

令和元年6月19日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06041

研究課題名(和文) 蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサーを内蔵する高機能 $\mu$ -TASデバイスの開発研究課題名(英文) Development of a high functional  $\mu$ -TAS device with peristaltic micropump and micromixer

研究代表者

巖 祥仁 (Eom, Sang In)

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：20551576

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサーを内蔵する高機能 $\mu$ -TASデバイスのため誘電エラストマーアクチュエータを開発した。本研究ではマイクロチャンネル上に複数の誘電エラストマーアクチュエータを配置することを可能にする新しいMEMSプロセスを提案、開発した。MEMS技術を用いて誘電エラストマーアクチュエータを製造するために、誘電エラストマーとしてUV硬化性のPDMSを、電極としてUV硬化性で薄く柔軟性が高く成形でき、導電性が高いPEDOT:PSSを用いた。提案した製作方法を実現するためのパラメータを実験的に検討し、単層のアクチュエータを試作して性能を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MEMS技術を応用して積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータを製作することで、マイクロ化したアクチュエータの大量生産が可能になる。また、積層して多段階化したアクチュエータを用いて蠕動マイクロポンプと高機能能動マイクロミキサーを実現し、 $\mu$ -TASデバイスに内蔵することで安価で高性能の $\mu$ -TAS用デバイスが実現可能になり、生化学分野等の発展への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：A peristaltic micropump using dielectric elastomer (DE) actuators is proposed and a DE actuator is developed. In this research, we propose a novel MEMS process that enables us to place multiple DE actuators on the microchannel. In order to fabricate a DE actuator using a MEMS technology, UV curable materials for both compliant electrodes and DE were selected. We fabricated a diaphragm-type DE actuator using UV curable PEDOT:PSS and PDMS and its performances were evaluated.

研究分野：機械工学

キーワード：誘電エラストマーアクチュエータ 蠕動マイクロポンプ 能動マイクロミキサー MEMS UV硬化性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

$\mu$ -TAS における分析では、試料と試薬を混合しその反応を検出するため、精密な流量制御と2種類以上の流体を均一に混合することが非常に重要である。従来は主に外部に設置されているシリジポンプを用いて流量を制御する方法が用いられたが、外部ポンプを用いることで、システムが複雑化する。また、混合方法としては、流路形状を工夫することで流体を混合する受動的な混合方法と磁場、ピエゾメンブレンなどを用いる能動的な混合方法が研究されているが、受動的な混合方法では高濃度や高粘度などの多様な試料を混合するためには限界があり、能動的な混合方法では対象の流体に制限がある点や高費用などの問題で実用化には問題がある。

申請者は、これまでマイクロポンプの研究に取り組んできた。具体的にはマイクロポンプは誘電エラストマーアクチュエータで動作させる。誘電エラストマーアクチュエータは図1(右)に示すように誘電エラストマーを柔軟性電極で挟んだ構造であり、電界印加により径方向に大きく変位するアクチュエータである。申請者らは、この誘電エラストマーアクチュエータの面内変位をアクチュエータとして有効的に応用するため、誘電エラストマーアクチュエータの端部を固定することでダイヤフラムのように変形するダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータについて研究してきた。

申請者は図1に示すように、ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータを流路内に直列に配置することで蠕動機構を構成し、精密に流量制御が可能なマイクロポンプを着想した。また、流路内部の流体に振動を与えることで流体を混合するダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータを基盤上に多数配置することで、流体を多段階で混合する能動マイクロミキサーも着想した。

このような背景で、本申請では高精度で流量制御が可能な蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサーを内蔵する高機能  $\mu$ -TAS デバイスを提案する。

