

# 令和4年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：個人研究

研究期間：令和 4年 10月～令和 5年 9月

研究課題名：動物実験用MEMS人工内耳のナノ振動制御と聴神経刺激効果

ラボ長

所属：機能創成専攻・機能デザイン領域

氏名：山崎 嘉己

## 研究成果：

感音性難聴に対する未来医療に関連して、機械工学的考究と Microelectromechanical systems (MEMS) 技術の援用により、無電源完全埋め込み型人工内耳の開発を進めてきた。その基幹技術は、台形薄膜の機

械的特性による周波数弁別と圧電素子による音響/電気信号変換である。これまでに、動物実験における聴性脳幹反応の計測を目指し、モルモットの蝸牛に埋め込み可能な構造・寸法を有する MEMS 人工内耳の作製に成功している。MEMS 人工内耳に用いられている圧電体ポリフッ化ビニリデン三フッ化エチレン (polyvinylidene fluoride-trifluoroethylene: PVDF-TrFE) は、鉛を含まず生体毒性が少ない一方で、圧電効果によって生じる電圧が微弱であり、聴神経の電気刺激が困難である。そこで本研究の目的は、内耳蝸牛の振動制御機構である外有毛細胞を模倣し、MEMS 人工内耳の高機能化を試みる。令和4年度では、PVDF-TrFE の作製条件を再検討し、圧電性が発現するスキームの確立に取り組んだ。

先行研究 (Yamazaki et al., *Micromachines*, 2022) では、中心角  $50^\circ$  の MEMS 人工内耳を作製したが、ヒトの蝸牛は2回転半、つまり  $900^\circ$  の螺旋構造である。本研究では、図1(a)に示すように中心角  $140^\circ$  に拡張した MEMS 人工内耳を作製した。図1(b)のように MEMS 人工内耳は、SU-8、Ti/Au/Ti 電極、PVDF-TrFE、Ti/Au/Ti 電極、SU-8 から構成される。台形開口部を有する下部の SU-8 によって複合膜を支持し、台形膜が完成する。上下の電極に強誘電体である PVDF-TrFE を挿入しており、キャパシタと同様の構造である。また、上部の Ti/Au/Ti はパターン電極群となって

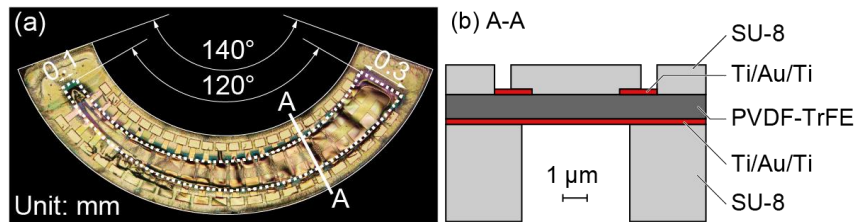


図1(a) MEMS 人工内耳の顕微鏡写真。点線で示す振動部は、 $120^\circ$  の円弧に沿って幅が  $0.1\text{ mm}$  から  $0.3\text{ mm}$  に変化する台形膜であり、22組44個のパターン電極群を蒸着している。(b) A-A 断面図。Ti/Au/Ti 電極間に強誘電体である PVDF-TrFE を挿入している。

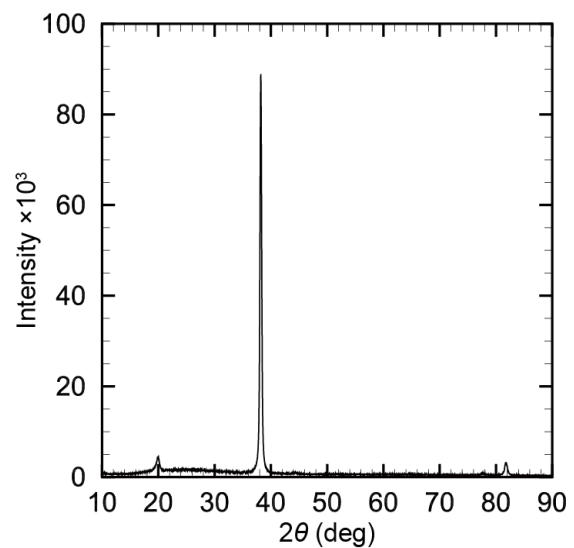


図2 PVDF-TrFE の回折パターン。 $2\theta = 20^\circ, 40^\circ, 80^\circ$  近傍でピークが確認できるが、いずれも PVDF-TrFE に由来するものではなかった。

