

2022年 2月 25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

石川靖彦



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	松井 拓人		学籍番号	第 143275 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 電気・電子情報工学 専攻	
博士学位 論文名	半導体デバイスの開封前に適用可能な超音波加熱を利用した 故障箇所絞込み技術 (Fault Location Technique Using Ultrasonic Heating Applicable to Semiconductor Devices prior to Decapsulation)			
論文審査の 期間	2022年 1月 13日 ~ 2022年 2月 25日			
公開審査会 の日	2022年 2月 1日	最終試験の 実施日	2022年 2月 1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	滝川 浩史			
委員	若原 昭浩		印	
	村上 義信		印	
	穂積 直裕		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

半導体デバイスが市場で故障すると、原因を調査するための故障解析が行われる。電子顕微鏡などによる顕微鏡的観察に先立ち、配線面上における故障箇所を概略絞り込む必要がある。広く利用される光学的観察手法は、保護層を除去する必要があるため、故障の再現性を損なう懸念がある。熱像や電磁プローブによる方法では、保護層を介した観察ができるが、空間分解能は低い。本論文では、保護層を除去せずに、既存の方法よりも高い分解能で故障箇所を絞り込むため、集束性と透過性に優れた超音波加熱により配線面に温度変化を生じさせ、その電気抵抗の変動を記録し画像化する方法を提案している。

第1章は研究目的と学位論文の構成を述べている。第2章では、研究の背景と着想に至った過程を説明している。第3章では、提案する測定原理と実際に試作した測定系を説明している。第4章では、模擬試料を用いて画像を取得するとともに、音場と熱伝導計算を組み合わせた数値解析との一致をみている。第5章では、保護層を形成する封止樹脂が介在する条件下においても高い感度を得られることを実験的に示すとともに、樹脂内での音響的共振が感度に影響することを計算と実験で示している。さらに、任意の厚さの樹脂層に対し、広帯域超音波の反射波形を周波数解析して、最も高い感度を得られる条件を求める方法を提案している。加えて、実用のデバイスに適用して観察を行った画像と、開封後明らかとなった故障状況との一致を確認している。第6章では、積層構造を有するデバイスに適用し、異なる深さの配線面上にある故障を選択的に観察できることを示している。第7章では全体をまとめ、他の手法に対する優位性を論ずるとともに、提案する手法の将来課題に言及している。

審査結果の要旨

半導体デバイスの故障箇所の絞り込みには、光加熱による配線抵抗の変動を検出して画像化する手法が広く用いられるが、通常保護層を形成する封止樹脂の開封作業が必要となる。樹脂の開封は故障の再現性を損なう懸念があるため、開封せずに観察可能な手法として、磁場や拡散温度場を観察する手法が援用されているが、空間分解能に限界がある。本論文は、高周波超音波の高い透過性と集束性を利用して、樹脂層を介して配線付近を選択的に加熱し、それによる配線抵抗の変動を検出して画像化する新しい観察手法を提案している。

高感度化のために、刺激信号を変調して電気抵抗の変動をロックイン検出するとともに、適切なキャリアおよび変調周波数を選択するなどの工夫が施されている。模擬試料を用いた観察を行い、音場と過渡温度場を考慮した計算結果と実験結果との一致をみている。樹脂層内での音響的共振が感度を向上させることに着目し、最適周波数条件を計算およびエコー測定によって決定する方法を提案している。企業との共同研究により、実際のデバイスに応用し、良好な結果が得られている。また、今後問題となる積層試料の観察についても、可能性を示す結果が得られている。

これら一連の成果は、半導体デバイスの新しい故障解析手法として高く評価できる。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断した。

(各要旨は1ページ以上可)

2022年 2月 17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 石川 靖彦

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	山下 幸司		学籍番号	第153280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 電気・電子情報工学 専攻	
博士学位論文名	Implantable microelectrode devices for chronic neuronal recordings in mice (マウス慢性ニューロン計測に向けた埋め込みマイクロデバイス)			
論文審査の期間	2022年 1月 13日 ~ 2022年 2月 17日			
公開審査会の日	2022年 2月17日	最終試験の実施日	2022年 2月17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	澤田 和明			
委員	鯉田 孝和		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

脳機能の理解のために、神経細胞（ニューロン）の活動信号を高い時空間分解能で長期間かつ安定的に計測する慢性電極デバイス技術が求められている。マイクロデバイス技術の発展により、複数のニューロンからの信号を同時に計測可能な電極デバイスがこれまで提案されている。しかしマウスに埋め込んで長期安定的にニューロン信号を計測できるマイクロデバイスに関する技術は確立されていなかった。本論文は、マウスに埋め込んで長期安定的にニューロン計測を可能とする埋め込みマイクロデバイス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、序論として既存の電極マイクロ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、電極デバイスの刺入及び埋め込み方法として溶解性材料を適用した新規手法について記している。第3章では、高い柔軟性かつ生体適合性の材料であるパリレンを用いた糸状のマイクロデバイスを実現したことと、そのデバイスの脳組織への埋め込み技術とマウス筋電位計測結果について述べている。第4章では、直径が5 μm のシリコンマイクロニードル電極デバイスのマウス脳への刺入及び埋め込み技術を確立し、慢性計測に向けた安定性評価を行なっている。さらに組織に対してそのデバイスが低損傷であることを免疫組織染色法により示している。第5章では、パリレン薄膜を基板としたシリコンマイクロニードル電極アレイデバイスを実現したことと、本提案技術の有用性を、マウス長期計測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、本論文を総括している。

