

まえがき

タンニン酸(TA)を添加した PEDOT:PSS の高性能化に関しては既に Column95 及び Column99 で紹介したが、ここでは Yang ら¹⁾の筋電図検査用の電極として開発した TA/PVA/PEDOT:PSS (TPP)の 3 成分系複合材料について紹介する。本論文の主眼は開発した複合材料の筋電図検査への応用であるが、本コラムでは皮膚に貼付する電極としての複合材料の特性にポイントを置いて紹介する。なお、筋電図検査とは、筋肉が活動するときには発生する電気信号を電極を使って測定し、それを波形として記録する方法で、主に神経や筋肉の状態を調べる目的で活用される²⁾。

TPP は柔軟で皮膚との密着性及び生体適合性に優れたゲルフリーの電極である。Yang らは従来から筋電図検査用の電極として液体金属(EGaIn)/ポリマーからなる 2 成分系材料を開発したが、筋電図用電極としての性能試験の結果、液体金属の剥離等の課題が判明した。液体金属に代わる導電材料として高導電で生体適合性に優れる PEDOT:PSS を用い、TA 及び PVA との 3 成分系とすることでこれらの問題を解決した。

PEDOT-PVA 電極の特徴

PEDOT:PSS フィルムは伸びが 5%以下のため皮膚に貼付した場合、筋肉の動きによってクラックが発生する。PVA の添加により PEDOT:PSS フィルムの柔軟性は大幅に改善し、添加量が 30%以下では電気伝導度も向上する(Fig.1a)。また、耐摩耗性は PVA の添加量の増加と共に指数関数的に向上する(Fig.1b)。さらに、人の肘に貼付した場合のインピーダンスは PVA 添加量によらず現在使用されている電極(Ag/AgCl)と同レベルである(Fig.1c)。これらの結果より、心電図用電極とし必要とされる特性を有する最適な PVA の添加量は PEDOT:PSS の 2 倍量(66.7wt%)で、高い柔軟性と良好な耐久性を持ったフィルムが得られる。

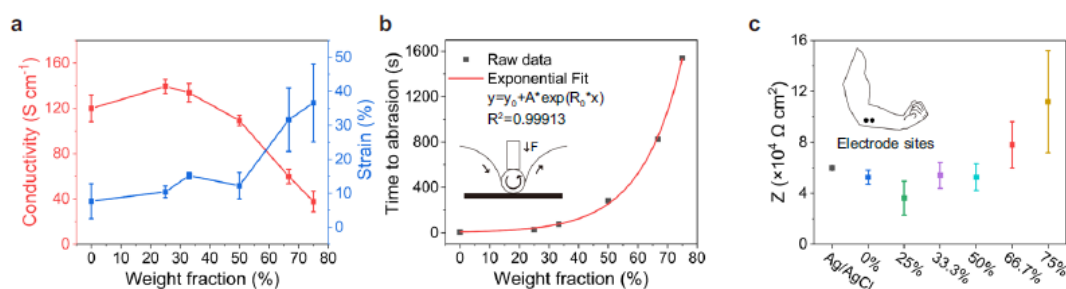


Fig. 1 (a) Strain and conductivity of PEDOT-PVA electrodes. (b) Abrasion-resistance of PEDOT-PVA electrodes with different PVA addition. (c) The impedances of the Ag/AgCl electrode and PEDOT-PVA electrodes measured at 100Hz, as recordings up to 100Hz is commonly used for comparison of muscle activity.

TA/PVA/PEDOT:PSS (TPP) 電極の特徴

前記した Column でも述べたが TA は PEDOT:PSS と水素結合、疎水性相互作用及びカチオン- π 相互作用を有するので、TA の添加によりフィルムの柔軟性及び皮膚との密着性は一層向上する。Fig.2 に示すように、TA はポリマー分子鎖間のバインダーとして作用し、粘着性のあるゴムの超分子構造を形成することから、多くの基材との濡れ性を向上させると共に密着性を向上させる。

TAの添加量の増加と共に伸びは増加し、引張強度は低下する(Fig.3a)。このことは皮膚に貼付する電極として最も重要な特性である電極と皮膚間のコンフォーマル(Conformal)な密着性を大幅に向上させる。“Conformal”とは皮膚の動きに追従してフィルムが変形すること。また、TAの添加量の増加と共に剥離強度は向上する(Fig.3b)。これらの結果より最適なTAの添加量は8 wt%で、TPPフィルムの破断伸び、ヤング率及び密着力はそれぞれ188 %、644 kPa及び0.58 N/cmとなる。このTPPフィルムは20%の伸びで1000回の繰り返し試験でも良好な再現性を示した(Fig.3c)。

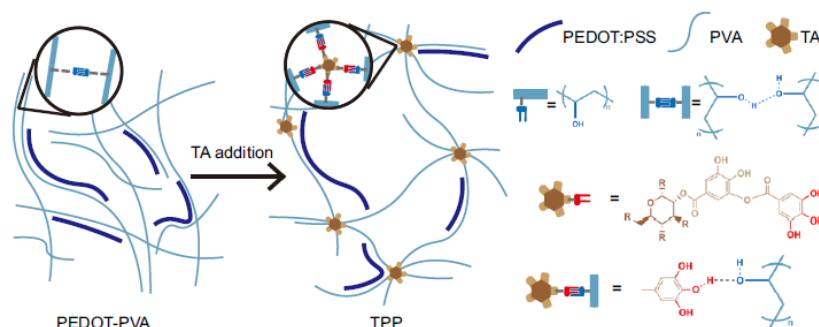


Fig.2 Schematic illustration of the working mechanism in PEDOT-PVA and TPP films and related chemical structures. After TA addition, the PVA chains are more cross-linked at the position of TA. This process expands the space between polymer chains and generates a porous structure.

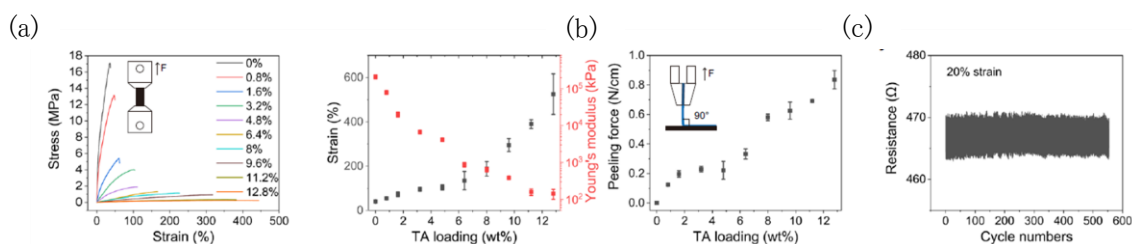


Fig.3 (a) Tensile stress-strain curves, strain and Young's modulus of TPP films. (b) Peeling force of TPP films on the skin. (c) Real-time monitoring of the TPP film by stretching the film from a strain of 0 to 20% for about 500 cycles.

この後に TPP 電極及び TPP 電極に液体金属である EGaln を添加した金属電極を用いた実際の筋電図検査の結果が続き、既存のものに比較して優れた耐久性が報告されている。

文 献

- 1) S. Yang et al., Stretchable surface electromyography electrode array patch for tendon location and muscle injury prevention, *Nature Communications* 2023, **14**, 6494
- 2) <https://kobe-kishida-clinic.com/>

以上

HP のトップへ: <https://www5d.biglobe.ne.jp/~hightech/>