

論文内容の要旨

博士論文題目：分散型人工視覚デバイス実用化に向けた微細気密パッケージと低抵抗フレキシブル多層配線基板の開発

(Development of micro-hermetic packages and multilayer flexible circuit boards for retinal prostheses)

氏 名：高野 拓郎

(論文内容の要旨)

人工視覚デバイスは失明した患者に対し、失われた光覚情報を補綴する医療機器の総称である。先行研究において、外界情報を 49 個の電極からの電気刺激に代替したデバイスの患者への有効性が示された。一方で、患者の Quality of Vision (QoV) への要求に対しては広視野・高解像度を目指した人工視覚デバイスが必要である。少数の共通配線で複数のチップを制御する技術を用いて多数電極を制御する分散型人工視覚デバイス方式は広視野・高解像度が実現できる方式として期待されているが、その実用化には、チップを生体組織から保護する気密封止パッケージの小型化が必要不可欠である。また、眼球形状に追従可能なフレキシブル性と配線抵抗の抑制を両立した配線基板も必要不可欠である。一方で、これらの仕様を十分に満たす技術確立はなされていない。本研究では、分散型人工視覚デバイス方式に適した生体埋植可能な小型気密封止パッケージの開発と低抵抗フレキシブル配線基板開発を実施した。

生体埋植可能な小型気密封止パッケージは埋植時のハンドリング性を重視したキャビティ構造とパッケージの小型化を重視した無機封止膜の両面から検討を行った。微細気密封止パッケージの評価方法として微細湿度センサーを開発し、ガラスを主剤としたキャビティ構造の気密封止パッケージの評価を行った。キャビティ構造の気密性維持寿命は生体温度環境下で約 105 日となった。

無機封止膜には膜の被覆性能が他の手法と比較して高いことが報告されている原子層堆積法 (ALD: Atomic layer deposition) による薄膜を使用した。実デバイスを想定し金属配線と導電性樹脂による接合を有する高アスペクトサンプル全面に ALD 膜を実装し、加速寿命試験により封止性能を評価した。加速試験の結果、無機封止積層膜の封止性能寿命は生体温度環境下で約 3.6 年であった。また、無機積層膜の封止方法についても検討を行った。金バンプを介した超音波実装により封止材である樹脂材を排除したサンプルを作製し封止性能を評価した。加速試験の結果、無機封止積層膜の封止性能寿命は生体温度環境下で 10 年以上であった。

配線抵抗の抑制のために Pt バルク材料をフレキシブル基板上でレーザー加工することで配線を形成する技術と抵抗溶接による層間接続技術とを確立し、低抵抗 3 層フレキシブル配線基板を実現した。作製した配線基板の繰り返し曲げ試験を行い、500 回の曲げ試験期間で配線抵抗の顕著な変化は計測されず、機械的強度が保たれていることを実証した。

本研究において得られた成果や知見は、分散型人工視覚デバイス実用化に結び付き失明患者の QoL (Quality of Life) 向上に資するだけでなく、他の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)

人工視覚デバイスは失明した患者に対し、失われた光覚情報を補綴する医療機器の総称である。先行研究において、外界情報を 49 個の電極からの電気刺激に代替したデバイスの患者への有効性が示された。一方で、患者の Quality of Vision (QoV) への要求に対しては広視野・高解像度を目指した人工視覚デバイスが必要である。少数の共通配線で複数のチップを制御する技術を用いて多数電極を制御する分散型人工視覚デバイス方式は広視野・高解像度が実現できる方式として期待されているが、その実用化には、チップを生体組織から保護する気密封止パッケージの小型化が必要不可欠である。また、眼球形状に追従可能なフレキシブル性と配線抵抗の抑制を両立した配線基板も必要不可欠である。一方で、これらの仕様を十分に満たす技術確立はなされていない。本研究では、分散型人工視覚デバイス方式に適した生体埋植可能な小型気密封止パッケージの開発と低抵抗フレキシブル配線基板開発を実施した。

生体埋植可能な小型気密封止パッケージは埋植時のハンドリング性を重視したキャビティ構造とパッケージの小型化を重視した無機封止膜の両面から検討を行った。微細気密封止パッケージの評価方法として微細湿度センサーを開発し、ガラスを主剤としたキャビティ構造の気密封止パッケージの評価を行った。キャビティ構造の気密性維持寿命は生体温度環境下で約 105 日となった。

無機封止膜には膜の被覆性能が他の手法と比較して高いことが報告されている原子層堆積法 (ALD: Atomic layer deposition) による薄膜を使用した。実デバイスを想定し金属配線と導電性樹脂による接合を有する高アスペクトサンプル全面に ALD 膜を実装し、加速寿命試験により封止性能を評価した。加速試験の結果、無機封止積層膜の封止性能寿命は生体温度環境下で約 3.6 年であった。また、無機積層膜の封止方法についても検討を行った。金バンプを介した超音波実装により封止材である樹脂材を排除したサンプルを作製し封止性能を評価した。加速試験の結果、無機封止積層膜の封止性能寿命は生体温度環境下で 10 年以上であった。

配線抵抗の抑制のために Pt バルク材料をフレキシブル基板上でレーザー加工することで配線を形成する技術と抵抗溶接による層間接続技術とを確立し、低抵抗 3 層フレキシブル配線基板を実現した。作製した配線基板の繰り返し曲げ試験を行い、500 回の曲げ試験期間で配線抵抗の顕著な変化は計測されず、機械的強度が保たれていることを実証した。

本研究において得られた成果や知見は、分散型人工視覚デバイス実用化に結び付き失明患者の QoL (Quality of Life) 向上に資するだけでなく、他の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。