

論文内容の要旨

博士論文題目：低侵襲化を目指した人工視覚用 CMOS スマート電極搭載
多層フレキシブルデバイスの開発

(Development of multi-layer flexible retinal prosthetic devices with CMOS smart electrodes for minimal invasiveness)

氏名：潘 愷 鶴

(論文内容の要旨)

CMOS チップによる多電極制御機能を搭載した人工視覚デバイスは高解像度、広視野が実現できる方式として期待されている。本研究では、フレキシブルで低侵襲な人工視覚デバイスの開発を目指し、パリレン基板をベースとしたセラミック・パリレン複合基板およびパリレン C 薄膜基板で構成される 2 種類の人工視覚デバイスの作製プロセスの開発を行った。

セラミック・パリレン C 複合基板をベースとし、CMOS スマート電極を搭載した人工視覚用デバイスの開発では、フリップチッププロセスを導入しセラミック基板を直接薄膜基板上に接続する方法を開発することで作製プロセスを容易にすることに成功した。パリレン C 薄膜基板上に形成した薄膜配線では保持基板に Al 犠牲層を導入し、保持基板からデバイスを分離する際に犠牲層を溶解させることで薄膜配線への負荷を低くし、実装歩留まりを向上させることに成功した。また金属薄膜配線 Pt 配線から Au 配線に変更することで配線抵抗を低くし配線抵抗による電圧降下を抑制できた。最終工程でデバイス全体をパリレン C 膜でコーティングすることにより、犠牲層エッチング時の層間剥離を抑制するとともに、デバイスの防水性能の向上を実現した。試作デバイスはリン酸緩衝溶液 (PBS) 中で 14 日間にわたり二相性の電流刺激動作を確認し、十分な防水性能をもつことを実証した。さらに、試作デバイスのラット眼球への埋植実験では電流刺激による EEP (Electrically Evoked Potential) 波形が、刺激電流値に応じて変化することを確認し、試作デバイスが視覚刺激に有用であることを実証した。

より侵襲性の低い構造実現を目指して、セラミック基板を用いずパリレン C のみで構成されるフレキシブル薄膜基板の開発を行った。セラミック基板に搭載される Pt 電極の代わりに、直接パリレン C 薄膜基板上に金属薄膜電極と金属薄膜配線を形成した。試作デバイスを 4 日間 PBS 中での動作に成功した。さらに、屈曲試験を行い 50 回でも薄膜配線が断線せず安定した刺激電流の出力を確認した。作製した金属薄膜電極にリフトオフ法で Pt を積層し、Au 電極と Pt 電極の電気化学的性能についてそれぞれ評価した。Pt 電極の電気化学的性能は PBS 中でインピーダンスと電荷注入能力が Au 電極より優れていることを確認できた。多層構造パリレンフレキシブル人工視覚デバイスの開発に向けて、ビアをもつ 2 層構造デバイスの作製プロセスの開発を行い、2 層構造のデバイスの配線層間の電氣的接続を確認しパリレン C 基板上に作製したビア構造の有効性を確認できた。

本研究において得られた成果や知見は、フレキシブルで低侵襲な人工視覚デバイス実現が期待できるとともに、生体埋植デバイスを用いた様々な医療機器への展開が可能である。

(論文審査結果の要旨)

CMOS チップによる多電極制御機能を搭載した人工視覚デバイスは高解像度、広視野が実現できる方式として期待されている。本研究では、フレキシブルで低侵襲な人工視覚デバイスの開発を目指し、パリレン基板をベースとしたセラミック・パリレン複合基板およびパリレンC薄膜基板で構成される2種類の人工視覚デバイスの作製プロセスの開発を行った。

セラミック・パリレンC複合基板をベースとし、CMOS スマート電極を搭載した人工視覚用デバイスの開発では、フリップチッププロセスを導入しセラミック基板を直接薄膜基板上に接続する方法を開発することで作製プロセスを容易にすることに成功した。パリレンC薄膜基板上に形成した薄膜配線では保持基板にAl 犠牲層を導入し、保持基板からデバイスを分離する際に犠牲層を溶解させることで薄膜配線への負荷を低くし、実装歩留まりを向上させることに成功した。また金属薄膜配線Pt配線からAu配線に変更することで配線抵抗を低くし配線抵抗による電圧降下を抑制できた。最終工程でデバイス全体をパリレンC膜でコーティングすることにより、犠牲層エッチング時の層間剥離を抑制するとともに、デバイスの防水性能の向上を実現した。試作デバイスはリン酸緩衝溶液 (PBS) 中で14日間にわたり二相性の電流刺激動作を確認し、十分な防水性能をもつことを実証した。さらに、試作デバイスのラット眼球への埋植実験では電流刺激によるEEP (Electrically Evoked Potential) 波形が、刺激電流値に応じて変化することを確認し、試作デバイスが視覚刺激に有用であることを実証した。

より侵襲性の低い構造実現を目指して、セラミック基板を用いずパリレンCのみで構成されるフレキシブル薄膜基板の開発を行った。セラミック基板に搭載されるPt電極の代わりに、直接パリレンC薄膜基板上に金属薄膜電極と金属薄膜配線を形成した。試作デバイスを4日間 PBS中での動作に成功した。さらに、屈曲試験を行い50回でも薄膜配線が断線せず安定した刺激電流の出力を確認した。作製した金属薄膜電極にリフトオフ法でPtを積層し、Au電極とPt電極の電気化学的性能についてそれぞれ評価した。Pt電極の電気化学的性能はPBS中でインピーダンスと電荷注入能力がAu電極より優れていることを確認できた。多層構造パリレンフレキシブル人工視覚デバイスの開発に向けて、ビアをもつ2層構造デバイスの作製プロセスの開発を行い、2層構造のデバイスの配線層間の電氣的接続を確認しパリレンC基板上に作製したビア構造の有効性を確認できた。

本研究において得られた成果や知見は、フレキシブルで低侵襲な人工視覚デバイス実現が期待できるとともに、生体埋植デバイスを用いた様々な医療機器への展開が可能である。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。