

힌지구조를 갖는 초소형 콘덴서 마이크로폰

김혜진 · 이성규[†] · 박강호

A novel miniature condenser microphone with a hinge diaphragm

Hye Jin Kim, Sung Q Lee[†], and Kang Ho Park

Abstract

This paper presents a novel, highly sensitive condenser microphone with a flexure hinge diaphragm. We used the finite-element analysis (FEA) to evaluate the mechanical and acoustic performance of the condenser microphone with a hinge diaphragm. And we fabricated the miniature condenser microphones with area of 1.5 mm × 1.5 mm. From the simulation results, we confirmed that the maximum displacements at the center of flexure hinge diaphragms are several hundred times, compared with flat diaphragms. The sensitivities of fabricated miniature microphones are about 12.87 $\mu\text{V}/\text{Pa}$ at 1 kHz under a low bias voltage of 1 V, and the frequency response is flat upto 13 kHz.

Key Words : sensitivity, hinge diaphragm, condenser microphone

1. 서 론

최근 휴대폰, PDA, PMP 등 휴대 모바일 기기가 급속히 보급되면서, 보다 나은 음향기술에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 고감도 및 넓은 주파수 대역의 음향센서를 개발하고자 수많은 연구들이 진행되고 있으며, 특히 실리콘 MEMS 기술을 이용한 고감도 콘덴서 마이크로폰에 대한 연구 및 개발은 매우 활발히 이루어지고 있다^[1-4].

휴대용 단말기에 제공되는 마이크로폰은 대부분 콘덴서 마이크로폰으로써, 이는 압전형 마이크로폰에 비하여 감도가 높고 넓은 주파수 대역을 커버하는 장점을 지니고 있다. 또한 전력 소모가 적고 사이즈가 작으며 높은 SNR(signal-to-noise ratio)값을 보인다. 여기서, 콘덴서 마이크로폰의 감도(sensitivity)는 진동박막(membrane)의 변형(deflection) 및 콘덴서 사이에 주어지는 전압(bias voltage)에 의해 결정되므로 고감도의 콘덴서 마이크로폰을 제작하는 데 있어서 박막의 구조 설계는 매우 중요하다. 최근 주름구조의 진동박막(corrugated membrane) 등 고감도 콘덴서 마이크로폰 개발

을 위한 새로운 디자인이 주목을 받는 가운데^[5,6], 본 논문은 유연스프링(flexure hinge) 구조를 적용한 새로운 진동박막을 디자인하여 보다 높은 감도의 초소형 마이크로폰을 제작함을 보이고자 한다.

2. 디자인 및 해석

본 논문은 유연스프링 구조의 진동박막을 갖는 콘덴서 마이크로폰에 관한 것으로, 기존에 보고된 여러 진동박막 디자인과 비교하여 매우 높은 감도를 얻을 수 있음을 보인다. 유연스프링 형 진동박막의 횡단면구조(A-B line으로 잘라 본 구조)는 그림 1에 보이고 있다. 본 마이크로폰은, 무수히 많은 음향홀을 갖는 30 μm 두께의 백플레이트(backplate)와 유연스프링 구조를 갖는 진동박막으로 이루어진다. 여기서, 진동박막의 변형 및 응력 분포는 마이크로폰의 특성에 매우 중요한 영향을 끼치므로, 진동박막의 유연성을 해석해야 할 필요가 있다. 우리는 ANSYS를 이용한 유한요소해석을 사용하였다. 중요한 매개변수들은 표 1에 보이고 있으며, 이를 바탕으로 평탄한 진동박막과 유연스프링형 진동박막의 진동특성을 비교해 보았다. 진동박막의 지름은 각각 500 μm 이며, 두께는 1 μm , 음압은 100 Pa이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 유연스프링형 진동박막과 평탄한 진동박막의 최대 변위는 각각 0.1657E-1 $\mu\text{m}/\text{Pa}$,

한국전자통신연구원, IT 융합부품연구소 (IT convergence & Components Laboratory, ETRI)

[†]Corresponding author: hermann@etri.re.kr

(Received : January 29, 2007, Accepted : February 21, 2007)

