

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01565

研究課題名(和文) 微細加工を用いて指先同様に柔らかく高感度・高分解能をもつ新規触覚センサは実現可能か

研究課題名(英文) Micro fabrication technology for the new type tactile sensor having high sensitivity and high resolution as a fingertip

研究代表者

幹 浩文(Miki, Hirofumi)

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：20403363

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)： 低侵襲手術用の柔らかくて高感度・高空間分解能をもつマイクロ触覚センサの創出を目標に、センサ材料に力を受けると電気信号(電荷)を発生する圧電高分子PVDFの柔らかいフィルム素材を研究対象とした。構造解析を通じてアレイ構造と分解能に関連するクロストークとの関係を解明し、デバイスの具現化に必要な要素技術に乾式・湿式エッチング手法による加工プロセス技術の開発を行った。PVDFの圧電機能性を維持しながら高分解能のアレイ構造が可能な加工プロセス技術の確立に欠かせない圧電PVDFフィルムのドライとウェット(乾式・湿式)エッチング特性を解明しデバイスの構造設計における有用な設計指針を提示することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機能性PVDFの3次元微小構造体アレイを用いた柔らかく高感度・高解像度マイクロ触覚センサに関する研究報告はほかになく、PVDFの高い機能性を上手に利用することによって触感・圧感、滑り・振動以外に温感の情報検出も可能なことから、人間の皮膚感覚や指先触感に最も近い高度の触覚分布情報のデータ化が期待できる。また、低侵襲手術の応用に限らず、介護・福祉などの生活支援用ロボットの全身皮膚型センサとしても応用可能であり、食品や繊維などの工業製品の手触り感・触感をデータ化し定量的に評価することによって、職人の代わりに製品の品質管理が可能になるなど、学術面に限らず社会・経済・産業面での波及効果が予想される。

研究成果の概要(英文)： In order to provide a soft and high sensitive & high resolution micro tactile sensor device for the minimally invasive surgery application, we used piezoelectric thin PVDF film as the target material. We investigated the relationship between arrayed sensing structure and the cross-talk problem by analysis, and developed fabrication process by means of dry and wet etching technology. Through this research, we proposed some useful design criteria for the arrayed sensor structures. By using this research results, it is possible to realize high sensitive and high resolution array sensor maintaining its flexibility and high piezoelectric property of PVDF film.

研究分野：MEMS

キーワード：MEMS 微細加工 マイクロ触覚センサ 圧電PVDF

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

内視鏡下手術やカテーテルによる治療などの低侵襲医療では、人間の指先のように柔らかくて高い感度と高い空間分解能を備え持つ従来にない触覚センサが求められている。しかし、現状では適した技術や商品・研究発表例などがなく、米国 Intuitive Surgical 社の手術用ロボット daVinci(臨床応用 master slave manipulator)でもまだ触覚は搭載されていない。人間の指先空間分解能は約 1~2mm で、0.2g の力感度を持つ。1~2mm の空間分解能精度を保证するために、触覚センサデバイスの設計では、0.1~0.2mm のセンシング素子アレイ構造が必要である。

従来のマイクロ触覚センサでは、静電容量式と抵抗値変化式および電荷変化式(圧電式)が主流であるが、静電容量式は、ノイズに弱く回路設計が複雑で、信頼性やコスト面での問題があり、抵抗値変化式は、ヒステリシス(履歴現象)による再現性、安定性・信頼性問題と消費電力が大きい問題がある。圧電式は、動圧による信号しか得られないことと、温度変化に影響されやすい問題がある。しかし、人間の触覚は、もともと押す・触るという動的過程によるため、圧電式は本研究課題で特に問題にならない。また、温度による影響は、温度センサを搭載した温度補償で解決可能である。圧電式は、微小な変位でも大きな電気的信号が出力でき、高い周波数特性のほか自ら電圧を発生する原理的特徴から、駆動電圧が必要なく信頼性に優れている。以上より、圧電方式が、目標の触覚センサにはもっとも適した方式であると考えられる。

