

光バイオプシーのためのミリ長ストローク  
熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発

2020年8月

橋 本 将 明

# 主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲 第 号	氏 名	橋本 将明
<p>主 論 文 題 名 :</p> <p>光バイオプシーのためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発</p>			
<p>光バイオプシー技術を用いた内視鏡下 <i>in vivo</i> 病理診断の実現が期待されている。光バイオプシーとは、生検を行わずに体内病変部位の <i>in vivo</i> 観察を行う内視鏡下光学測定技術である。しかし、内視鏡下では数ミリ程度の臓器収縮運動（心臓の鼓動・呼吸運動・ぜん動運動といった生体運動）由来のモーションアーチファクトによって光学測定の定量性が失われるため、モーションアーチファクトを除去可能な光測定技術が求められている。そこで本論文では、フォーカストラッキング光測定によってモーションアーチファクトを劇的に低減可能であることに着目し、フォーカストラッキング光測定システムを内視鏡に実装するためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発を目的とした。</p> <p>第1章に、光バイオプシー技術の現状を概説した上で、光バイオプシー基盤技術としての本研究の位置づけを示し、本論文の目的を述べた。</p> <p>第2章では、モーションアーチファクトを低減可能なフォーカストラッキング光測定システムについて述べた。光ドップラー血流信号と組織自家蛍光寿命信号を検知するプロトタイプ型測定システムをそれぞれ構築し、生体ファントムを用いた予備的検証によってフォーカストラッキング光測定システムのアーチファクト低減能を実験的に示した。</p> <p>第3章では、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーのデザインコンセプトについて述べた。紙に切れ込みをいれて折るだけで平面構造から立体構造を造形する切り紙をコンセプトとした熱駆動切り紙デザインを着想し、熱物性・機械特性を考慮した薄膜材料探索と電気-熱-機械連成有限要素解析によってシングルステップ型切り紙薄膜構造を設計した。ナノ薄膜の残留応力を高度に制御した微細加工プロセスフローを確立することで、シングルステップ型熱駆動マイクロスキャナーの作製に成功し、熱駆動切り紙デザインの妥当性を示した。</p> <p>第4章では、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの設計・作製・評価について述べた。従来のマイクロスキャナー技術では不可能なミリ長ストロークを低電力駆動で達成するために、アクチュエーション領域にバルクサポート構造体は一切存在しない円ピラミッド型切り紙薄膜構造を設計した。微細加工技術を用いて熱バイモルフが高密度に配置された切り紙自立薄膜を作製した。マイクロレンズ駆動評価において作製した円ピラミッド型熱駆動切り紙マイクロスキャナーはミリ長ストロークを低電力で達成した。さらに熱駆動切り紙マイクロスキャナーの集中定数モデルを構築し、静的・動的応答を解析することで熱機械特性を評価した。これらの結果より、本論文の目的としたフォーカストラッキング光測定システムを内視鏡に実装するためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発に成功し、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの熱輸送形態を明らかにした。</p> <p>第5章では、各章で得られた内容をまとめ、本論文の結論と今後の展望について述べた。</p>			

Thesis Abstract

No. \_\_\_\_\_

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	HASHIMOTO, Masaaki
Thesis Title <p style="text-align: center;">Development of Millimeter-Stroke Electrothermal Kirigami Microscanner for Optical Biopsy</p>			
<p>An endoscopic <i>in vivo</i> diagnosis using optical biopsy technique is in high demand for clinical applications. Optical biopsy is an endoscopic optical sensing technique that enables the optical <i>in vivo</i> observation of lesions without tissue sample removal. From the viewpoint of clinical applications requiring high accuracy, motion artifacts due to natural organ motilities need to be eliminated. The motilities arise from gastric digestion, beating of the heart, and respiration/expiration. Although these motilities are slow, the displacement in the optical axis typically occurs in the millimeter range. In this study, millimeter-stroke electrothermal kirigami microscanner—a key component of focus tracking system for artifacts reduction—is developed.</p> <p>Chapter 1 summarizes the background and conventional optical biopsy techniques.</p> <p>Chapter 2 describes the focus tracking system for reduction of motion artifacts. The feasibility tests using a phantom as a measurement target show that the focus tracking system is capable of suppressing motion artifacts in both of laser doppler blood flow sensing and fluorescence lifetime sensing.</p> <p>Chapter 3 describes the design concept of the millimeter-stroke electrothermal kirigami microscanner. Inspired by the kirigami concept in which a plane paper is transformed into out-of-plane architecture by cutting and folding, a single-step electrothermally-actuated kirigami film structure is designed by finite element analysis considering the thermophysical properties of films. The freestanding single-step electrothermal kirigami scanner with high fill factor is completely fabricated by careful stress control in the microfabrication processes.</p> <p>Chapter 4 describes the design, fabrication and evaluation of the millimeter-stroke electrothermal kirigami microscanner. The circular pyramidal kirigami structure with no bulk support components is designed for millimeter actuation with low driving power. The circular pyramidal kirigami microscanner on a small footprint is fabricated by microelectromechanical system processes. The fabricated microscanner can achieve a millimeter-stroke microlens elevation with low power consumption. Furthermore, the thermomechanical behaviors of the fabricated microscanner are experimentally investigated using the lumped element model. From these evaluation results, the heat transport morphology of the microscanner is clarified, and the validity of the millimeter-stroke electrothermal kirigami microscanner for the focus tracking system is confirmed.</p> <p>Chapter 5 summarizes the conclusion of this study and future perspectives.</p>			