審査結果の要旨

脳機能の理解やパーキンソン病やアルツハイマー病などの研究において、実験動物の脳から長期に渡り安定的にニューロン信号を計測する技術が重要である。しかし、既存の電極デバイスは、その大きさに伴う侵襲性だけでなく、電極の刺入や埋め込みに伴う脳組織損傷、さらに計測できるニューロン信号の劣化が課題であった。これらの課題を解決するため、本研究では、マウス等の小型な動物に対しても低侵襲で長期安定的なニューロン計測を可能とするマイクロデバイスの埋め込み技術に取り組んでいる。まず、脳組織内で柔軟性を有する糸状のパリレン製マイクロデバイスを設計・製作している。さらに溶解性材料を応用したデバイスの埋め込み技術を提案し、低侵襲性でかつ高い精度で所望する位置に電極を刺入できる技術を確立し、マウス筋電位及び脳組織からのニューロン信号の計測を実証している。この溶解性材料は直径5 μm のシリコン製マイクロニードル電極デバイスのマウス脳組織への刺入にも応用している。次に脳組織にデバイスの基板を固定しない埋め込み技術を提案し、固定して計測する従来の手法に比べてニューロン計測における長期安定性を向上させている。免疫組織染色による評価では、デバイスの埋め込みに伴う組織損傷の低減も確認しており本提案技術の有用性が示されている。更なる低侵襲性の実現を目的に、マイクロニードルの基板材料である剛性の高いシリコンを柔軟性の高いパリレンに置き換えたマイクロデバイスを実現し、数ヶ月に渡るマウス脳からの安定したニューロン計測に成功している。これらの研究成果は、長期安定的な脳計測に向けた既存の埋め込みマイクロデバイスの課題を解決する技術として、電気生理学、脳神経科学、センサ・デバイス工学などにおいて学術的、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）

2022年 3月 3日

豊橋技術科学大学長 殿
教育戦略本部長 殿

リーディングプログラム推進室長



南 哲人 

(Screening Results for Completion of Leading Graduate School Program)

リーディングプログラム学位審査結果報告

Organization for Leading Graduate School Program at Toyohashi University of Technology reports the screening results of Leading Program Degree as follows.

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

Applicant's name 学位申請者	Koji Yamashita 山下 幸司		
Degree 申請学位	Doctor of Philosophy (Engineering) 博士 (工学)		
Title of Thesis 博士學位論文名	Implantable microelectrode devices for chronic neuronal recordings in mice (マウス慢性ニューロン計測に向けた埋め込みマイクロデバイス)		
(Period of Screening) 論文審査の期間	令和4年 1月13日 ~ 令和4年 2月17日		
(Public Defense) 公開試験の日	令和4年 2月17日	(Final Examination) 最終試験の実施日	令和4年 2月17日
Results of Screening 論文審査の結果*	<input checked="" type="checkbox"/> Pass, 合格 <input type="checkbox"/> Fail, 不合格	Results of Examination 最終試験の結果*	<input checked="" type="checkbox"/> Pass, 合格 <input type="checkbox"/> Fail, 不合格
(Screening Committee) 審査委員会 (リーディングプログラム) **			
学位申請者にかかる博士學位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙リーディングプログラムにかかる審査結果の要旨のとおり確認したので、機構長に報告します。			
委員長	澤田 和明 		
委員	大澤 匡弘 	石井 仁 	
	河野 剛士 	Antal Berényi 	
	印		印
	印		印

*論文審査の結果及び最終試験の結果は「Pass, 合格」又は「Fail, 不合格」に印を付すこと。

**外部機関所属の審査委員については、審査委員会委員長が代わりに押印できる。

審査員所見

報告会・審査会 名称	リーディングプログラム学位審査委員会		
所属専攻	電気・電子情報工学 専攻	学 年	博士後期課程3年
審査対象者氏名	山下 幸司	主指導教員 氏 名	河野 剛士
論文数	2編	国際会議 発表実績	2件
単位修得状況 (博士後期課 程)	区 分	修得単位・科目数	修得見込単位・科目数
	専攻科目	10単位/12単位	8単位
	ブレイン情報 アーキテクト科目	必修 3科目/4科目	1科目
	(5年通年)	選択必修 4科目/4科目	0科目
審査期間	令和4年 1月13日 ~ 令和4年 2月17日		

審査委員名	所見 (進捗状況・マネジメント活動 等)	判定*
審査委員長 澤田 和明	デバイスの作製からその応用、信号解析を丁寧にすすめておりリーディング学生として高く評価したい。	合
大澤 匡弘	自由行動下の動物から脳活動の記録を行うため、様々なアプローチを開発し、脳活動を検出するための装置を開発しており、脳研究の発展に大きな貢献をしています。博士論文として十分であると思います。	合
石井 仁	低侵襲なマウスの慢性脳シグナル計測技術を開発し長期に渡る計測に成功している。 研究は良く進展し、当該分野に新たな知見を与えるものと認められる。リーディングプログラム履修生としても研究室の後輩の指導を積極的に行ってリーダーシップを発揮した。	合
Antal Berényi	The candidate performed an excellent work throughout his research project. The methodology he applied reflects a broad knowledge of the state-of-the-art techniques. His topic seeks solutions to timely problems of experimental neuroscience, and I am confident that his solutions are going to help advancing the field. The way he presents his results reflects high precision and sophisticated personality. His doctoral thesis meets the highest criteria both scientifically and esthetically. It's easy to read and comprehend; it's goals are clearly articulated; the state-of-the art is clearly delineated. The candidates own contribution, methodology and results are well presented in details.	合

