

令和 2年 2月 28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 櫻井 庸司



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	熊谷 隼人		学籍番号	第 133235 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	エラストマーナノシートを用いた伸縮性プラズモニックメタマテリアル (Stretchable Plasmonic Metamaterial using an Elastomer Nanosheet)			
論文審査の期間	令和 2年 1月 16日 ~ 令和 2年 2月 28日			
公開審査会の日	令和 2年 2月 12日	最終試験の実施日	令和 2年 2月 12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 内田裕久  石川靖彦  高橋一浩  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

本論文は、微小電気機械システム (MEMS) アクチュエータで駆動可能なサブミクロン厚の伸縮性プラズモニックメタマテリアルを作製し、表面プラズモンによる異常透過光をひずみの印加によって動的に制御するシートの原理実証を行ったものである。従来報告されてきたプラズモニックメタマテリアルの反射/透過特性を動的に制御する研究では、マイクロシステムに搭載・駆動可能な超薄膜の構造は報告されていなかった。そこで本論文では、金属サブ波長格子からなるプラズモニックメタマテリアルを膜厚 400 nm のシート (ナノシート) 中に埋設した構造を作製し、表面プラズモンの異常透過波長を動的に制御可能なナノシートを実現している。ひずみの印加により 495・660 nm の波長域で波長が変えられることを示すとともに、繰り返し伸縮動作が可能であることを実証している。

本論文は全 6 章から構成されている。第 1 章では、表面プラズモンの異常透過光を動的に制御する従来手法についての記述とともに、周期構造の作製後に周期を任意に制御することで、表示素子や撮像素子、情報通信分野において表面プラズモンを能動素子として応用する研究動向をまとめている。第 2 章では、ナノシート中に埋設したプラズモニックメタマテリアルの周期の変化によって透過光のピーク波長制御が可能であることを示している。第 3 章では、伸縮動作可能な薄膜材料の検討を目的にエラストマーをナノシート化した構造を作製している。そのシートの光学機械特性を評価することによって伸縮駆動に耐えうる特性を有していることを明らかにしている。第 4 章では、プラズモニックメタマテリアルをエラストマーナノシートに転写形成する作製技術を提案し、ナノ構造の周期に依存したカラーフィルタ特性の取得に成功したことを述べている。第 5 章では、メタマテリアルを埋設した 400 nm 厚の伸縮性プラズモニックカラーシートを作製し、シートへのひずみ印加に依存した異常透過光の波長シフトを実証するとともに、この値が理論計算結果に合致することも示している。最後に第 6 章では、本論文を総括するとともに、今後の展望と課題について記述している。

審査結果の要旨

表面プラズモンを利用した光の異常透過現象は、高い光透過率と空間分解能、波長選択性を有し、次世代の波長選択フィルタやイメージセンサへ向けた基礎研究が進められている。この光透過特性はサブ波長周期構造により励起される表面プラズモンにより決定されるため、周期構造を制御することで能動素子として使用することができる。伸縮性を持つシート中にプラズモニック構造を形成することにより、構造物のひずみの検出・視覚化を可能にし、さらに MEMS との一体化により可変カラーフィルタの実現が期待される。

本論文では、エラストマー材料のナノシート中に金属サブ波長格子からなるプラズモニックメタマテリアルを形成し、表面プラズモンによる異常透過光の動的制御に成功している。弾性変形領域が広いエラストマーナノシートの光学機械特性を評価し、38%以上のひずみ印加とその繰り返し動作を実現している。一方でエラストマーナノシートを半導体プロセスへ適用する際に、化学薬品やエッチングガスによる破断、ナノシート特有の高い凝着力による基板への貼り付きが問題である。この問題を解決するために、水溶性のポリビニルアルコール犠牲層を介してバルク基板へエラストマーナノシートを固定し、メタマテリアル形成後にシートを剥離することで、膜厚 400 nm の伸縮性プラズモニックカラーシートを作製することに成功した。ナノシートへの圧縮ひずみ印加によって透過ピーク波長の 495 nm から 660 nm に及ぶ変化を実現した。さらに、均一な格子周期変化を想定して作り分けたピクセルを格子周期 300 - 600 nm で作製し、より短波長領域の 439 nm から 641 nm に及ぶ変化を実現した。作製したシートを伸縮動作させるための駆動力は、従来技術より 2-3 桁小さく、一般的な MEMS アクチュエータの発生力で十分に駆動可能である。理論計算通りに動作する伸縮性プラズモニックカラーシートは、今後の MEMS 波長可変デバイスの実現に貢献するものであり、学術的および工学的に高く評価できる。