おり、22組44個蒸着されている。これは、圧電効果によって生じる電圧を計測する認識用電極と電気刺激によって制御振動を発生させる制御用電極である。はじめに、上下の電極間における静電容量  $C$  を計測し、比誘電率  $\epsilon$  を算出することでバルクの物性と比較した。次に、MEMS人工内耳と同様の作製条件でガラス基板上に電極とPVDF-TrFEを製膜し、X線回折法を用いて結晶構造を推定した。これにより、圧電性を有するPVDF-TrFEを作製できているかを検討した。

LCRメータを用いて静電容量  $C$  を計測した結果、 $C = 0.622 \text{ pF}$  となった。 $C = \epsilon\epsilon_0 S/d$  ( $\epsilon_0$ : 電気定数,  $S$ : 電極面積,  $d$ : 電極間距離) であり、 $\epsilon_0 = 8.85 \text{ pF/m}$ ,  $S = 1.09 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$ ,  $d = 1 \text{ }\mu\text{m}$  とすると、 $\epsilon = 6.45$  と求まった。文献値 (Koga and Ohigashi, J. Appl. Phys, 1986; Topral and Tigli, J. Mater. Sci. Mater. Electron., 2017) では、 $\epsilon = 4 \sim 8.85$  となっており、おおよそバルクと一致することが確認された。

図2にPVDF-TrFEのX線回折装置による測定結果を示す。縦軸を散乱強度、横軸を回折角度  $2\theta$  とした。その結果、 $2\theta = 20^\circ, 40^\circ, 80^\circ$  近傍で明確なピークが観測された。これは、ガラス基板および電極にそれぞれ由来していると考えられる。また、 $2\theta = 20^\circ \sim 40^\circ$  においてなだらかなピークが確認できる。これは、PVDF-TrFEのピークであると考えられるが、PVDF-TrFEの結晶性は低く、アモルファスとなっている可能性があり、デバイスの作製条件が最適ではないことが示唆された。現段階では、PVDF-TrFEの製膜においてアニーリングを  $130^\circ\text{C}$  で2時間行っているが、結晶性が低いことから処理時間が不十分であり、今後の作製において単結晶となる条件を探索する。

**キーワード : Microelectromechanical systems (MEMS); 人工内耳; 圧電・逆圧電効果**

#### 研究経費 (R4年度) の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
125,400 円	25,080 円	70,990 円	0 円	158,530 円	380,000 円

#### 共同研究者等

(1)共同研究者 (氏名・所属)

なし

(2)研究協力者 (氏名・所属・学年 (学生の場合))

明神 一樹・機能創成専攻 機能デザイン領域・M2

加納 康平・システム科学科 機械科学コース・B4

宅和 天・システム科学科 機械科学コース・B4

山崎 督三・システム科学科 機械科学コース・B4

#### 発表論文等 (令和5年3月31日現在)

[学会発表]

1. H. Yamazaki, T. Ota, H. Hibino, and S. Kawano, Bio-inspired MEMS resonators for artificial sensory epithelia, International Symposium on Mechanobiology for Human Health: 8 years progress in The

AMED-CREST/PRIME project on mechanobiology, P4-6, KFC Hall & Rooms, March 22nd-23rd (2023).

2. 宅和天, 山崎嘉己, 川野聡恭, 外有毛細胞を模倣した振動制御による小型人工聴覚上皮の高機能化, 日本機械学会関西支部 2022 年度関西学生会卒業研究発表講演会, 10734, 京都工芸繊維大学, 2023 年 3 月.
3. 加納康平, 山崎嘉己, 川野聡恭, フルフィールド振動計測を用いた人工聴覚上皮の時間応答解析, 日本機械学会関西支部 2022 年度関西学生会卒業研究発表講演会, 10737, 京都工芸繊維大学, 2023 年 3 月.
4. 山崎督三, 山崎嘉己, 川野聡恭, 電気的特性の計測に基づく弓形人工聴覚上皮の周波数弁別能評価, 日本機械学会関西支部 2022 年度関西学生会卒業研究発表講演会, 10738, 京都工芸繊維大学, 2023 年 3 月.
5. 山崎嘉己, 川野聡恭, 流体構造連成解析に基づく弓形人工聴覚上皮の液中における周波数弁別能評価, 日本機械学会第 13 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 15P2-PN-14, 徳島, 2022 年 11 月.
6. 明神一樹, 山崎嘉己, 川野聡恭, 動物実験用人工聴覚上皮における周波数弁別能の *in vitro* 評価, 日本機械学会第 13 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 16P2-PN-11, 徳島, 2022 年 11 月.

#### 外部資金獲得状況・申請状況

本研究に関わる研究課題を日本学術振興会・科学研究費助成事業・若手研究に申請予定.

#### 参考となる HP 等

<https://bnf.me.es.osaka-u.ac.jp/>