

令和 6 年 9 月 5 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12796

研究課題名（和文）低侵襲治療用医療器具先端に人間の指感覚の付与を目指した触覚センサの研究

研究課題名（英文）Research on the tactile sensor to provide sense of human finger to the minimally invasive medical instruments

研究代表者

幹 浩文（Miki, Hirofumi）

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：20403363

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：数値解析を通じて圧電PVDFを用いた触覚センサの構造とセンシング素子間のピッチがセンサの感度・Cross-talkへの影響を確認し、実験により圧電PVDFの微細加工特性の解明を行った。従来微細加工が困難といわれた圧電PVDFにMEMS技術によって線幅が数 μm ～数十 μm の微細パターンの実現可能性を見出し、エッチングマスクの開口ラインと圧電PVDFのg31方向との位置合わせ配置が高分解能を目的とするマイクロアレイセンサの素子間ピッチを決めるカギとなることを明らかにした。また、異方性ウェットエッチングにより圧電PVDFの3次元微細構造の実現可能性を見出すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MEMS技術を駆使しウェットエッチング手法を用いて、従来微細加工が困難とされてきた圧電PVDFフィルム上に線幅数 μm ～数十 μm の微細パターンの実現や異方性エッチング特性を生かした3次元微細構造の実現を可能にすることにより、圧電PVDF材料に関する知識や理論において新しい可能性を見出すことが考えられる。また、低侵襲医療用触覚センサの応用に限らず、高い空間分解能と感度を必要とする高度のマイクロセンサデバイスとしてより広い応用への波及効果が期待できるので社会的あるいは産業面におけるインパクトは大きいのではないかと考える。

研究成果の概要（英文）：Through numerical analysis, we confirmed the effects of the sensor structure and the arrangement of sensing elements on the sensitivity and cross-talk of the sensor output when piezoelectric PVDF is used as the sensing element of a target tactile sensor. To understand the microfabrication characteristics of the sensing material are essential when design and realizing an optimal structure for the device. We applied wet etching technology to the piezoelectric PVDF film to realize fine patterns with line widths of several μm to several tens of μm and found that the alignment between the etching mask aperture lines and the g31 direction of piezoelectric PVDF is the key to realize high resolution array sensors. In addition, we found the feasibility of realizing a three-dimensional microstructure of piezoelectric PVDF by anisotropic wet etching.

研究分野：MEMS

キーワード：触覚センサ 高分解能 圧電PVDF 微細加工

1. 研究開始当初の背景

低侵襲治療ではカテーテルや内視鏡などの細長い医療機器を用いることによって治療に必要な切開傷口を最小限に留めることができ、生体組織の損傷の減少と患者の苦痛の軽減、ならびに治療時間の短縮と治療コストの低下および機能回復や入院期間の短縮などの様々な利点がある。しかし、細長い医療デバイスを生体内に挿入するので、視覚や操作性が大きく制限され、また、触覚をほとんど感じ取れなくなることから、熟練医師の高度な手技を必要とする。小型化した高機能触覚センサを低侵襲手術用のデバイスに取り付けて施術際の医師の触覚を取り戻すことができれば、手の届かない患部への触診も可能になり、手術の操作性・安全性の向上に大きく貢献できる。人間の指先のように、柔らかくて高い感度と空間分解能を備え持つ新しい触覚センサが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、感度面での優位性をもつ圧電方式のマイクロ触覚センサに注目し、微細加工技術を駆使して圧電 PVDF フィルム表面を直接微細加工することによって、圧電 PVDF を用いた触覚センサの従来研究におけるクロストーク課題の解決を図る。また、圧電 PVDF の微細加工特性に基づいた最適構造設計によって、人間触覚に匹敵する高い感度と空間分解能をもつ新しいマイクロ触覚センサの創出を目指す。

3. 研究の方法

圧電方式触覚センサの従来課題となる高分解能が得られにくい問題点の本質は、圧電材料の難加工性にあり、樹脂系の PVDF (ポリフッ化ビニリデン) においても耐薬品性や機械的特性に優れ、微細加工が難しいとされてきた。本研究ではマイクロマシニング技術を駆使し、エッチング手法によって課題解決を図る。

4. 研究成果

腹腔鏡(内視鏡)手術やカテーテルを用いた低侵襲治療用医療器具先端に人間の指先と同等レベルの触覚機能を付与し、柔らかくて人間の指先同等の高感度・高空間分解能をもつ新しい構造のマイクロ触覚センサを実現するためには、センサデバイスの構造設計段階でセンシング材料の微細加工特性に関する十分な知見が欠かせない。

本研究では、まず COMSOL 解析ソフトを駆使して圧電 PVDF を目標とする触覚センサのセンシング素子に用いる場合のセンサ構造によるセンサ出力の感度・Cross-talk 面での振る舞いを調べ、その結果とセンサ構造およびアレイ配置との関係が分かった。つぎに、デバイスの最適構造の実現に対応するための作製プロセスを検討し、対応するフォトマスクを作製してウェットエッチングの基本特性の解明を行った結果、センシング材料が顕著な異方性エッチングの性質を有することが初めてわかった。また、DMA(C4H9NO)溶液を用いたウェットエッチングプロセスでは、エッチングマスクの開口ラインと PVDF の g_{31} 方向との位置合わせ角度がエッチング後のデバイスセンシング部 3 次元構造に大きく影響することが分かった。エッチングマスクの開口ラインと g_{31} 方向との位置合わせ配置が高分解能を目的とするアレイセンサの素子間ピッチを決めるカギとなることが明らかになった。また、線幅が数十 μm の微細パターン加工の可能性も確認できた。圧電 PVDF の結晶異方性を十分生かしてセンサデバイスの構造設計における選択肢をさらに拡張するため、加工プロセス条件と DMA 以外の 5 種類のエッチング液候補の追加選定を行い、PVDF の圧電性への影響が少ないプロセス温度領域で適切なエッチングレートやより狭い線幅の微細加工プロセス設計を試みその具現化の検証を行った結果、線幅数 μm の微細パターン作製やダイヤフラム構造の実現が確認できた。従来のセンサにおいて厚さ方向の印加荷重に g_{33} がおもにセンサ出力に寄与した性質を g_{31} と g_{32} もセンサ出力に寄与することにより、センサの感度

向上が可能となる．本研究を通じて得られた成果は，低侵襲医療用触覚センサの応用に限らず，高い空間分解能と感度を必要とするマイクロセンサデバイスのより広い応用への展開に貢献できると考える．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉田圭吾, 幹 浩文 |
| 2. 発表標題 DMA溶液を用いた圧電PVDFフィルムのウェットエッチング 特性に関する研究 |
| 3. 学会等名 電気学会主催：第39回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山崎 智也, 幹 浩文 |
| 2. 発表標題 乳癌検出用触診デバイスの構造解析用生体モデルの検討 |
| 3. 学会等名 電気学会主催：第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 堀口 凱生, 幹 浩文 |
| 2. 発表標題 Research on the piezoelectric method based fingerprint sensor |
| 3. 学会等名 電気学会主催：第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉田 理子, 幹 浩文 |
| 2. 発表標題 Study on the Piezoelectric PVDF Film Wet Etching |
| 3. 学会等名 電気学会主催：第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|