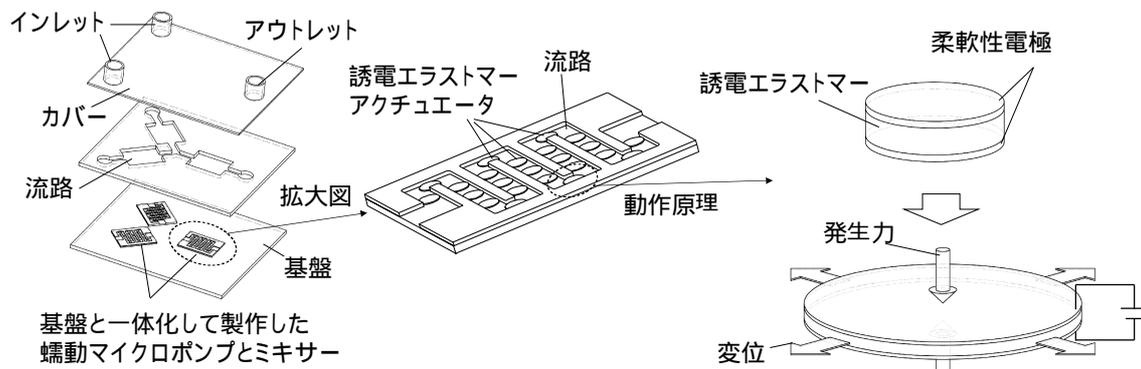


図1. 本研究で開発する高機能  $\mu$ -TAS デバイスと誘電エラストマーアクチュエータの動作原理

### 2. 研究の目的

本研究で開発する高機能  $\mu$ -TAS デバイスは、以下のようなことを目標とする。

- ・数  $\mu\text{l}/\text{min}$  から数十  $\mu\text{l}/\text{min}$  の広範囲での精密なポンピング能力を持つ内蔵形ポンプ
- ・高濃度、高粘度の流体を混合可能な内蔵形ミキサー
- ・大量生産による低コスト化

本研究では、上記目標を達成するため(1) 材料の選定、(2) パターニングプロセス開発、(3) 積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの開発、(4) 蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサー開発、(5) 高機能  $\mu$ -TAS デバイスの開発を行う。

また、本申請では積層することで高出力化したダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータを、パターニング方法で一括して製作することで大量生産を可能化し、低コスト化する。

### 3. 研究の方法

本申請では、蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサーを内蔵した高機能  $\mu$ -TAS デバイスの実現を図るため、次の手順で研究を遂行する。

まず高機能  $\mu$ -TAS デバイスの開発に最も重要である積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの材料を選定する。そして、積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータを開発する。開発したアクチュエータを用いて蠕動マイクロポンプと能動マイクロ

ミキサーを開発し性能評価を行う。最後に、蠕動マイクロポンプと能動マイクロミキサーを内蔵する高機能  $\mu$ -TAS デバイスを試作し、特性評価を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) UV 硬化性材料を用いた積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの提案

誘電エラストマーアクチュエータは極板間の静電気力を利用したアクチュエータであり、極板間の距離が小さいほど生じる極板間引力は大きく、また、薄くなる分パワー密度も大きくなるため、アクチュエータとして用いる上で誘電エラストマーアクチュエータの薄膜化を行う必要がある。そこで、本研究では、アクチュエータのマイクロ化、積層化および製作の容易性から、誘電エラストマーとして UV(Ultraviolet)硬化性の PDMS(Polydimethylsiloxane)を、電極として UV 硬化性で薄く柔軟性が高く成形でき、導電性が高い PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate)を用い、パターニングにより製作する方法を提案する。図 2 に示すように、誘電エラストマーと電極のパターニングを繰り返し行うことで積層するプロセスを開発する。UV 硬化性 PDMS は誘電エラストマーの材料として多く用いられる誘電体である PDMS に UV 光により硬化する特性を加えた材料である。また、UV 硬化性 PEDOT:PSS は柔軟性と導電性が高く、薄く成形できる高分子化合物である PEDOT:PSS に UV 光により硬化する特性を加えた材料である。

誘電エラストマーアクチュエータを構成する誘電エラストマーと柔軟電極の材料とともに UV 硬化性材料を用いることで、誘電エラストマーアクチュエータはパターニングにより製作可能になり、MEMS 技術を応用することで、マイクロ化、大量生産が可能になる。