圧電方式を用いた医療用触覚センサの従来研究では、圧電高分子 PVDF を用いた研究が最も注目されている。しかし、PVDF フィルムは、圧電機能性や柔軟性、生体適合性と軽量・低コスト及び機械的のローパスト性(丈夫さ)と薬品耐性の面で優れた特性がある反面、微細加工が難しいという課題がある。従来研究では、加工面での課題から、一枚の PVDF シートを小さく切って直接センサ素子に用いたり、微細加工技術によって PVDF シート上に電極薄膜をパターンニングしアレイ配置する手法を用いるのが現状である。その故、構造の制約からセンサの空間分解能や感度面では必然的限界がある。電極パターン中心間の距離は 4mm 程度のアレイ配置が限界であり、それ以上近づけると基板部(PVDF シート)が一枚でつながっているためセンシング部同士のクロストーク問題が発生するため、隣接のセンシング部同士の信号源チャンネルを遮断できる構造が望ましい。しかし、求められるセンサアレイ構造に適した PVDF の微細加工技術はまだ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、柔らかく人間の指先の感度と空間分解能に匹敵する従来にないマイクロ触覚センサデバイスを実現することである。その実現手法として、センサ構造材料には、力を受けると電気信号(電荷)を発生する圧電高分子 PVDF(Polyvinylidene fluoride; $(\text{CH}_2\text{-CF}_2)_n$)の柔らかいフィルム素材(厚さ 0.1mm 以下)を用いた。また、微細加工技術を駆使し PVDF 表面を直接微細加工することによって、従来一枚でつながったセンシング部同士のクロストーク問題の解消が可能なマイクロ触覚センサの 3次元構造体を PVDF 表面に高密度にアレイ配置して触覚の分布情報を検出できると考える。解析手法による最適構造設計とその必要構造の具現化に必要で PVDF の圧電機能性を維持できる微細加工プロセス技術を確立し、人間触覚に匹敵する高感度/高空間分解能触覚センサデバイスの創出を目指す。

3. 研究の方法

PVDF の結晶構造には、主に β 、 γ 、 δ と α 型があるが、 α 相の PVDF のみが圧電機能性を持つ。近年の soft lithography という molding 技術では、3 次元微小構造体が容易に加工できる。しかし、この手法では PVDF を 170-200 °C で熔融後、鋳型に転写する必要があるため、PVDF が再結晶中に β や γ 型となり、圧電性を失ってセンサとして機能しなくなる。そのほかに、エキシマレーザ (193nm~248nm) による加工手法があるが、加工中に PVDF 分子構造 $(CH_2-CF_2)_n$ のなかの H と F が生成ガスとして揮発するので、炭素成分 C のみが残されて加工面が炭化によって導電性を持つという問題がある。また、炭素層が障壁膜となって加工がそれ以上進まなくなる加工飽和現象が起るため、深い構造や高アスペクト比の構造加工はできない。本研究提案の wet-etching や dry-etching (O_2 や CF_4 ガスの反応性イオンエッチング) による手法では上記の問題が回避できる。

4. 研究成果

本研究では研究目的・目標実現のため、上で述べた研究手法を用いて圧電 PVDF フィルム上のマイクロ構造体の直接作製に不可欠な、PVDF のウェットエッチングとドライエッチングの基本特性について詳しく調べ、何れの手法においても提案プロセスにより目標の高感度・高分解能が実現可能であり、実現における具体的指針を示すことができ、国際会議や学術雑誌論文を通じて対外への情報発信を行った。

