

令和5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：大学院基礎工学研究科 機能創成専攻
職位 助教 氏名：山崎 嘉己

研究成果：

(概要) 感音性難聴の未来医療に関連し、内耳蝸牛のコルチ器を模倣した MEMS 人工内耳の開発に取り組んできた。本研究では、非鉛有機系の圧電薄膜に生じる電圧の向上を目指し、デバイス作製プロトコルの最適化と電圧計測に重点を置き、研究を遂行した。デバイス作製の条件出しと XRD 解析の結果、薄膜が圧電性を有意に示す結晶構造を有していることが示された。また、電圧計測の結果、最大で $169 \mu\text{V}$ の出力が得られ、課題申請時と比較して感度が約 2 倍向上した。

(本文) 感音性難聴に対する次世代の治療方法として、Microelectromechanical systems (MEMS) 技術を援用し、内耳蝸牛のコルチ器を模倣した完全埋め込み型人工内耳の開発を進めてきた。MEMS 人工内耳は、図 1 のように台形状の圧電薄膜であり、台形薄膜の機械的特性により音の周波数を識別し、圧電効果による出力電圧を用いて聴神経を刺激する。これまでに、モルモットを用いた聴性脳幹反応の計測を目指し、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。一方、用いる圧電体は生体適合性を有する非鉛有機系のポリフッ化ビニリデン三フッ化エチレン (polyvinylidene fluoride-trifluoroethylene: PVDF-TrFE) であり、発生する電圧が微弱なため聴神経の電気刺激が困難である。昨年度は、PVDF-TrFE の電気的物性を評価し、現状の作製条件では圧電性の発現が不十分であることがわかった。そこで令和 5 年度では、デバイス作製プロトコルの最適化と電圧特性の評価を目的とした。

まず、圧電薄膜の作製条件を再検討した。アニーリング処理において圧電体の結晶構造が決まるため、温度および加熱時間をパラメータとしてデバイスを作製した。条件出しを行い、XRD 解析した結果を図 2(a)に示す。130°Cで 15 min および 85 h 加熱したサンプルの結果であり、縦軸に回折強度、横軸に回折角度を示す。20.6°においてピークが確認され、85 h 加熱した試料が最大のピークを示した。また、図 2(b)に PVDF-TrFE の粉末を測定した結果を示す。20.6°, 35.9°, 41.5°で回折ピークが確認され、20.6°におけるピークが最大となった。PVDF-TrFE の回折ピークは、20°付近に現れることが知られており、圧電性を顕著に示す方向である。すなわち、成膜した PVDF-TrFE は圧電性が発現しており、85 h が最も適した時間であることがわかった。

次に、圧電薄膜に生じる電圧を計測した。図 3 に電圧の周波数特性を示す。 $\theta = 82^\circ, 102^\circ$ に位置するパターン電極で計測した結果であり、縦軸に電圧、横軸に周波数を示す。 $\theta = 82^\circ$ では 130

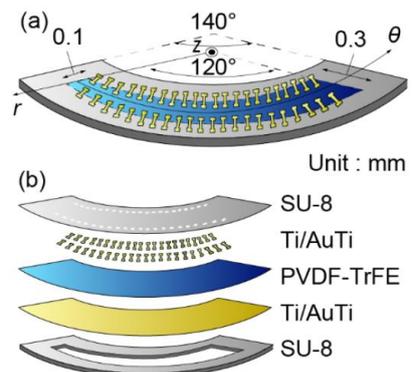


図 1 MEMS 人工内耳. (a) 円弧に沿って幅が 0.1 mm から 0.3 mm に変化する台形状の振動薄膜を有する. (b) 振動薄膜は、弾性体 (SU-8)、パターン電極、圧電薄膜 (PVDF-TrFE)、アース電極から構成され、基板 (SU-8) によって支持される。

kHz, $\theta = 102^\circ$ では 100 kHz においてピークが観測され, それぞれの位置における共振周波数である. θ 軸負方向に沿って共振周波数が高くなっていることから, 位置によって共振周波数が異なり, 電圧計測の結果から周波数弁別能が示された. また, 本研究では 125 dB の外力に対して $169 \mu\text{V}$ の電圧が生じており, 感度は $1.35 \mu\text{V}/\text{dB}$ であった. 課題申請時の感度は $0.707 \mu\text{V}/\text{dB}$ であり, 約 2 倍性能が向上した. 今後は, モルモットを用いた動物実験における聴性脳幹反応の計測を目指し, 制御回路および聴神経刺激用プローブの開発を進める.

