

VDF オリゴマー触覚センサを用いた表面あらさ測定

高嶋一登 (理研) 堀江聡 (神戸大) 向井利春 (理研)
石田謙司 (神戸大) 上田裕清 (神戸大)

Measurement of surface roughness using tactile sensor composed of vinylidene fluoride oligomer

*Kazuto TAKASHIMA (RIKEN), Satoshi HORIE (Kobe Univ.),
Toshiharu MUKAI (RIKEN), Kenji ISHIDA (Kobe Univ.), Yasukiyo UEDA (Kobe Univ.)

Abstract— Vinylidene fluoride (VDF) oligomer is a new substance with a smaller number of VDF units and lower molecular weight than poly(vinylidene fluoride). Previously, we reported that the piezoelectric coefficient of VDF oligomer was greater than that of vinylidene fluoride/trifluoroethylene copolymer, and a film composed of VDF oligomer was thin and uniform. Moreover, we made a prototype of the tactile sensor using VDF oligomer and clarified that a normal pressure output distribution can be achieved. In this study, we evaluated the measurement of surface roughness using tactile sensor composed of VDF oligomer.

Key Words: Tactile Sensor, Vinylidene Fluoride Oligomer, Piezoresponse, Stress Rate, Surface Roughness

1. はじめに

有機強誘電体であるポリフッ化ビニリデン (PVDF) や、フッ化ビニリデン (VDF) と三フッ化エチレン (TrFE) のコポリマー (P(VDF/TrFE)) は、圧電定数が大きく、軽量・柔軟・広帯域であるなどの利点があり、触覚センサの材料として広く研究されている [1]。一方、VDF オリゴマーは、PVDF の低分子量体であり、真空蒸着によって均一かつ構造制御された膜質を得ることが可能である [2]。さらに、VDF オリゴマー薄膜試料を用いた実験により、VDF オリゴマー膜は薄く均一であり、圧電定数は PVDF や P(VDF/TrFE) に比べて大きいことが分かっている [3]。そのため、従来のセンサの PVDF を VDF オリゴマーに単純に置き換えるだけで、センサのサイズダウンが図れるかもしれない。

PVDF を用いた触覚センサは、例えば、センサを対象物に擦りつけた際、表面のあらさによって出力が変化することを利用して、触診への応用が検討されている。本研究では、同様に VDF オリゴマーを用いた触覚センサで対象物の表面あらさ測定を行うために、試作品を用いて基礎検討を行った。

2. センサのモデル化

強誘電体膜の圧電特性を評価するために圧電定数が一般的に用いられる。圧電歪み定数 ($[d_{31} d_{32} d_{33}]$) は、印加された圧力 ($[\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3]^T$) と出力電荷の関係を定めるもので材料に固有の材料定数である。ただし、添字の 3 は膜の厚み方向であることを表す。このとき、発生する電流 (I) は、次式のように印加された応力の 1 階時間微分特性に比例する。

$$I = A(d_{31} d_{32} d_{33}) \begin{pmatrix} \frac{d\sigma_1}{dt} \\ \frac{d\sigma_2}{dt} \\ \frac{d\sigma_3}{dt} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 A は強誘電体膜を挟む電極の面積である。

また、センサの厚み方向に z 軸を、対象物が x 軸方向に速度 u で移動するものとする。このとき、連鎖率により以下の式が成り立つ [1]。

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{d\sigma}{dx} u \quad (2)$$

このように対象物が一定速度で移動する場合、式 (1)、(2) より、 $\frac{d\sigma}{dt}$ に比例する強誘電体の出力から、対象物表面の応力分布が測定できることが分かる。また、出力は対象物の移動速度に比例することも分かる。

例えば、センサを均質で体積変化のない十分厚い等方弾性体で、クーロン摩擦 (摩擦係数 μ) が働くと仮定し、 $z = z_0$ にセンサ表面と平行に強誘電体膜を配置する。このときすべり方向のインパルス応答 (出力電流) は以下の式で求めることができる [1]。

$$g(x) = Au \left(\frac{-2}{\pi z_0} \right) \frac{d}{dx} \left\{ (d_{33} + \frac{d_{32}}{2}) \frac{1 + \mu(x/z_0)}{[1 + (x/z_0)^2]^2} + (d_{31} + \frac{d_{32}}{2}) \frac{(x/z_0)^2 + \mu(x/z_0)^3}{[1 + (x/z_0)^2]^2} \right\} \quad (3)$$

本研究では、同様に、試作したセンサーに先端の鋭利なプローブですべり方向の力を加え、これらの式と結果を比較した。

3. 実験

3.1 試料

今回の研究に用いたセンサを Fig.1 に示す。まず、下部電極 (アルミ)、VDF オリゴマー ($\text{CF}_3(\text{CH}_2\text{CF}_2)_n\text{C}_2\text{H}_5$ 、本研究では、 CH_2CF_2 の繰返し数 $n = 16$)、上部電極 (アルミ) の順に石英基板 (20 [mm] 角 0.5 [mm] 厚) 上に真空蒸着することで、サンプル基板を作製した。VDF オリゴマーの成膜部分の直径は電極幅より大きい 1 [mm] であり、上下電極 (厚み: 50 [nm], 電極幅: 0.5 [mm]) がクロスす

