

脳型ウェットウェア創製に向けた3次元導電性ポリマーネットワークの構築及び学習

Fabrication and Training of 3D Conductive Polymer Networks for Neuromorphic Wetware

北大院情報¹, 阪大院理² ○(D)萩原 成基¹, 安藤 洸太¹, 浅井 哲也¹, 赤井 恵^{1,2}
Hokkaido Univ.¹, Osaka Univ.²

○Naruki Hagiwara¹, Kota Ando¹, Tetsuya Asai¹, Megumi Akai-Kasaya^{1,2}

E-mail: hagiwara.naruki.vy@ist.hokudai.jp

脳内では無数の神経細胞が3次元的にシナプス結合することで大規模かつ複雑な情報処理ネットワークが展開されており、この3次元的な階層構造は脳の処理能力に大きく関わっている。例えば、大脳皮質では神経細胞同士の局所的な近傍結合により、畳み込みニューラルネットワークに見られるような畳み込み演算を実現している。一方、近年精力的な研究がなされつつある脳型ハードウェアは主に、全結合型人工ニューラルネットワークモデルの実装に向けて最適化されたクロスバーアレイと呼ばれる構造が主流であり、脳の3次元構造とは大きくかけ離れている [1]。

そこで本研究ではより生体模倣度の高い脳型情報処理回路の実現に向け、導電性ポリマーワイヤー [2] の電極間3次元配線を用いたシナプス素子を開発した。3つの Au スタッドバンプを用いて作製した下部電極をガラス基板上に形成し、それらをモノマー前駆体溶液に浸したのち、上部電極として用いた Au 探針先端を基板表面から 100 μm 程度の位置までアプローチした。上部電極と下部電極の間に矩形波交流電位差 (50 kHz, 22 V_{p-p}) を印加することで、PEDOT:PSS(ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン):スルホン酸) が直径数百 nm 程度のワイヤー状に重合成長し、電極間を3次元的に架橋した(図 1a,b)。電圧印加時間を制御することで架橋本数を制御し、3つのコンダクタンス値をそれぞれ独立に所望の値へと高精度に制御することに成功した(図 1c)。また、得られたコンダクタンス値は 10³ 秒間の計測中でほとんど変化せず、非常に高い不揮発性を示した。

次に本素子を用いて、ヘブ則に基づく重合電圧印加によるネットワークの学習を試みた。上部電極と3つの下部電極をそれぞれ「リンゴ」「バナナ」「赤」「黄」の刺激に反応する神経細胞と見立て、これらの対応関係を電極間3次元ポリマー配線を用いてネットワークに学習させた。50 mV の電圧刺激を「リンゴ」または「バナナ」に割り当てられた電極へ印加した際、対応する色に割り当てられた電極へ流れる電流値のみが学習とともに著しく増加した(図 1d,e)。このことはネットワークが果物情報のみから色情報を連想できるよう学習したことを示している。

本研究では導電性ポリマーワイヤーの電極間3次元配線技術を確立した。また、配線本数を制御することでシナプス長期増強のような電極間コンダクタンスの高精度制御及びネットワーク回路の学習が可能であることを示した。導電性フィラメントを立体配線できるという点で従来の不揮発性抵抗変化メモリとは一線を画しており、その高い自由度から生体模倣度のより高い脳型ウェットウェアの実現が将来期待できる。

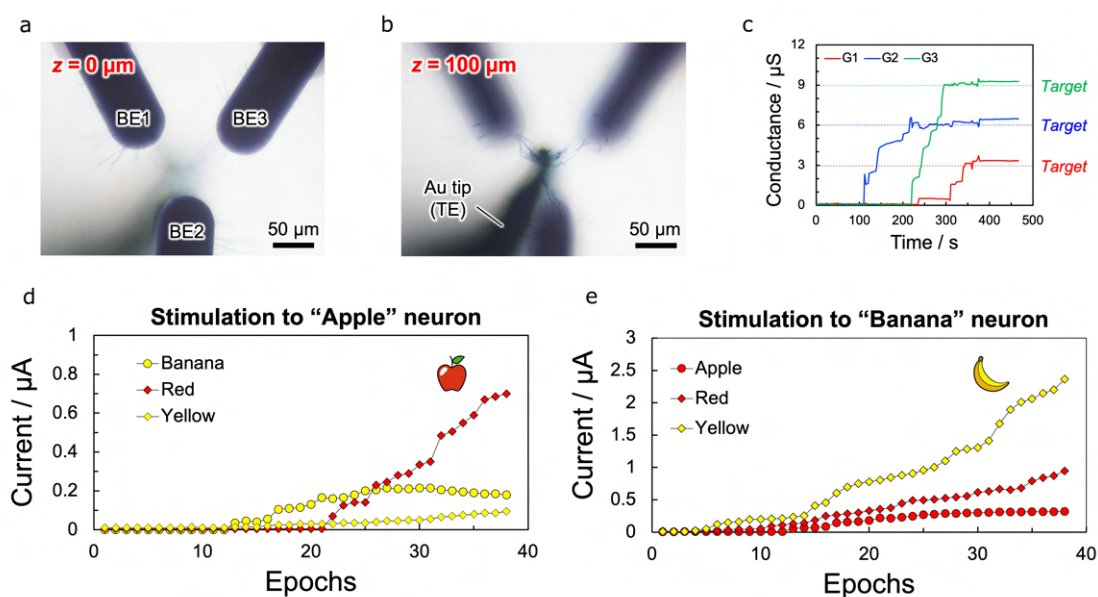


図 1: (a, b) 電極間ポリマー配線の 3 次元構造 (c) 3 次元ポリマー配線による電極間コンダクタンス制御 (d, e) 3 次元ポリマー配線による連想記憶学習

[1] S. H. Jo, T. Chang, I. Ebong, B.B. Bhadviya, P. Mazumder, W. Lu, *Nano lett.*, **2010**, 10, 4.

[2] N. Hagiwara, S. Sekizaki, Y. Kuwahara, T. Asai, M. Akai-Kasaya, *polymers*, **2021**, 13, 312.