

審査の結果の要旨

氏名 李元領

本論文は、”Conformal multi-electrode arrays using organic electrochemical transistors(有機電気化学トランジスタを用いたコンフォーマル多点電極アレイ)”と題し、5章から構成される。近年、有機電子デバイスは、その機械的柔軟性および生体適合性を持つために、生体信号計測への応用が期待されている。特に、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、1mS以上の高いトランスコンダクタンスを示すため、細胞や生体組織の活動電位計測応用として注目されている。本論文は、OECTを用い、生体と親和性の高い超薄型アクティブ多点電極アレイを実現し、その有用性をIn-vivo実験で実証したものである。

第1章では、生体信号センサの背景を述べている。生体電気信号の起源は神経伝達の際、イオンの移動によって作られた電位である。従来の生体信号測定方式は、この電位信号とグラウンドとの差を電圧増幅の方式で読み取ることが主流であった。この方式を基に、近年、フレキシブル基板上に電極のパッシブアレイのMEAが開発されたが、大面積に高時空間情報を得るためには、トランジスタのアクティブアレイを用いたMEAの開発が必要だった。この章では、主にパッシブ、アクティブMEAの相違点や、従来のデバイス、フレキシブルなデバイス、伸縮性を示すデバイスの順に過去の研究を調べ、今まで報告された研究の克服すべき点を述べた。

第2章では、有機トランジスタとOECTの集積化を用いたフレキシブルMEAの開発について述べる。薄膜基板上に、OECTおよび有機トランジスタの集積化による、高時空間分解能を示す5×5のアクティブMEAを実現した。有機半導体層DNNTTの熱劣化を防ぐために、OECTのチャンネルであるPEDOT:PSSを55°Cで長期間低温架橋することで、水中での動作を安定化させることに成功した。1つのOECTおよび1つの有機トランジスタを含む生体信号センサは、~3kHzのカットオフ周波数の信号を1mS以上のトランスコンダクタンスで読み込むことができた。有機トランジスタとOECTの集積化デバイスは1ms以下の時間分解能で筋電図を検出することができた。

第3章では、OECTを用いた透明フレキシブルMEAを、厚さ1.2μmのパリ

レン基板上に作製した。透明な OECT と金属グリッド配線で構成されたデバイスは、領域全体で高い透過性が実現された。Au グリッドの機械的耐久性は、100%予備延伸 PDMS 基板に付着させ、圧縮歪みを適用することによって実施した。その結果、従来に多く使われた ITO 透明電極は 50%の圧縮歪を印加した時、シート抵抗は $79 \Omega/\text{sq}$ から $378 \Omega/\text{sq}$ と大きな変化を示し劣化が観察されたが、Au グリッド電極を用いることにより、シート抵抗は $3\Omega/\text{sq}$ から $7\Omega/\text{sq}$ と劣化が抑制され、従来の透明電極より優れた機械特性を示した。さらに、各セルに透明な OECT 素子のみで構成され、クロストークの抑制が可能な新しいアレイの回路を考案した。考案された回路を基に、 3×5 の透明 OECT アレイが $3\mu\text{m}$ の厚さで製造され、各 OECT は 1.1mS の大きな相互コンダクタンスと $363\mu\text{s}$ の高速応答を示した。最後に、光応答性チャンネルロドプシンを発現したトランスジェニックラットの皮質表面に光刺激を与えることによって、正確な位置に約 $800\mu\text{V}$ の振幅を有する誘発反応をマッピングした。

第 4 章では、OECT を用いた伸び縮みができる生体適合性フレキシブル MEA について述べられている。OECT を用いた生体適合性・伸縮性能動型 (4×4) MEA を実現した。このデバイスは、厚さ $1.2\mu\text{m}$ の伸縮可能なパリレンのハニカムグリッド上に OECT を構成し、PMC3A のコーティング材料を用いることで、高い生体適合性を示すことができた。 $20\mu\text{m}$ の線幅を示すハニカムグリッド上の OECT の伸縮性は、1000 回のサイクルで 15%の伸びひずみに耐えられる。PMC3A による生体適合性は、人の血液から抽出した血小板をデバイスまたはフィルムに接着試験を行うことで実証した。PMC3A がコートされていない OECT は 0.5 時間の血小板接着から、 $87\mu\text{s}$ の応答速度が 50ms を超えるまで劣化が進んでいたが、PMC3A をコートした OECT の応答速度は 2 時間の血小板接触の後でしか変化を示さなかった。超薄型かつ伸縮性を示す PMC3A がコートされた 4×4 の OECT アレイを用い、ダイナミックに動く心臓上で、安定的に活動電位をマッピングすることに成功した。

第 5 章は、本論文のまとめの章である。

以上を要するに、本研究では、厚さ $1\mu\text{m}$ 級のフレキシブル基板上に製造された OECT によって、透明性、伸縮性、血液適合性を有したアクティブ MEA を実現し、ダイナミックに拍動するラットの心臓に貼り付けて高精度に活動電位を計測することに成功し、有機エレクトロニクスの新しい可能性を示したもので、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であると認められる。