頼性をもたらしており、分岐配線や3次元配線空間配線といった配線技術 との組み合わせによる新規脳型ハードウェアアーキテクチャの実現に向けた大きな足掛かりが見 出された。

[1] 秋永 広幸、浅井 哲也、『応用物理』、89(1), pp. 41-45 (2020).
[2] M. Akai-Kasaya *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys*, 59, 060601, (2020).
[3] N. Hagiwara *et al.*, *Polymers*, 13(312), (2021).