

생체모사 마이크로 멀티캔틸레버 음향센서의 제작 및 음향특성 측정

Fabrication and Measurements of Biomimetic Microcantilever Acoustic Sensor

*#허 신¹, 곽준혁¹, 정영도¹, 이영화¹

*#S. Hur(shur@kimm.re.kr)¹, J.H. Kark¹, Y.D.Jung¹, Y.H.Lee¹

¹한국기계연구원 나노자연모사연구실

Key words : piezoelectric, micro-cantilever, acoustic sensor, sensitivity

1. 서론

인간과 동물의 감각기관을 모사한 인공 감각 시스템의 연구는 세계적으로 관심을 받고 있다. 이는 가장 민감하고 효과적인 센싱 기능을 가지는 인간과 동물, 즉 자연에서 연구의 실마리는 찾고자 하는 노력에서 비롯된다. 기존에 개발된 인공와우(인공 달팽이관)는 청력이 손실된 환자의 청력복원을 위하여 개발되었다. 인공와우는 소리신호를 전기적 신호로 변화시키는 마이크, 신호처리부, 소리신호를 체외에서 내부로 전달하는 코일부, 그리고 청신경을 자극하는 전극 어레이로 구성된다. 이러한 현재의 인공와우가 가지는 한계는 비싼 제품가격과 많은 에너지 소모로 인한 빈번한 충전문제 등이다 [1]. 압전 재료는 외력이 작용하면 재료 내부의 쌍극자(dipole)들의 정렬에 의하여 전류를 생성하는 고유의 특성을 가지고 있다 [2]. 이러한 특성은 외부로부터 전류의 공급 없이, 외부의 자극만으로 스스로 전류를 생성하여 자극을 감지하고 또는 자극의 정도를 나타내주는 센서로서의 가능성을 보여준다. 본 논문에서는 이러한 압전 특성이 좋은 압전 단결정 PMN-PT를 사용하여 마이크로 크기의 캔틸레버 형태의 어레이를 만들어 음향 센서로서의 특성을 연구하고자 한다. 연구 결과로서, 0.4 kHz에서 12.5 kHz의 가청주파수 대역의 음향신호를 감지할 수 있도록 10개의 다른 길이를 가지는 마이크로 캔틸레버 어레이 음향센서가 설계되고 제작되었다. 또한 제작된 음향센서의 기계적 공진주파수 특성 측정 및 압전 특성에 의한 전기적 신호 발생의 크기가 측정되었으며, 외부의 음원에 대한 감도 및 성능을 평가하였다. 이에 따라 인공와우의 인공기저막과 유사한 특성을 가지는 주파수 분리특성과 전기신호 발생특성을 가지는 생체모사 음향센서로서의 가능성을 확인하였다.

2. 압전 마이크로캔틸레버 어레이 설계 및 제작

가청주파수 범위인 400 Hz에서 12,500 Hz 사이의 공진주파수를 가지는 10개의 캔틸레버를 제작하기 위하여 캔틸레버 길이를 550 μm에서 3000 μm까지 서로 다르게 설계하였다. 센싱 전극은 전극의 두께가 5 μm, 전극간의 거리가 10 μm인 IDT(interdigitated) 타입의 형태로 설계되었고 PMN-PT 캔틸레버에서 변형이 가장 많은 지지부분에 설치된다. PMN-PT 캔틸레버의 제작을 위해서는 격자구조가 <100>인 500 μm 두께의 4인치 실리콘 웨이퍼에 크기 2cm X 2cm의 압전 단결정 PMN-PT를 접착하여 사용하였다. 두꺼운 PMN-PT는 연삭공정으로 두께를 약 20 μm까지 줄이고, ICP(Inductively coupled Plasma) 에칭을 이용하여 PMN-PT의 두께를 최종 13 μm까지 줄였다. 센싱 전극을 제작하기 위해서는 이온빔 스퍼터링이 이용되었다. PMN-PT 캔틸레버를 제작하기 위하여 캔틸레버 부분 이외의 PMN-PT를 완전하게 제거하기 위하여 ICP 에칭이 다시 한 번 사용되었다. 마지막으로 실리콘 웨이퍼 뒷면의 실리콘을 제거하기 위해서 DRIE (Deep Reactive Ion Etching) 공정이 사용되었다 [3]. 제작된 PMN-PT 캔틸레버는 폭이 300 μm이고 두께가 15 μm이다. 최종 제작된 PMN-PT 캔틸레버 어레이 소자는 Fig. 1과 같이 서로 마주보는 형식으로 제작되었다.

