

2021年 2月 26日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学 専攻

学位審査委員会

委員長 内田 裕久



## 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                               |          |                                |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| 学位申請者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 井戸川 慎之介                                                                                                       |          | 学籍番号                           | 第143209号 |
| 申請学位                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 博士（工学）                                                                                                        | 専攻名      | 大学院工学研究科博士後期課程<br>電気・電子情報工学 専攻 |          |
| 博士学位論文名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | マイクロニードル電極デバイスによる神経計測の高品質化技術<br>(Improvements in neuronal recording quality of microneedle-electrode devices) |          |                                |          |
| 論文審査の期間                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2021年 1月 14日 ～ 2021年 2月 26日                                                                                   |          |                                |          |
| 公開審査会の日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2021年 2月12日                                                                                                   | 最終試験の実施日 | 2021年 2月12日                    |          |
| 論文審査の結果※                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 合格                                                                                                            |          | 最終試験の結果※                       | 合格       |
| <p>審査委員会(学位規程第6条)</p> <p>学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。</p> <p>委員長 澤田 和明 </p> <p>委員 鯉田 孝和  河野 剛士 </p> <p style="text-align: center;">印 印 印</p> |                                                                                                               |          |                                |          |

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

脳組織内のニューロン活動を高い時空間分解能で計測する微小電極法は、侵襲性、信号対雑音比の観点において、その計測技術の更なる高性能化が求められている。半導体シリコン (Si) の結晶成長技術の一つである Vapor-Liquid-Solid (VLS) 法は、10  $\mu\text{m}$  以下の直径のこれまでにない低侵襲な電極形成を可能とするが、電極の高いインピーダンス特性とそれに伴う信号対雑音比の低下が課題であった。本論文は、この VLS 法を用いた低侵襲なマイクロニードル電極デバイスによるニューロン計測技術の高性能化を実現したものである。

本論文は 6 章からなり、各章の構成は以下のとおりである。第 1 章では、序論として本研究の背景である各種計測方法と既存のデバイス技術を述べると共に本論文の構成を示している。第 2 章では、低侵襲な電極を製作するための VLS 法について記している。第 3 章では、同軸構造を持つマイクロニードル電極デバイスの設計、製作プロセスを述べ、実際に製作したデバイスの特性評価を行った後、マウスを用いたニューロン計測とその差動計測による信号対雑音比、並びにニューロン発火検出確度の向上を示している。第 4 章では、Si-MOSFET を用いたソースフォロア回路による生体埋め込み可能なフィルム型アンプを新たに提案し、製作したデバイスの各種電気的特性評価を示している。第 5 章では、マイクロニードル電極デバイスを駆動可能なワイヤレス計測システムの設計、製作と特性評価について述べている。このシステムの有用性をマウスを用いた急性、慢性計測、自由行動下実験をとおして示している。最終章では、本研究で得られた知見及び本技術の今後の展望を示し、本研究を総括している。

## 審査結果の要旨

微小電極を用いる電気生理学的計測手法は、他の計測法と比較して高い時空間分解能におけるニューロン活動を計測できる利点がある。しかし、従来電極では数十 $\mu\text{m}$ 以上の電極直径に伴う組織損傷、更に信号対雑音比が低い課題があった。この課題を解決することを目指し、本論文では、同軸構造から着想したVLS法により作製したマイクロスケールのコアキシャル電極を提案している。また、直径が10  $\mu\text{m}$ 以下の電極の欠点である高インピーダンス特性を解決するSi-MOSFETを用いたソースフォロア回路とその生体への埋め込みに向けた基板の薄膜化技術の開発を行っている。これらの技術開発は、特性評価、動物実験をとおして、提案する計測技術の有用性をそれぞれ示している。直径が10  $\mu\text{m}$ 以下の同軸構造の電極を用いた差動計測法により、同直径の微小電極による信号対雑音比を1.5倍、観測されたスパイク数を2.5倍に向上させた結果は、本研究の顕著な成果である。また、更に従来の有線計測による動物行動の阻害と配線に起因する雑音の課題を解決するワイヤレス技術を提案している。既存のワイヤレスシステムはその形状が大きく、重量の観点においてもマウス等の小動物に用いることができなかったが、本論文で提案したワイヤレス技術は、マイクロニードル電極用の回路を構成しつつ、従来システムからの小型化、軽量化を実現している。更に、マウスを用いた動物実験をとおして、急性、慢性、自由行動下実験共にニューロン計測を確認するだけでなく、有線計測との比較において信号対雑音比が向上することを示している。これらの研究成果は、従来の微小電極を用いたニューロン計測技術の高性能化を実現するもので、電気生理学、脳神経科学、センサ、デバイス工学など学術的、工学的に高く評価できる。

以上より本論文は博士（工学）の学位に相当するものと判定した。

(各要旨は1 ページ以上可)