

溶液内において軸索様成長する PEDOT:PSS の脳型素子への応用

Axon like PEDOT:PSS wiring concentrating for neuro device

阪大院工¹, JST さきがけ², 北大院情報³, [○]疋田亘¹, 赤井恵^{1,2}, 浅井哲也³, 桑原裕司¹

Osaka Univ.¹, JST PRESTO², Hokkaido Univ.³, [○]W.Hikita¹, M.Akai-Kasaya^{1,2}, T.Asai³, Y.Kuwahara¹

E-mail: whikita@ss.prec.eng.osaka-u.ac.jp

生物の脳はニューロンと呼ばれる神経細胞から延びる軸索が他のニューロンとシナプス結合を介して互いに連結し、ネットワークを作ることでの知的活動を行っている。この脳内活動を模倣した情報処理法である人工ニューラルネットワークは、その演算をハードウェアにおいて効率的に行うため、不揮発性抵抗変化素子により構成される新規のアナログ型情報処理システムの開発が求められている[1]。不揮発性抵抗変化素子として我々は、電極間に電圧を印加することで所望の電極間を架橋するように重合する PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate)を用いた。PEDOT:PSS は高い光透過性、導電性を有し、様々な電気デバイスに応用されている導電性高分子である。一般的に、電界重合では膜状の導電性高分子が電極表面に生成するが、マイクロスケールの電極間に電界を集中させ、モノマーの EDOT(3,4-Ethylenedioxythiophene)を電界重合することで、電極間において PEDOT ワイヤが得られる[2]。

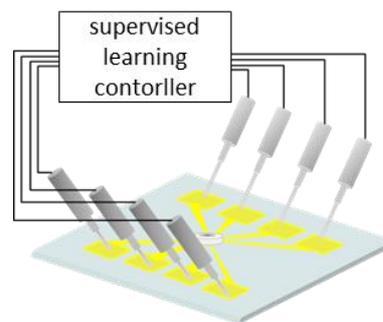


図 1：実験装置の全体像

本研究では、PEDOT:PSS ワイヤにより構築された分子ネットワークが教師あり学習の結果として、基本的論理機能を獲得することを実証した。最も簡単なニューラルネットワークとして、 $y = \text{sgn}(\sum_{j=1}^2 w_j x_j)$, $\Delta w_j = (s - y)x_j$ の、2 入力 1 出力の単層パーセプトロンを用いた。 y , x_j , w_j , s はそれぞれ出力、 j 番目の入力 ($\in \pm 1$)、出力と j 番目の入力間の重み、教師信号 ($\in \pm 1$) を表す。重み w_j は、 j 番目の電極間のコンダクタンスに比例し、ポリマーの成長により変化する値である。図 1 は実験装置の全体像、図 2 はモノマー溶液中に、200 μm の間隔で配置された金電極の光学顕微鏡像を示す。学習の段階では、両端の電極から位相の逆転した成長電圧 $V_{\text{growth}} (= \pm 15\text{Vp-p}, 30\text{kHz})$ を印加し、測定の段階では直流電圧 $V_{\text{test}} (= 1.0\text{V})$ を印加し、対極側で I-V 変換された各電極間の電流値を測定する。我々は本システムを用いて、AND, OR, NAND, NOR ゲートの作製に成功した。これらの結果は本システムが既存の CMOS で構成されるニューロデバイスの行う様々な情報処理を、有機素材を用いることで安価かつウェアラブルに行える可能性を持つことを示唆する。

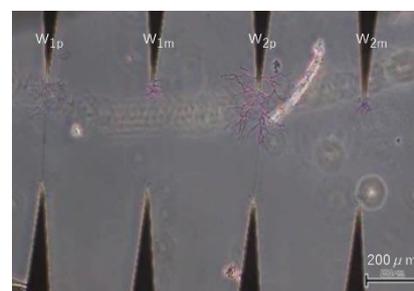


図 2：各電極間を架橋するポリマーの光学顕微鏡像

図 2 はモノマー溶液中に、200 μm の間隔で配置された金電極の光学顕微鏡像を示す。学習の段階では、両端の電極から位相の逆転した成長電圧 $V_{\text{growth}} (= \pm 15\text{Vp-p}, 30\text{kHz})$ を印加し、測定の段階では直流電圧 $V_{\text{test}} (= 1.0\text{V})$ を印加し、対極側で I-V 変換された各電極間の電流値を測定する。我々は本システムを用いて、AND, OR, NAND, NOR ゲートの作製に成功した。これらの結果は本システムが既存の CMOS で構成されるニューロデバイスの行う様々な情報処理を、有機素材を用いることで安価かつウェアラブルに行える可能性を持つことを示唆する。

[1] M. Prezioso et. Al., Proc. SPIE 9749, Oxide-based Materials and Devices VII, 974918 (2016)

[2] A. Das, C.H. Lei, M. Elliott, J.E. Macdonald, M.L. Turner Organic Electronics 7, 181-187(2006)