

論文内容の要旨

博士論文題目 Development of Stimulus Electrodes for High Resolution Retinal Prosthetic Devices (高分解能人工視覚デバイスの刺激電極に関する研究)

氏名 潘 羿利

(論文内容の要旨)

人工視覚デバイスは、網膜細胞の電気刺激により光覚の再建を目指すものである。人工視覚デバイス開発の課題のひとつに、フレキシブルかつ体内埋植可能な高分解能な刺激電極アレイの実現がある。この課題を解決するため、本研究では、マルチチップアーキテクチャの網膜刺激デバイスを提案した。このデバイスは柔軟性を示し、in vitro および in vivo 実験に適用可能である事を示した。さらに多極化に向けた取り組みとして、IrO_x と TiN の電極をスパッタリング法で作製した。電極の電荷注入能力を最大化する為、スパッタリング条件の最適化を行なった。

第1章では人工視覚について概観を行い、本論文の目的と構成を述べている。第2章では、人工視覚について、その原理、方式について詳細に述べ、更に電気化学的な視点から電極材料について詳述している。

CMOSチップの材料であるSiの脆性のため、フレキシブルな網膜刺激デバイスを作製する事は容易ではない。そこで、第3章では複数の小型チップを組み合わせたマルチチップアーキテクチャを提案している。試作デバイス上には16個の単位チップが搭載され、それぞれの単位チップは4本の配線で相互接続される。単位チップ及び、チップ上の刺激電極にはID番号が割り当てられ、制御信号により選択可能である。選択された電極が刺激信号線に接続され、刺激を行う。デバイスサイズは4x7mmである。作製したデバイスはin vitro 実験により評価し、生理食塩水中で正常動作する事を確かめた。

Ptは電極材料として最も広く用いられているが、charge storage capacity (CSC) および charge delivery capacity (CDC)が低い事が指摘されている。人工視覚デバイスの多極化のためには、CSC, CDCの高い電極材料が必要である。第4章、第5章では、IrO_x および TiN 電極をスパッタリング法で作製し、スパッタリング条件の最適化により、CSC, CDCを最大化した結果について詳述している。作製した電極の電気化学的特性はインピーダンス計測、CV測定、パルス電流印加時の電位応答により評価した。最適化したIrO_xとTiNのCSCはPt比で80倍、14倍であった。パルス電流印加時の電極電位応答の結果、IrO_xの電位変動はPt, TiNよりも小さく、最適化したIrO_x

および TiN の CDC は Pt 比でそれぞれ 8 倍, 4 倍であった。SEM および AFM 観察により, IrO_x および TiN サンプルの表面モルフォロジーを AFM により評価した。CSC の大きなサンプルは, CSC の小さなサンプルよりも大きな表面粗さを示した。さらに TiN の断面 SEM 観察を行なった。その結果, スパッタリング法により作製した TiN がコラム構造を呈する事が分かった。粗い表面やコラム構造により溶液との接触面積が増大し, Pt よりも大きな CSC, CDC を示したと考えられる。第 6 章では IrO_x と TiN, Pt について人工視覚電極としての特性の比較を行っている。

以上のように, 高分解能人工視覚を実現するための基本技術の確立に成功した。本研究で得られた知見により, 人工視覚実現への貢献だけでなく広く神経補綴デバイス等臨床応用にも発展が期待出来る。

氏名	潘 羿利
----	------

(論文審査結果の要旨)

人工視覚デバイスは、網膜細胞の電気刺激により光覚の再建を目指すものである。人工視覚デバイス開発の課題のひとつに、フレキシブルかつ体内埋植可能な高分解能な刺激電極アレイの実現がある。この課題を解決するため、本研究では、マルチチップアーキテクチャの網膜刺激デバイスを提案した。このデバイスは柔軟性を示し、in vitro および in vivo 実験に適用可能である事を示した。さらに多極化に向けた取り組みとして、IrOx と TiN の電極をスパッタリング法で作製した。電極の電荷注入能力を最大化する為、スパッタリング条件の最適化を行なった。

CMOS チップの材料である Si の脆性のため、フレキシブルな網膜刺激デバイスを作製する事は容易ではない。そこで、複数の小型チップを組み合わせたマルチチップアーキテクチャを提案している。試作デバイス上には 16 個の単位チップが搭載され、それぞれの単位チップは 4本の配線で相互接続される。単位チップ及び、チップ上の刺激電極には ID 番号が割り当てられ、制御信号により選択可能である。選択された電極が刺激信号線に接続され、刺激を行う。デバイスサイズは 4x7mm である。作製したデバイスは in vitro 実験により評価し、生理食塩水中で正常動作する事を確かめた。

Pt は電極材料として最も広く用いられているが、charge storage capacity (CSC) および charge delivery capacity (CDC)が低い事が指摘されている。人工視覚デバイスの多極化のためには、CSC, CDC の高い電極材料が必要である。そのため IrOx および TiN 電極をスパッタリング法で作製し、スパッタリング条件の最適化により、CSC, CDC を最大化した結果について詳述している。作製した電極の電気化学的特性はインピーダンス計測、CV 測定、パルス電流印加時の電位応答により評価した。最適化した IrOx と TiN の CSC は Pt 比で 80 倍、14 倍であった。パルス電流印加時の電極電位応答の結果、IrOx の電位変動は Pt, TiN よりも小さく、最適化した IrOx および TiN の CDC は Pt 比でそれぞれ 8 倍、4 倍であった。SEM および AFM 観察により、IrOx および TiN サンプルの表面モルフォロジーを AFM により評価した。CSC の大きなサンプルは、CSC の小さなサンプルよりも大きな表面粗さを示した。さらに TiN の断面 SEM 観察を行なった。その結果、スパッタリング法により作製した TiN がコラム構造を呈する事が分かった。粗い表面やコラム構造により溶液との接触面積が増大し、Pt よりも大きな CSC, CDC を示したと考えられる。

以上のように、高分解能人工視覚を実現するための基本技術の確立に成功した。本研究で得られた知見により、人工視覚実現への貢献だけでなく広く神経補綴デバイス等臨床応用にも発展が期待出来る。

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。