以上により、本論文は博士 (工学) の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は 1 ページ以上可)

令和 2年 2月 28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 櫻井 庸司

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	森川 雄介		学籍番号	第133275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	Stretchable Kirigami devices for biological applications (生体応用に向けた伸縮性切り紙デバイス)			
論文審査の 期間	令和 2年 1月 16日 ~ 令和 2年 2月 28日			
公開審査会 の日	令和 2年 2月 14日	最終試験の 実施日	令和 2年 2月 14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	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

脳や心臓、筋肉等の生体信号の計測を可能とするデバイスは、精神疾患や神経疾患の治療、また切断患者や麻痺患者の失われた機能を補うためのブレイン・マシン・インターフェースやヒューマン・マシン・インターフェースへの応用が期待される。しかし、ポリマー材等による既存の柔軟性デバイスはヤング率が大きく、生体に応用するには組織損傷等の課題があった。本論文は、高い伸縮性を実現するKirigami構造のデバイス技術による、既存の生体計測用デバイスでは実現できなかった各種生体組織への応用の実現性を示したものである。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、序論として生体用のデバイス技術の背景を述べると共に本論文の構成を記している。第2章では、提案するKirigamiデバイスの応力変形モデルとシミュレーションが示されている。第3章ではデバイスの設計指針を示し、生体計測応用として電極を集積したKirigamiデバイスの製作並びに製作したデバイスの電気的特性及び機械的特性が評価されている。また、マウスを用いた脳波計測及び心電図計測においてデバイスの実用性を示している。第4章では、デバイスの位置ずれの課題を解決するドーナツ型Kirigamiデバイスの設計、製作、デバイスの特性評価を示し、マウスの後脚を用いた実験をとおしてデバイスの位置ずれの低減を示している。第5章では、マウスの心臓に対して光刺激を行うLED及び信号計測用の電極を配置したKirigamiデバイスを提案し、その製作及び評価によりデバイスの有用性を示している。最終章では、本研究で得られた知見及び本デバイス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

生体計測用のデバイスには、埋め込みによる生体への影響を抑えるため、材料の生体適合性に加えて、ヤング率などの機械的特性が生体組織に対して近いことが望まれる。しかし、ポリマー材等により製作された既存の柔軟性デバイスは、そのヤング率が生体組織に対して大きく、生体組織に応用するには組織損傷等の課題があった。この課題を解決するものとして、申請者は、生体への親和的な埋め込みを実現する、Kirigami構造を用いた高い伸縮性、柔軟性を示す各種デバイスを提案し、その設計、製作技術の確立、デバイスの特性評価及び動物実験による評価をとおして提案するデバイスの有用性を示した。本研究の顕著な成果として、申請者は、Kirigami構造を世界で初めて生体計測用のデバイスに応用し、その応力に対する変形モデルを導出すると共に、金属配線及び電極を集積化したデバイスの設計、半導体技術による製作プロセスを確立し、マウスを用いた脳波計測及び心電図計測においてデバイスの実用性を示した。また、既存の柔軟性デバイスを含む各種生体用のデバイスにおいて、変形する生体組織上におけるデバイスの位置ずれが課題であったが、申請者はこの問題を解決するため、新規にドーナツ型のKirigamiデバイスを提案し、実際にマウスの心臓及び後脚を用いた実験をとおして、変形する生体組織上のデバイスの位置ずれの低減及び生体信号の計測が可能であることを実証した。さらに、マウスの心臓に対して光刺激を行うLED及び心電図計測用の電極を集積化したKirigamiデバイスを提案し、その有用性を実証した。これらの研究成果は、学術的・工学的に評価できるだけでなく、既存の各種生体信号の計測技術の課題を解決する新規の手法として、脳神経科学、デバイス分野、材料分野からも高い評価を得ている。以上により、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)

2020年3月4日

豊橋技術科学大学長 殿
博士課程教育リーディングプログラム実施本部長 殿

リーディング大学院教育推進機構
機構長 中内 茂樹



(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	Yusuke Morikawa 森川 雄介		
Degree 申請学位	Doctor of Engineering 博士 (工学)		
Title of Thesis 博士學位論文名	Stretchable Kirigami devices for biological applications (生体応用に向けた伸縮性切り紙デバイス)		
(Period of Screening) 論文審査の期間	令和 2年 1月 16日 ~ 令和 2年 2月 21日		
(Public Defense) 公開試験の日	令和 2年 2月 14日	(Final Examination) 最終試験の実施日	令和 2年 2月 14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	金子 秀和		石井 仁
	河野 剛士		Patrick Ruther
		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。

**海外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。

