

生体用電極の作製に向けた二次元物質の三次元自己組立て技術

Self-folding of two-dimensional materials for three-dimensional bioelectronics

NTT リサーチ¹, ミュンヘン工科大² ○手島 哲彦^{1,2}

NTT Research Inc.¹, Technische Universität München², °Tetsuhiko Teshima^{1,2}

E-mail: tetsuhiko.teshima@ntt-research.com

二次元材料の一種であるグラフェンは、導電性や光透過性、柔軟性に優れるだけでなく、高い生体適合性を有する特徴から、従来の金属材料に替わる新しい透明な生体電極材料としての応用が期待されている。実際に二次元シート状の構造を有するグラフェンを、細胞や生体組織の湾曲した表面に接する電極として活用するためには、高精細な三次元形状に組み上げる必要がある。従来グラフェンの柔軟性に着目して、フレキシブルな基板上で手で屈曲させる試みがなされてきたが[1]、操作の工程でのグラフェンの破断や剥離などが技術的な課題であり、さらに微細で高精細な三次元構造に組み上げることが技術的に困難であった。そこで本研究では、折り紙にヒントを得た自己組織的な組立て（自己組立て）手法に着目し、強く吸着する高分子薄膜表面にグラフェンを転写することで厚み方向に硬さの勾配を形成し、グラフェンを微細な三次元形状に組み立て[2]、最終的に生体試料とのインターフェースとして用いる手法について提案する[3]。

本研究では、CVD法により成長した単層グラフェン、グラフェンと強く密着するポリパラキシリレン（パリレン）、多糖類の一種であるアルギン酸カルシウムからなる犠牲層の三層を積層した多層薄膜を用いた。細胞毒性のないキレート剤を添加することで犠牲層を瞬時に溶解でき、それとともに基板から遊離したグラフェン/パリレン二重膜の薄膜の厚み方向に歪みが誘起され、自己組織的に三次元形状に屈曲することが観察された。その際グラフェンは外側に存在し、内側にパリレンを巻き込む形で構造を形成する。さらにグラフェン/パリレンの膜厚や二次元パターンを変化させることで、屈曲する曲率半径や最終的な三次元形状を制御可能となる。

本技術で使用した材料は全て高い生体適合性と柔軟性を持つため、三次元形状に自己組立てされたグラフェンを、生体試料の一種である神経細胞とのインターフェースとして用いた。自己組立てと同時にグラフェンの三次元形状内に細胞を内包し、その構造の内部で神経細胞を長期間、細胞毒性を示すことなく安定して閉じ込めて培養することができる。内包された神経細胞は互いに集合することで、三次元構造体を鋳型として微小な神経様組織を形成し、組織内外にてネットワーク形成を行い、細胞間相互作用を示すことを確認した。

本研究で用いた自己組立ての現象は、多層グラフェンや他の二次元材料を用いても誘導することができる。さらに神経細胞だけでなく様々な種類の細胞や組織にも応用が可能であるため、細胞生物学や組織工学のための新しいツールになるだけでなく、二次元材料の持つ優れた電気特性を活かした生体内埋め込みのためのフレキシブルな生体電極素子への応用が期待される。

[1] *Phys. Rev. B*, 79, 205433, 2009 [2] *Nano Lett.*, 19, 461, 2019 [3] *Nanoscale*, 11, 28, 13249, 2019