

2026年 2月 24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 八井 崇

## 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   | 佐々木 陽向  |          | 学籍番号                          | 第 171204 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   | 低侵襲マイクロニードル電極による慢性in vivoニューロン計測技術の開発<br>(Development of chronic in vivo neural recording technology using minimally invasive microneedle electrodes) |          |                               |            |
| 論文審査の期間   | 2026年 1月 15日 ～ 2026年 2月 20日   |          |                               |            |
| 公開審査会の日   | 2026年 1月 30日  | 最終試験の実施日 | 2026年 1月 30日                  |            |
| 論文審査の結果*  | 合格  |          | 最終試験の結果*                      | 合格         |
| 審査委員会(学位規程第6条)  |   |          |                               |            |
| 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。 |   |          |                               |            |
| 委員長   | 高橋 一浩   |          |                               |            |
| 委員  | 沼野 利佳   |          | 河野 剛士                         |            |
|   |   | 印        |                               | 印          |
|   |   | 印        |                               | 印          |

※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

脳組織内の神経細胞（ニューロン）活動を高い時空間分解能で長期的に計測する刺入型微小電極法は、脳神経科学および医療分野において重要な基盤技術である。一方で、電極の太さや高剛性に起因する急性および慢性の組織損傷、ならびに電極微小化に伴う高インピーダンス化による信号対雑音比の低下が大きな課題となっている。Vapor-Liquid-Solid (VLS) 結晶成長法を用いた直径  $5\ \mu\text{m}$  の Si マイクロニードル電極は、低侵襲な刺入を可能とするが、硬質基板構造やニードル自体の高剛性に起因する慢性損傷が問題として残されていた。さらに、従来技術では計測の長期安定性や自由行動下での応用に限界があった。

本論文は、VLS 結晶成長技術を基盤としつつ、フレキシブル基板およびフレキシブルマイクロニードル構造を導入した低侵襲電極デバイスを新たに開発し、慢性 *in vivo* ニューロン計測技術の高性能化を実現したものである。自立刺入性と高い柔軟性を両立したマイクロニードル電極構造を確立し、長期安定なニューロン信号計測を実証した。本論文は全 6 章から構成される。第 1 章では研究背景と目的を述べ、第 2 章では刺入型電極における損傷およびノイズ要因を明らかにしている。第 3 章では VLS 法によるマイクロニードル電極の作製技術を構築している。第 4 章では、作製したフレキシブル基板上に形成した Si マイクロニードル電極デバイスを使用して長期 *in vivo* ニューロン計測および組織損傷評価を行い、ニューロン信号の長期安定計測の実証ならびに組織損傷の低減を明らかにしている。第 5 章では、中空構造を有する Parylene マイクロニードル電極デバイスの作製とその有効性を検証し、第 6 章において本研究の総括を行う。

## 審査結果の要旨

刺入型微小電極を用いた電気生理学的計測手法は、他の脳計測技術と比較して優れた時空間分解能でニューロン活動を直接計測できる点で重要である。一方で、従来の微小電極は電極直径や高剛性に起因する急性および慢性の脳組織損傷、ならびに電極微小化に伴う信号対雑音比の低下といった課題を有していた。

本論文は、これらの課題を解決することを目的として、VLS 結晶成長法を用いたマイクロニードル電極技術を基盤に、低侵襲かつ長期安定な *in vivo* ニューロン計測技術の確立を目指したものである。本論文では、VLS 法により形成した直径  $5\ \mu\text{m}$  の Si マイクロニードル電極にフレキシブル基板およびフレキシブルマイクロニードル構造を導入することで、長期埋め込みに適した基板構造だけでなく、自立刺入性と柔軟性を両立したマイクロニードルを実現した。マウスを用いた組織学的評価および長期 *in vivo* 計測においては、フレキシブル基板上に形成した Si マイクロニードル電極により、慢性期における組織損傷の低減を示すとともに、617日にわたるニューロン信号の長期安定計測を実証している点が高く評価できる。加えて、中空構造を有する Parylene マイクロニードル電極を新たに提案し、低損傷条件下による計測信号回復を実験的に検証している。これらの成果は、刺入型微小電極における低侵襲性、高品質計測、および長期安定性という従来困難であった課題に対し、マイクロニードルとフレキシブル基板を組み合わせたデバイス構造に基づく設計指針を提示するものである。以上の研究成果は、電気生理学、脳神経科学、センサ・デバイス工学分野の発展に寄与するものであり、動物実験による長期安定計測の実証まで含めて体系的に検証されていることから、独創性および研究としての完成度の両面において博士（工学）の学位に十分相当するものと判断される。

よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値するものと認める。

(各要旨は 1 ページ以上可)