표 1. 유한요소해석을 위한 물질 매개변수
Table 1. Material parameters for numerical analysis

Parameters	value
Thermal Conductivity	$K: 318 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Young's Modulus	$E: 78 \text{ Gpa}$
Poison ratio	$\nu: 0.44$
Thermal Expansion	$\alpha: 14.2 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Density	$\rho: 19300 \text{ kg/m}^{-3}$

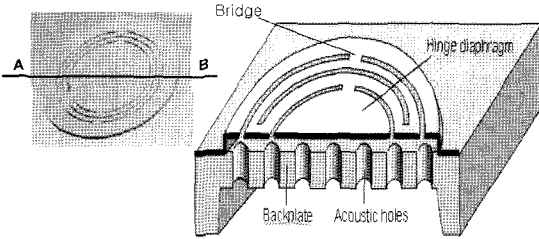


그림 1. 유연스프링형 진동박막을 갖는 콘덴서 마이크로폰 횡단면도
Fig. 1. A schematic cross-sectional view of the condenser microphone with a flexure hinge membrane.

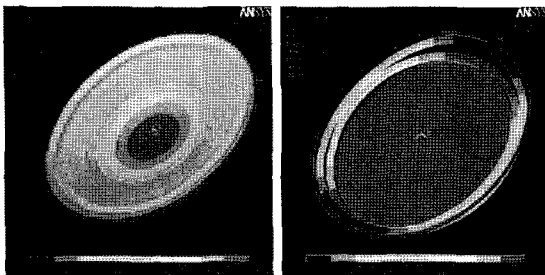


그림 2. 평탄한 진동박막(좌)과 유연스프링형 진동박막(우)의 음압에 대한 변형
Fig. 2. The deformation characteristics of the flat diaphragm (left) and the flexure hinge diaphragm (right).

0.5818E-4 $\mu\text{m}/\text{Pa}$ 이다. 이는 평탄한 진동박막의 경우와 비교하여 약 285배 이상의 감도 향상을 기대할 수 있음을 의미한다. 한편, 그림 3은 음압에 대한 주파수 모드 해석을 보이고 있는데, 첫 번째 공진이 15,637 Hz, 두 번째 공진이 24,387 Hz에서 일어난다. 이 s는 인간의 가청주파수 대역 (2-20 kHz) 안에서 공진이 일어나는 것이지만, 힌지 패턴의 간격(bridge)을 넓히는 적당한 구조 변경으로 보다 넓은 주파수 대역을 얻을 수 있다.

3. 마이크로폰 제작 및 결과

유연스프링 구조를 갖는 콘덴서 마이크로폰의 제작

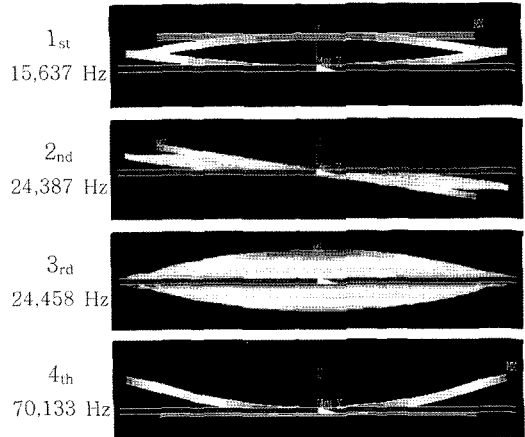


그림 3. 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 음압에 대한 주파수 모드 해석
Fig. 3. The vibration mode analysis for a flexure hinge diaphragm.

과정은 그림 4에 보인다. 먼저, N-type 5" SOI 웨이퍼의 앞면에 백플레이트 전극 형성을 위해 n⁺-implantation을 한다(그림 4a). 그리고 SiO_x 절연층을 형성한 후(그림 4b), DRIE 공정을 이용해 음향홀을 형성하고(그림 4c) 보호막을 증착한다. 여기서, 음향홀이 형성된 백플레이트의 두께는 30 μm 이며 음향홀의 지름은 5 μm , 10 μm , 15 μm 으로 다양하게 하였다.