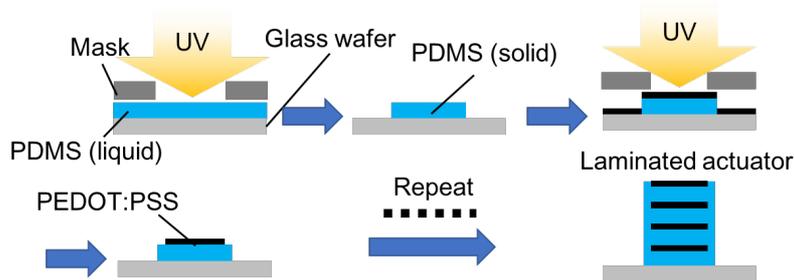


図 2 誘電エラストマーアクチュエータの製作プロセスを

##### (2) 積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの設計

積層ダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの形状および寸法を検討するため、COMSOL Multiphysics を用いて有限要素法解析を行った。決定した寸法は、全体の厚さ 2.0mm、直径 8.2mm、電極の厚さ 100nm、DE の厚さ 50 $\mu$ m、積層数 40 である。誘電エラストマーのヤング率は 2MPa、電極のヤング率は 1GPa とした。解析モデルを図 3 に、解析結果を図 4 に示す。印加電圧が 4kV を超えると発散してしまい解析ができなかったが、2 次関数近似により、8kV 印加時の変位や発生圧力を予測すると、目標の性能を超える可能性がある。

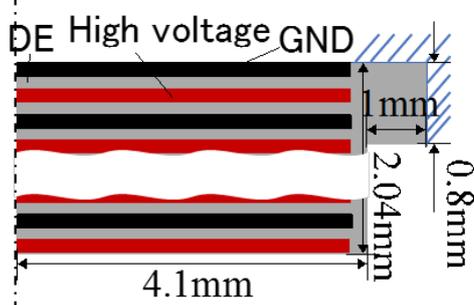


図 3 解析モデル

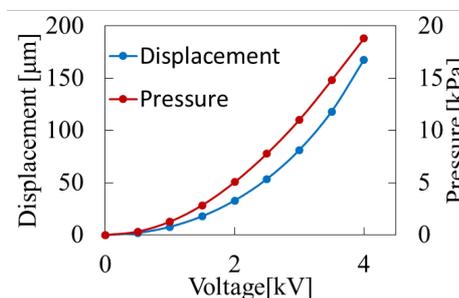


図 4 解析結果

##### (3) 試作と特性実験

提案した製作プロセスを実現するため、UV 硬化性 PDMS と UV 硬化性 PEDOT:PSS を用いて単層の誘電エラストマーアクチュエータ製作プロセスを開発した。開発したプロセスを図 5 に示す。

基板上に UV 硬化性の PDMS を塗布しマスクと UV 光によりパターニングする(下部カバー)。

UV 硬化性の PEDOT:PSS を塗布しマスクと UV 光によりパターニングする(下部柔軟電極)。

UV 硬化性の PDMS を塗布しマスクと UV 光によりパターニングする(誘電エラストマー)。

UV 硬化性の PEDOT:PSS を塗布しマスクと UV 光によりパターニングする(上部柔軟電極)。

UV 硬化性の PDMS を塗布しマスクと UV 光によりパターニングする(上部カバー)。

製作したアクチュエータを基盤から剥離し単層の誘電エラストマーアクチュエータを完成する。

各ステップにおいてパラメータを実験的に検討した。また、各ステップの間には適切な前処理を施すことで各層の密着性を向上させた。開発したプロセスを用いて試作した単層の DE アクチュエータを図 6 に、レーザ変位計を用いて電圧印加時の変位を測定した結果を図 7 に示す。印加電圧 2.5kV の時、最大変位は 55 $\mu\text{m}$ 、立ち上がり時間(変位増加時 68ms、減少時 76ms)からバンド幅は 5.1Hz 程度であった。