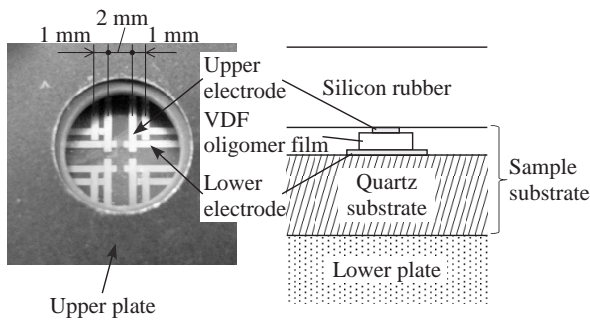


Fig.1 Prototype tactile sensor. (Left) photograph and (right) cross section

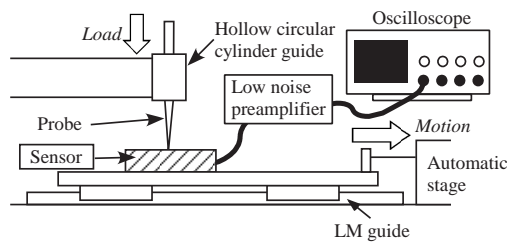


Fig.2 Experimental apparatus for measuring the response of the prototype sensor

る八箇所に配置した．電極パターンがクロスしているキャパシタ構造を持つ領域が圧電応答を行う部分となる．サンプル基板はポーリング処理を行い，強誘電体の分極方向を揃えた．その後，サンプル基板に配線し，0.5 [mm] 厚のシリコンゴム（シオア A50）で覆って，樹脂性のプレートで挟み込み，触覚センサを構成した．

3.2 実験装置

試作したセンサの上に中空円筒形状のガイドを通して先端の鋭利な木製のプローブを載せ，鉛直方向の荷重を加えた．その状態で自動ステージによって水平方向に一定速度で動かし，圧電応答部の上を通過させ，センサの出力を調べた．実験装置を Fig.2 に示す．このとき，鉛直方向の荷重と自動ステージの移動速度を変化させ，その影響を調べた．センサからの出力電荷は，電流入力プリアンプ（ゲイン： 10^8 [V/A]，NF 回路設計製 LI-76）を径由してオシロスコープに取り込んだ．

4. 結果および考察

プローブをセンサ表面に押し付けて動かしたときのセンサからの出力例を Fig.3 に示す．このようにプローブが圧電応答部の上を通過したときに出力が得られた．このときのセンサ出力の最大値を自動ステージの移動速度に対してプロットしたものが Fig.4 である．センサ出力の最大値は移動速度と加えた荷重に比例して大きくなる傾向が得られた．これは，式 (2) と同じ傾向である．

本研究では，VDF オリゴマー膜は石英基板上に固定されており，膜のたわみは少ないので，膜の厚み方向の応力による圧電定数 (d_{33}) の影響が大きい．ただし，

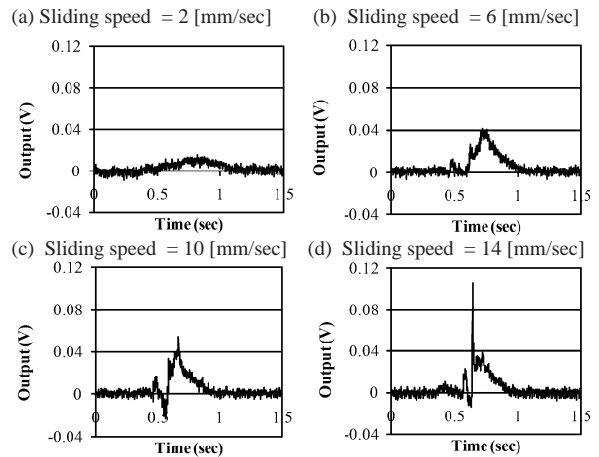


Fig.3 Representative output of the prototype sensor

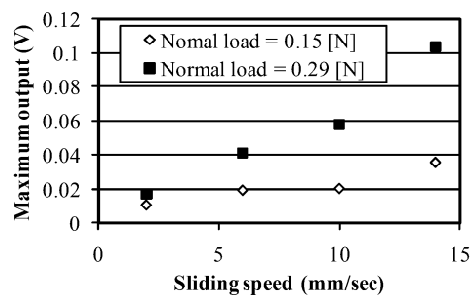


Fig.4 Maximum output of the prototype sensor

表面を覆ったゴムとの摩擦により引っ張られるので，膜の伸張の影響 (d_{31} や d_{32} の項) で，式 (3) より，出力は大きくなる．さらに，実際の応用では，VDF オリゴマー膜を柔軟物質内に入れることにより，膜の伸張の影響はさらに大きくなるであろう．式 (3) で用いた仮定は実際の状況をかなり簡略化しているので，今後，実際のセンサ形状を考慮した FEM 解析を行い，実験結果と比較していきたい．

5. まとめ

本研究では，VDF オリゴマーを用いた触覚センサによって，対象物の表面あざ測定を行うため，試作品を用いた基礎検討を行った．

謝辞 本実験で使用した VDF オリゴマーをご提供頂いたダイキン工業様に謝意を表す．なお，本研究の一部は島津科学技術振興財団の助成金によって行った．

- [1] R.D. Howe and M.R. Cutkosky: "Dynamic tactile sensing: Perception of fine surface features with stress rate sensing," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.9, no.2, pp.140-151, 1993.
- [2] K. Noda, K. Ishida, T. Horiuchi, H. Yamada and K. Matsushige: "Pyroelectricity of ferroelectric vinylidene fluoride-oligomer-evaporated thin films," Jpn. J. Appl. Phys. vol.42, L1334-L1336, 2003.
- [3] 高嶋一登, 堀江聡, 向井利春, 石田謙司, 松重和美: "触覚センサのための VDF オリゴマーの圧電特性", 日本ロボット学会誌, vol.22, no.6, pp.806-814, 2008.