이제 SiO_x와 SOG(spin-on-glass)를 이용해 희생층을 형성한다(그림 4d). 그림 5는 희생층 공정 이후 측정된 주사전자현미경(SEM) 이미지를 보이고 있다. 희생층은 SiO_x를 3 μm 이상 증착한 후 SOG(spin-on-glass)를 이용하여 수차레 코팅 및 경화를 반복함으로써 형성되었다. 이 때, 희생층을 형성하는 과정에서 각 음향홀에 커다란 공간(cavity)이 생기게 되는데, 이는 후속 공정을 통해서 모두 제거되므로 무시할 수 있다.

다음으로, 백플레이트 전극을 위한 콘택(contact)을 형성하고(그림 4e), 약 0.6 μm 두께의 Au 진동박막 및 패드를 형성한다(그림 4f). 마지막으로, 웨이퍼의 뒷면을 DRIE 장비를 이용해 식각한 후 BHF 용액을 이용해 희생층을 제거하게 된다(그림 4g, 4h).

제작된 MEMS형 콘덴서 마이크로폰의 광학현미경 이미지는 그림 6에 보인다. 소자의 전체 size는 1.5 × 1.5 mm²이고, 진동박막의 지름과 두께는 각각 500 μm , 0.6 μm 이며, 진동박막과 백플레이트 사이의 간격은 2.5 μm 이하이다.

우리는 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 동작특성을 보기 위하여 임피던스(impedance) 및 정전용량(capacitance) 변화를 측정하였다(그림 7). 먼저, 소자의

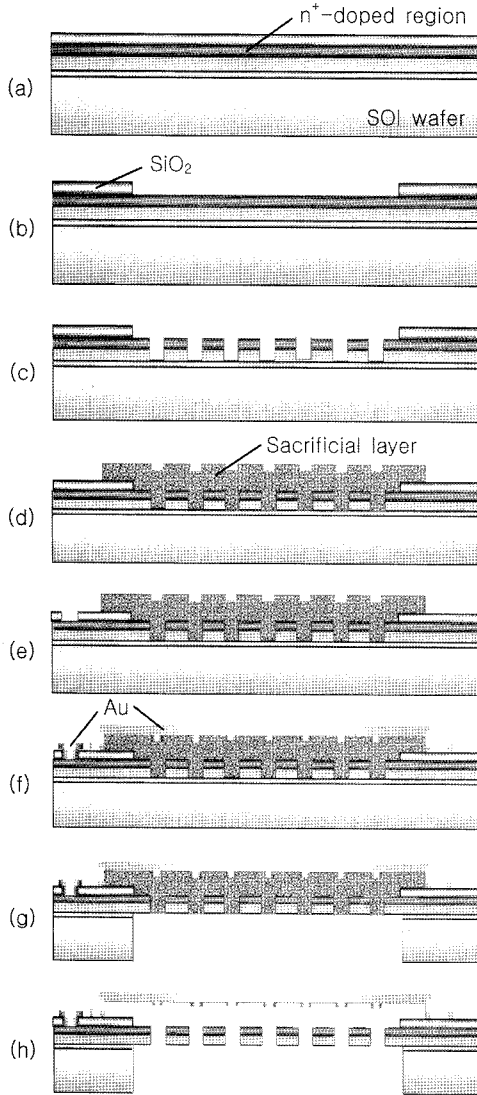


그림 4. 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 공정 과정
 Fig. 4. A Schematic view of the fabrication process (the cross-section along line AB in Fig. 1).

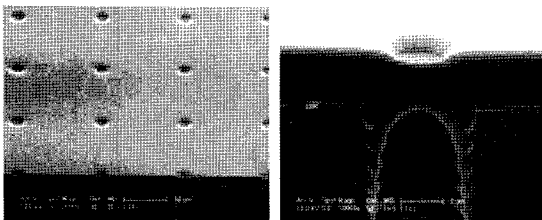


그림 5. SOG 회생층 공정 이후의 FE-SEM 이미지
 Fig. 5. FE-SEM images measured after SOG coating and curing process.