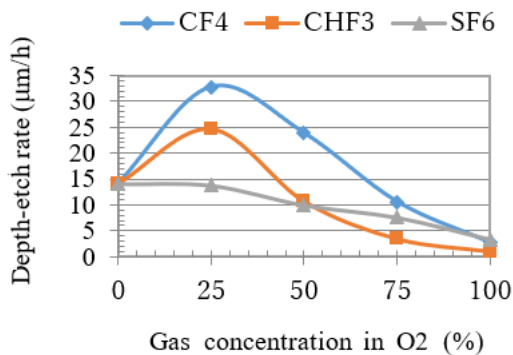


Fig. 1. Depth etching vs. Gas concentration

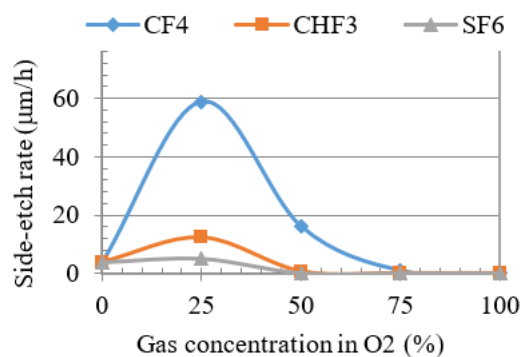


Fig. 2. Side-etching vs. Gas concentration

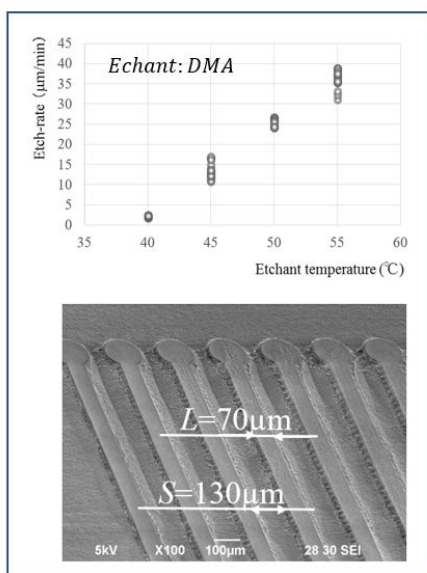


Fig. 3. Etching rate and etched micro patterns by DMA wet etching

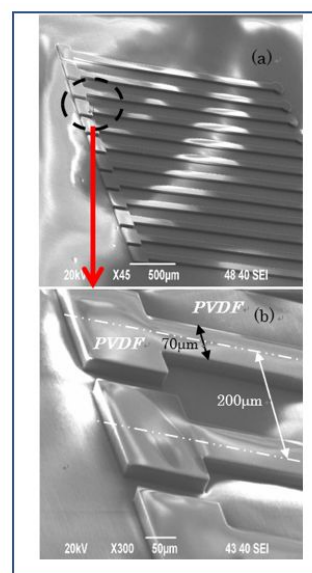


Fig. 4. Etched micro patterns by RIE dry etching (O_2)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirofumi Miki, Ryota Sugii, Yutoku Kawabata and Shigeki Tsuchitani	4. 巻 14(10)
2. 論文標題 Lithographic Micropatterning on the -PVDF Film Using Reactive Ion Etching Aim for High-Resolution Skin Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1575-1577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1002/tee.22978	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirofumi Miki ; Shigeki Tsuchitani ; Ryota Sugii ; Taisuke Tominaga	4. 巻 採択済・印刷中
2. 論文標題 Anisotropic wet etching on the -phase poly(vinylidene fluoride) film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micro & Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/mnl.2019.0304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 幹 浩文, 杉井 亮太, 土谷 茂樹
2. 発表標題 Etching properties of piezoelectric -phase poly (vinylidene fluoride) film
3. 学会等名 4th World Congress on Materials Science & Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirofumi Miki, R. Sugii, T. Kawabata, S. Tsuchitani
2. 発表標題 PVDF Micro Machining for the High Resolution Skin-like Tactile Sensors
3. 学会等名 ICST 2017: The 11th International Conference on Sensing Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sugii Ryota, Hirofumi Miki, Shigeki Tsuchitani
2. 発表標題 Effect of Intermittent RIE Etching on the Beta-PVDF Film Micro Patterning
3. 学会等名 MHS2017: 28th 2017 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	土谷 茂樹 (Tsuchitani Shigeki) (30283956)	和歌山大学・システム工学部・教授 (14701)	