

審査の結果の要旨

氏名 王嘉斌

本論文は、“Gas-permeable organic electrochemical transistor used as on-skin active electrode (皮膚上のアクティブ電極として利用される通気性のある有機電気化学トランジスタ)”と題し、5章から構成される。皮膚上の電極を用いた電気生理信号の取得は一般的な健康状態モニタリングする方法である。フレキシブル、高性能、快適なアクティブ電極を使用することで、信号品質を向上させ、健康モニタリングの精度を保證することができる。有機電気化学トランジスタ (Organic Electrochemical Transistor; OECT) は、1V 以下の低電圧駆動で、高いトランスコンダクタンスを示すため、皮膚上のアクティブ電極応用として注目されている。従来のアクティブ電極は通気性に欠けているため、長時間皮膚の表面に貼り付けた後、電極と皮膚の間の汗の蓄積が皮膚の炎症などを引き起こす問題があった。本研究では、通気性のある有機電気化学トランジスタを開発し、高性能かつ快適なアクティブ電極を実現することを目的とする。

第1章では、研究の背景と目的である。オンスキンエレクトロニクスを用いた健康状態のモニタリングと、アクティブ電極について説明している。また、過去の研究におけるアクティブ電極と比べて、有機電気化学トランジスタの優位性を説明している。また、有機電気化学トランジスタの動作原理と、皮膚上のアクティブ電極として電気生理信号の計測手法について説明している。

第2章では、ナノメッシュ構造の有機電気化学トランジスタの開発について述べている。繊維状構造のナノメッシュという通気性のある基板上に、スプレーコーティング手法を用いることで、チャンネルである poly(3,4-ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate 材料のコーティングを実現したデバイス作成の流れと注意点を詳しく述べている。このナノメッシュ構造の有機電気化学トランジスタは、 $\sim 0.6 \text{ mS}$ のトランスコンダクタンスと1ミリ秒以下の応答速度を示した。ナノメッシュ構造と従来構造の有機電気化学トランジスタと比較し、 $\sim 40\%$ の性能を維持している。デバイスの機械的強度を測定し、0.56 ミリメートルの直径に折り曲げられても、電気的特性が変わらなかった。有機電気化学トランジスタの電気的特性を記述するために、過去に報告されたモデルを最適化し、接触抵抗をデバイスモデルに考慮することで、より良い電気的特性のフィットを実現できた。

第3章では、通気性有機電気化学トランジスタにより皮膚上電気生理信号の計測を実施する実験手法とその結果について述べている。トランジスタのチャ

ネル電流信号から電圧信号の転換、またはアナログフィルターを用いて、直流(DC)信号をカットオフし、計測した心電図信号の有効な部分を抽出することができた。ほかのフレキシブルなトランジスタと比べて、有機電気化学トランジスタは高いトランスコンダクタンスにより、低電圧でもより高い増幅率を実現できた。これにより増幅した信号の出力インピーダンスが劇的に低減し、ノイズの影響を減らすことができた。日常に応用するために、マイクロコントローラと Bluetooth モジュールと高精度のデータコンバータを用いて、信号を無線にモニタリング方法を提案している。

第4章では、多孔質固体高分子電解質(Solid-state polymer electrolyte; SPE)の開発と、それを組み込んだ通気性有機電気化学トランジスタの特性について述べている。電解質溶液を凍結乾燥させ、多孔質固体電解質構造を合成することができた。電気化学トランジスタの性能を満たすように、電解質溶液の成分を最適化し、多孔構造な固体高分子電解質を達成した。水蒸気の透過性を測定し、多孔質固体高分子電解質の通気性を検証した。この多孔質固体高分子電解質を組み込んだ有機電気化学トランジスタは、湿度が高いほど特性が強くなるという性質を示した。皮膚表面は、トランジスタが正常に動作するために必要な湿度環境である。皮膚の表面に貼り付けている通気性有機電気化学トランジスタは、 $\sim 0.6\text{ mS}$ のトランスコンダクタンスと8.3ミリ秒の応答時間を記録した。この応答速度は電気生理信号を取得するのに必要な周波数特性を満たしている。皮膚に貼り付けている通気性有機電気化学トランジスタで心電図信号の計測が実現した。本研究では、通気性固体高分子電解質を集積した有機電気化学トランジスタを皮膚上のアクティブ電極として利用する可能性を検証した。

第5章は本論文のまとめの章である。また、引用文献の一覧、業績リスト、謝辞を記載した。

以上を要するに、本研究では、通気性のある有機電気化学トランジスタを製作し、このデバイスをアクティブ電極として用いて、皮膚上で電気生理信号を計測する手法の確立に成功しており、電子工学における貢献は大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。