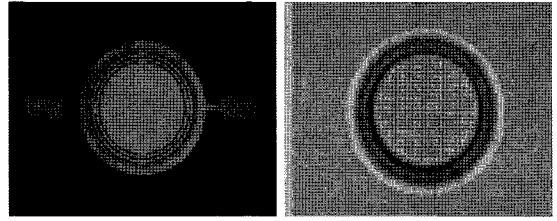


그림 6. 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 광학현미경 이미지, (좌) 앞면과 (우) 뒷면 이미지
 Fig. 6. Optical microscope images of fabricated miniature condenser microphones, (left) front-side and (right) backside images.

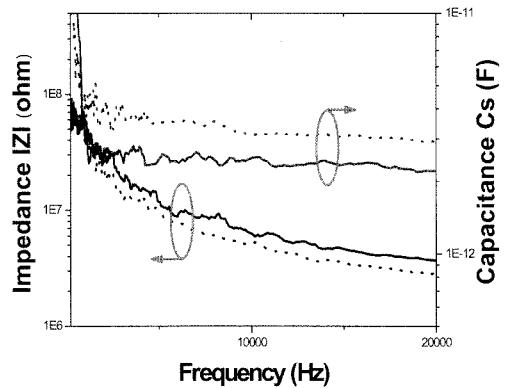


그림 7. 제작된 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 임피던스 특성
 Fig. 7. Impedance characteristics of fabricated condenser microphone with a flexure hinge membrane.

임피던스는 고주파로 갈수록 줄어드는데 입력 전압이 1V로 증가할 시 진동박막과 백플레이트 사이의 간격이 줄어들어 임피던스 값이 감소하게 되는 경향을 보이고 있다. 또한, 주파수 변화에 따른 정전용량 값을 측정하고 결과 입력 전압을 1V 인가시 약 0.8 pF 정도의 증가를 보이고 있는데, 이는 진동박막이 약 0.7 μm 정도 아래로 내려가 백플레이트와의 간격이 1.8 μm 으로 줄어들었음을 알 수 있는 결과이다.

또한, 우리는 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 주파수 응답특성을 확인하였다. 가청주파수 대역인 20~20 kHz 에서 확인한 결과 스피커의 주파수에 매우 잘 반응하였다. 그림 8은 기준 스피커의 주파수를 10 kHz 및 20 kHz로 하였을 때의 마이크로폰의 응답 특성을 보인 결과이다. 10 kHz에서는 약 1.2 mV, 20 kHz에서는 약 2.1 mV의 출력전압을 보였다. 이는 마이크로폰의 민감도가 고주파로 갈수록 향상됨을 보이는 것이다.

그림 9는 12.5 mV/Pa의 민감도를 갖는 마이크로폰

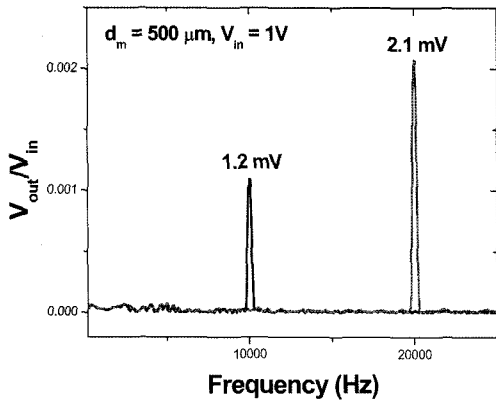


그림 8. 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 주파수 응답 특성 분석

Fig. 8. Frequency response characteristics of the condenser microphone with a flexure hinge membrane.

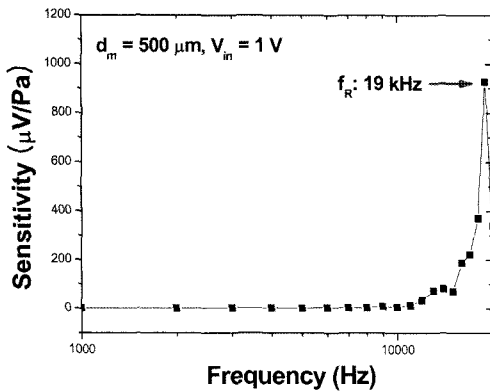


그림 9. 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 민감도 측정
Fig. 9. Sensitivity measurement of the condenser microphone with a flexure hinge membrane.