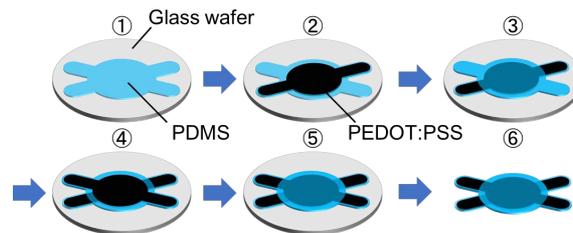


図 5 単層誘電エラストマーアクチュエータ製作プロセス



図 6 試作した単層の誘電エラストマーアクチュエータ

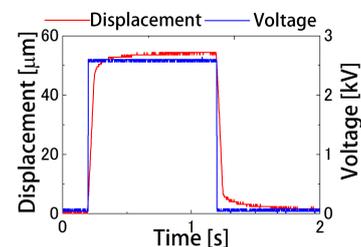


図 7 実験結果

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 9 件)

1. 巖祥仁, 宮田航成, 吉田和弘, 金俊完, "誘電エラストマーアクチュエータの高出力化に関する研究(UV 硬化性 PDMS へのチタン酸バリウム添加の効果)", 山梨講演会 2018, J1120202, 2018.9.
2. 巖祥仁, 宮田航成, 吉田和弘, 金俊完, "UV 硬化性 PEDOT:PSS への糖アルコール添加による誘電エラストマーアクチュエータの特性改善", The 18th. Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME, pp. 33-34, 2017.10.
3. Kenta Asai, Kazuhiro Yoshida, Sang In Eom, Joon-Wan. Kim, "Novel AC Electroosmotic Micropump Using Slit Electrode and Multiple Square Pole Electrodes", 21st International Conference on Mechatronics Technology(ICMT2017), pp. 111-114, 2017.10.
4. 巖祥仁, 宮田航成, 吉田和弘, 金俊完, "誘電エラストマーアクチュエータの高出力化に関する研究( UV 硬化性 PEDOT:PSS への糖アルコール添加の効果 )", 山梨講演会 2017, J1110105, 2017.9.
5. Sang In Eom, Kosei Miyata, Kenta Asai, Joon-Wan Kim, Kazuhiro Yoshida, "Proposal of a peristaltic micropump using dielectric elastomer actuators fabricated by MEMS technology", Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) 2017, 101631L, 2017.4.

6. Sang In Eom, Kenta Asai, Kazuhiro Yoshida, "A Study on a Micropump Using Stacked Diaphragm-Type Dielectric Elastomer Actuators - Development of Novel Fabrication Method", 20th International Conference on Mechatronics Technology ( ICMT2016 ) , p. 118-119, 2016.10.
7. 嚴祥仁, 浅井健太, 宮田航成, 金俊完, 吉田和弘, "フォトリソグラフィで製作する DE アクチュエータ駆動蠕動マイクロポンプの提案", 山梨講演会 2016, p. 32-34, 2016.10.
8. 浅井健太, 嚴祥仁, 吉田和弘, "UV 硬化性材料を用いた積層形 DE アクチュエータの提案", 2016 年度年次大会, pp. 196, 2016.6.
9. 嚴祥仁, 宝来亮汰, 吉田和弘, 横田眞一, "積層ダイアフラム形 DE アクチュエータを用いたマイクロポンプに関する基礎的研究", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 in Yokohama, pp. 33-35, 2016.5.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：吉田 和弘  
ローマ字氏名：Kazuhiro Yoshida  
所属研究機関名：東京工業大学  
部局名：科学技術創成研究院  
職名：教授  
研究者番号 ( 8 桁 ) : 00220632

### (2)研究分担者

研究協力者氏名：金 俊完

ローマ字氏名：Joon-wan Kim  
所属研究機関名：東京工業大学  
部局名：科学技術創成研究院  
職名：准教授  
研究者番号(8桁)：40401517

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。