3. 음향센서의 기전특성 측정 및 평가

먼저 제작된 압전 단결정 PMN-PT 캔틸레버의 압전특성을 부여하기 위하여 폴링작업을 수행하였다. 프로브스테이션의 양극 및 음극 탐침을 IDT 전극의 각 양극 및 음극에 접촉시키고, DC전압

20 V를 20분간 공급하였다. 그 다음에 임피던스 분석기(Agilent 4294A)를 사용하여 DC 20.0 V 및 AC 1.0 Vp-p, 전류 10 mA의 사인파를 주파수 50 Hz에서 15,000 Hz까지 공급하고, PMN-PT 캔틸레버의 임피던스와 임피던스각을 측정된 다음 공진 주파수를 분석하였다. 각 PMN-PT 캔틸레버의 공진주파수는 490 Hz에서 13,600 Hz까지 측정되어 설계값과 유사하였다. 또한 압전 단결정 PMN-PT 캔틸레버의 감도를 측정하기 위하여 LDV 스캐닝 시스템(Polytec, Germany), mouth simulator(Type 4227 B&K), Condenser microphone (Type 4176 B&K)을 사용하였다. 마이크로 캔틸레버 어레이의 감도 및 발생전압을 측정된 결과, Fig. 2와 같이 10개의 압전 캔틸레버 길이에 대응하는 공진 피크가 발생하였고 음압 1.0 Pa에 대응하는 캔틸레버 감도가 계산되었다. 또한 각 압전 캔틸레버에 발생하는 전압도 캔틸레버 길이에 비례하여 증가하는 것으로 확인되었다. 그리고 특정 음성신호의 주파수 성분에 따라 압전 캔틸레버 어레이가 민감하게 반응하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 압전 단결정 PMN-PT 마이크로 캔틸레버를 어레이 형태로 제작하여 음향센서로서의 가능성을 연구하였다. 이를 위하여 PMN-PT 마이크로 캔틸레버의 설계 및 제작되었고, 음향특성 측정을 위해서는 소음 영향을 배제하기 위해서 무향실이 사용되었다. 압전 캔틸레버 어레이 음향센서의 기전특성을 측정된 결과, 10개의 캔틸레버 어레이의 공진주파수는 각각 490 Hz에서 13,600 Hz 사이에서 설계값과 유사하게 측정되었다. 또한, 마이크로 캔틸레버 어레이의 감도 및 발생전압을 측정된 결과, 압전 캔틸레버의 길이에 대응하는 공진 피크가 발생하였고 음압 1.0 Pa에 대응하는 캔틸레버 감도가 계산되었다. 또한 이때 각각의 압전 캔틸레버에 발생한 전압도 캔틸레버 길이에 비례하여 증가하는 것으로 확인되었다. 그리고 특정 음성신호의 주파수 성분에 따라 압전 캔틸레버 어레이가 민감하게 반응하는 것을 확인하였다. 이러한 연구결과는 PMN-PT 마이크로 캔틸레버 어레이 음향센서가 음원에 민감하게 반응하여 특정 주파수 성분에 대응하는 주파수 분리 특성을 갖는 음향센서로서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 이러한 특징은 인간의 달팽이관의 특성인 주파수 분리 기능 및 생체전기신호 발생 기능과 아주

유사하므로, 새로운 인공와우의 핵심소자로의 응용이 가능할 것으로 기대된다.

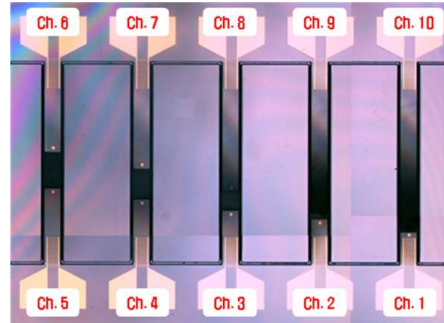


Fig. 1 Fabricated sample of single crystal PMN-PT piezoelectric cantilever array

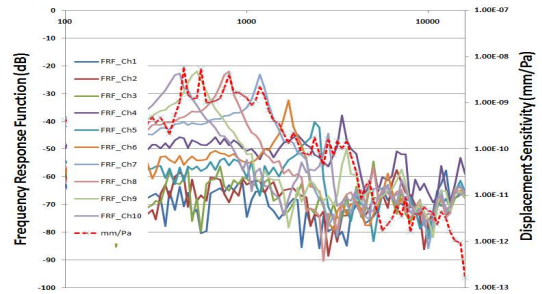


Fig. 2 Electro-mechanical measurements of PMN-PT piezoelectric cantilever array

후기

이 논문은 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업 (No. 2011K000656)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- Loizou, P., "Introduction to cochlear implants," IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 18, 32-42, 1999.
- Arnau, A., "Piezoelectric Transducers and Applications," Springer-Verlag, ISBN 3-540-20998-0.
- Hur, S., Lee, S.Q., and Choi, H.S., "Fabrication and characterization of PMN-PT single crystal cantilever array for cochlear-like acoustic sensor," JMST, 24, 181-184, 2010.