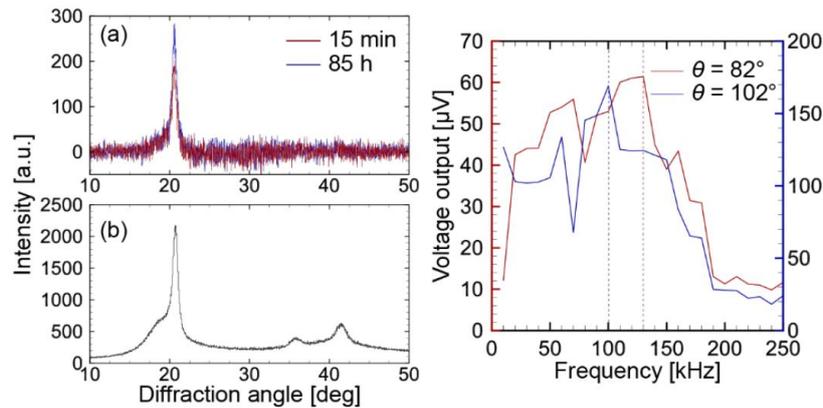


図 2(a) PVDF-TrFE 薄膜および 図 3 MEMS 人工内耳に生じる電圧の周波数特性. 各位置の共振周波数においてピークが見られ, 周波数弁別能を示した.

研究経費 (R5 年度) の内訳 :

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0 円	221,800 円	49,200 円	0 円	129,000 円	400,000 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))

加納 康平・機能創成専攻 機能デザイン領域・M1

山崎 督三・機能創成専攻 機能デザイン領域・M1

内山 拓音・システム科学科 機械科学コース・B4

大下 歩夢・システム科学科 機械科学コース・B4

岡山 修平・システム科学科 機械科学コース・B4

小野 哲裕・システム科学科 機械科学コース・B4

発表論文等 (令和 6 年 3 月 31 日現在) :

[雑誌論文]

[1] Kentaro DOI, Sho TAKEUCHI, Hiroki YAMAZAKI, Tetsuro TSUJI, and Satoyuki KAWANO, "Fluid-Structure Interaction Analysis of Trapezoidal and Arc-Shaped Membranes Mimicking the Organ of Corti," *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng.* (under revision).

[2] Jie SHAN, Hiroki YAMAZAKI, Li JINGMIN, and Satoyuki KAWANO, “Traveling Wave Propagation Characteristics of Artificial Cochlear Basilar Membrane: Theory and Experiment” (in preparation).

〔学会発表〕

[1] Hiroki YAMAZAKI and Satoyuki KAWANO, “Fluid-Structure Interaction Analysis of an Artificial Cochlear Sensory Epithelium Immersed in a Liquid Environment,” *ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2023*, 1-01-1-04, Osaka, Japan, July 9th-13th (2023).

[2] 山崎嘉己, 川野聡恭, 蝸牛の感覚上皮帯を模倣した次世代型人工内耳の創成, 第 62 回日本生体医工学会大会, 名古屋国際会議場, 2023 年 5 月 (招待講演).

[3] 内山拓音, 山崎嘉己, 川野聡恭, 蝸牛モデルに設置した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 2023 年度関西学生会卒業研究発表講演会, 08PM1-5, 大阪工業大学, 2024 年 3 月 (Best Presentation Awards).

他 9 件.

〔その他〕

[1] 日本機械学会 奨励賞 (研究) 受賞, 2023 年 4 月.

外部資金獲得状況・申請状況 :

なし

参考となる HP 等 :

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