

### 3次元応力と pH の同時計測に向けたマルチモーダルイメージセンサの製作

#### Fabrication of multimodal image sensor for simultaneous measurement of three-dimensional force and pH

豊橋技術科学大学<sup>1</sup>, ダイキンファインテック株式会社<sup>2</sup>

◦鈴木 まみ<sup>1</sup>, 土井 英生<sup>1</sup>, 伊藤 大真<sup>1</sup>, 堀尾 智子<sup>1</sup>, 小笠原 健<sup>2</sup>, 清水 聡<sup>2</sup>,

赤井 大輔<sup>1</sup>, 飛沢 健<sup>1</sup>, 崔 容俊<sup>1</sup>, 高橋 一浩<sup>1</sup>, 野田 俊彦<sup>1</sup>, 澤田 和明<sup>1</sup>

◦Toyohashi University of Technology<sup>1</sup>, DAIKIN FINETECH, Ltd.<sup>2</sup>,

◦M. Suzuki<sup>1</sup>, H. Doi<sup>1</sup>, H. Ito<sup>1</sup>, T. Horio<sup>1</sup>, K. Ogasahara<sup>2</sup>, S. Shimizu<sup>2</sup>,

D. Akai<sup>1</sup>, T. Hizawa<sup>1</sup>, Y.-J. Choi<sup>1</sup>, K. Takahashi<sup>1</sup>, T. Noda<sup>1</sup>, K. Sawada<sup>1</sup>

E-mail: suzuki.mami.xa@tut.jp

我々の研究グループでは, CMOS アレイセンサ上に圧電膜 (PICLIA, ダイキンファインテック株式会社) を転写し, フォトレジスト (SU-8) を用いた構造体アレイを形成することで, メカノバイオロジーへの応用に向けた 3次元応力イメージセンサ[1]を開発してきた. 一方, 心筋細胞のような収縮・拡張機能を詳細に評価するためには, 力学的挙動と関わるイオン濃度変化を同時計測する技術の開発が必要である. 本研究では, 応力と pH を同時計測するマルチモーダルセンサを製作し, 力と pH 応答に対する機能を検証した.

Fig. 1 に, マルチモーダルセンサの概略図を示す. pH 感応領域には, 電位検出型 CMOS アレイ上に pH 感応膜の  $Ta_2O_5$  が成膜されており, 感応膜表面に水素イオン ( $H^+$ ) が吸着脱することで表面電位が変化し, pH を計測できる. 応力感応領域には, 圧電膜上に  $8 \times 8 \mu m$  の構造体が形成されており, 構造体に剪断力が加わると, 圧電膜に引張と圧縮が生じる. 引張・圧縮箇所では正負が逆の出力応答が得られるため, 垂直力と剪断力を計測できる. 本研究では, 画素ピッチ  $2 \mu m$  の電位検出型アレイセンサを用いた. まず, pH センサ上に圧電膜を転写し, フォトリソグラフィによってマスクパターンを形成後, 応力感応領域以外の圧電膜を  $O_2$  と  $CF_4$  ガスでエッチングする. 次に, 圧電膜の防水膜として Au を一面に成膜し, リフトオフ法で pH 感応領域を開口した. 最後に, 構造体アレイを Au 上に形成した. Fig. 2 に, 製作したセンサの断面 SEM 像を示す. 圧電膜上に構造体が形成され, pH 感応領域が開口されていることを確認し, マルチ計測のためのセンサ構造の製作に成功した. 開口エリアが pH に応答するか確認するため, 各領域の pH 応答を計測した. その結果, pH 感応領域では約  $50 mV/pH$  の良好な出力感度が得られたのに対し, 応力感応領域の電位はほとんど変化しなかった. 続いて, センサ上に pH7 溶液を乗せ, 先端径約  $1 \mu m$  のナイロン繊維で構造体に剪断力を印加後, pH8 溶液を滴下することで応力と pH の同時計測を行った. 構造体に力を加えた 18.5 秒辺りで, 1 構造体直下の画素で引張および圧縮応答を示す電位変化が観察された. また, pH8 溶液を追加した 25 秒辺りで, センサ画像の左側から順に pH 感応領域の電位が下がり, 力応答と pH 変化の同時可視化に成功した. これらの実験結果から, 応力と pH の液中マルチモーダルセンシングを実証した.

謝辞: 本研究は, MEXT X-NICS JPJ011438, および JSPS 科研費 JP23H00182 の支援を受けたものです.

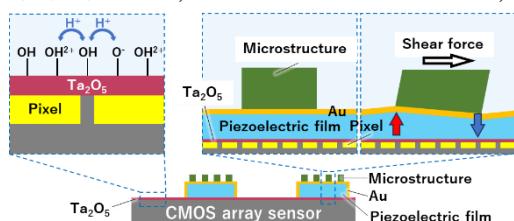


Fig.1 Schematic illustration depicting the 3D force and pH sensing on a CMOS potentiometric sensor array.

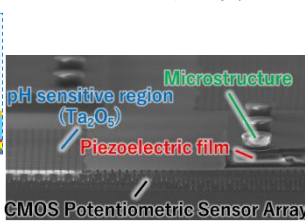


Fig.2 SEM image of the fabricated sensor.

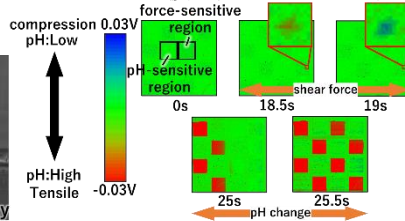


Fig.3 Two dimensional images of the sensor for shear force and pH change.

[1] H. Ito et al., Proc. SSDM conference 2024, D-5-03, 2024.