

Title	CHARACTERIZATION OF PIEZOELECTRIC BIONIC AUDITORY MEMBRANE
Author(s)	Harto, Tanujaya
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58253
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 大阪大学の博士論文について をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	ハルト タヌジャヤ Harto Tanujaya
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24211 号
学位授与年月日	平成22年9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学位論文名	CHARACTERIZATION OF PIEZOELECTRIC BIONIC AUDITORY MEMBRANE (BAM) FOR NOVEL ARTIFICIAL COCHLEA (新しい人工内耳創成へ向けた圧電性聴覚センサの特性解析)
論文審査委員	(主査) 教授 川野 聡恭 (副査) 教授 辻本 良信 教授 河原 源太

論文内容の要旨

Cochleae are one of the important organs for hearing in the human and animals. There is a series of hair cells in the cochlea, which are keys for the people hear. A human has 3,500 – 4,000 inner hair cells and about 12,000 outer hair cells. The damage of some these hair cells results in the decreased hearing sensitivity or the deafness. To solve this problem, many researchers and companies make and develop the hearing aid and cochlear implant. In our research, we are interested in cochlear implant. Cochlear implant is a small electronic device that can be surgically implanted into cochlear to help a person hear. The present commercial cochlear implant device consists of two parts, the extracorporeal device and the implantable parts. The extracorporeal device consists of batteries, processor and microphone and the implantable stimulating electrode consists of receiver and electrode. The power consumption of the cochlear implant is also relative high. These situation motivates us to create a fully self contain implantable artificial cochlea.

In this thesis, we develop a prototype of the bionic auditory membrane (BAM) which is part of the fully self implantable artificial cochlea. The shape of the BAM imitate to the unrolled basilar membrane in the cochlea. Principle work in our BAM is

not only converts the acoustic wave into electric signal but also the frequency selectivity. We have experimentally and theoretically studied the characteristic of the BAM in detail.

We develop a novel piezoelectric prototype BAM for clinical applications, which is made of Polyvinylidene fluoride (PVDF). The shape of the BAM is made trapezoidal to realize the frequency selectivity. Length of the BAM is 30 mm along x direction with the varying width from 2.0 to 4.0 mm. The 24 detecting electrodes are fabricated on the upper side of the BAM with thickness of 500 nm. All of the detecting electrode arrays are made of aluminum, which are fabricated using standard photolithography and etching process. These electrodes are used to measure the electric signal generated by the piezoelectric effect of PVDF. The acoustic waves are produced by a speaker (FOSTEX, JAPAN) with the magnitude of 75 dB SPL and applied through the atmosphere to the upper side of the prototype BAM. The frequency of acoustic waves is controlled from 1 to 20 kHz which are in the range of human auditory.

We carried out the experiments in air and in liquid to clarify the vibrating characteristics and piezoelectric effect of the membrane. In the liquid experiment, as a model of scala tympani, the fluid channel is designed. The fluid channel is filled with silicone oil with the viscosity and density of 1.75×10^{-3} Pa s and 873 kg/m^3 , respectively. Location of the fluid channel is under the membrane with the dimension of 17 and 4 mm in width and depth, respectively.

Both of these experimental results in air and silicone oil have the same trend where the location of the local maximum amplitude changes to the smaller width as the frequency increases. This phenomenon indicates that the device successfully realize the frequency selectivity. The differences between them are found in the resonant frequencies and the magnitude of the vibrating amplitudes. Results in the air have higher resonant frequency and larger vibrating amplitude than those in the liquid. These differences are considered as the result of the fluid-structure interaction. These phenomena of the frequency dependence have similarities with those of the biological basilar membranes. The local resonant frequency is investigated in the range of 6.6 ~ 19.8 kHz in the air and 1.4 ~ 4.9 kHz in the silicone oil, respectively. This phenomenon is confirmed with the reasonable agreement between the experiment and theory in terms of the local resonant frequency.

Biocompatibility of the implantable BAM made of P(VDF-TrFE) is also investigated before implanted to the cochlea. The fibronectin of human plasma and the collagen of the calf skin are used as the cell adhesion factors. The results show the neurons can be cultured on the P(VDF-TrFE) film and Pt electrodes which modified by the fibronectin and the collagen.

論文審査の結果の要旨

人工内耳とは感音性難聴治療に利用される人工臓器である。臨床応用されて、既に20年以上が経過しており、最も成功した埋め込み型医療機器の一つと言える。しかしながら、その適用は高度および中程度難聴患者に限られており、現在、侵襲性の改善による適用範囲の拡大が求められている。また、既存方式の多くにおいて体外装置が不可欠であり、QOL(Quality of Life)の観点から、完全埋め込み型の新しい人工内耳の開発が必要とされている。

以上の背景から、本研究では、MEMS(Microelectromechanical systems)技術を用いて、体外装置と電源を持たない完全埋め込み型人工内耳の創製を目指している。そして、生体の聴覚系を模倣した新しい方式の音響センサを開発し、人工内耳としての有効性について詳細に検討している。

開発した音響センサの主要な構成要素は、BAM(Bionic auditory membrane)という圧電性振動板である。BAMは、蝸牛における基底板を模倣して設計されている。そのため、音の入力に対して振動し、生体と類似の方式で周波数の識別、すなわち周波数弁別を実現する。また、BAM上には多数の微小薄膜電極が配置しており、各電極において音はその周波数を識別された上で電気信号に変換される。

BAMはリンパ液で満たされた蝸牛管に挿入することが想定されているため、本論文は、振動および周波数弁別における周囲流体の影響について実験および理論の両面から検討している。まず、空気中および液体中におけるBAMの動作特性を実験的に測定し、液体中においてBAMの動作周波数帯が低下することを明らかにしている。次に、BAMの振動現象を流体構造連成振動として捉え、Wentzel-Kramers-Brillouinに基づく解析手法により分散関係式を導出している。そして、実験と理論の比較から、分散関係式の妥当性を示している。さらに、理論的考察から、液体中において観察された動作周波数帯の低下は、BAMの振動に対する実効的な質量増加が原因であることを明らかにした。

以上のように、本論文は新しい人工内耳の開発および設計に寄与するものであり、今後の実用化における基盤技術として有用である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。