을 기준으로 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 민감도를 측정하였다. 500 μm 지름의 진동박막의 경우 1 kHz에서 약 12.87 μV/Pa의 민감도를 갖는 것으로 보이며, 저주파에서 민감도가 낮고 고주파로 갈수록 민감도가 향상되는 결과를 보인다. 이는 진동박막의 크기가 매우 작기 때문에 구조적인 유연성을 매우 향상시킨다 하더라도 저주파에서는 매우 둔감함을 보이는 것이다. 따라서, 이는 진동박막의 유연성을 유지하면서 면적을 넓힌다면 쉽게 해결할 수 있는 문제이다.

한편, 제작된 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰은 19 kHz에서 공진이 발생하는데, 이는 가청주파수 영역에서 발생하는 것이나 힌지 패턴의 간격을 넓히는 구조변경으로 보다 넓은 주파수대역을 커버할 수 있다. 또한, 첫 번째 공진 주파수가 앞서 보인 시뮬레이션 결

과는 약간의 차이가 있는데 이는 공정상의 오차로 인한 것으로 해석된다.

4. 결 론

MEMS형 콘덴서 마이크로폰은 넓은 주파수 대역을 걸쳐 고감도의 특성을 보일 뿐 아니라 크기가 작아 모바일 기기 등 다양한 분야에 매우 활발히 응용되고 있다. 본 논문은 유연스프링 구조를 갖는 콘덴서 마이크로폰에 관한 것으로, 현재까지 보고된 콘덴서 마이크로폰보다 현저히 작은 초소형 콘덴서 마이크로폰을 제작하고 그 특성을 분석하는 데 목적이 있다.

먼저, 우리는 유한요소해석을 통해 평탄한 진동박막을 갖는 경우와 비교하여 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰이 매우 고감도의 성능을 보임을 확인하였다. 또한, 제작된 유연스프링형 콘덴서 마이크로폰의 민감도는 1 kHz에서 약 12.87 μV/Pa의 값을 보였으며 첫 번째 공진 주파수는 약 19 kHz에서 발생하였다. 이에 우리는 진동박막의 면적 및 힌지 간격(bridge) 등의 간단한 구조변경으로, 가청 주파수 모든 대역에서 감도를 향상시키고 보다 안정적인 주파수 응답특성을 기대할 수 있는 것이다.

참고 문헌

- [1] W. Kronast, B. Muller, W. Siedel, and A. Stoffel, "Single-chip condenser microphone using porous silicon as sacrificial layer for the air gap," *Sensors and Actuators A*, vol. 87, pp. 188-193, 2001.
- [2] M. Brauer, A. Dehe, T. Bever, S. Barzen, S. Schmitt, M. Fuldner, and R. Aigner, "Silicon microphone based on surface and bulk micromachining," *J. Micromech. Microeng.*, vol. 11, pp. 319-322, 2001.
- [3] Y. B. Ning, A. W. Mitchell, and R. N. Tait, "Fabrication of a silicon micromachined capacitive microphone using a dry-etch process," in *Digest Tech. Papers Transducers'95 & EUROSENSORS IX*, pp. 704-707, Stockholm, Sweden, 1995.
- [4] 권휴상, 이광철, "기판집합기술을 이용한 두꺼운 백플레이트와 수직음향구멍을 갖는 정전용량형 마이크로폰의 설계와 제작," *센서학회지*, 제16권, 제1호, pp. 62-67, 2007.
- [5] J. Chen, L. Liu, Z. Li, Z. Tan, Y. Xu, and J. Ma, "On the single-chip condenser miniature microphone using DRIE and backside etching techniques," *Sensors and Actuators A*, vol. 103, pp. 42-47, 2003.

[6] R. Kressmann, M. Kläiber, and G. Hess, "Silicon condenser microphones with corrugated silicon

oxide/nitride electret membranes," *Sensors and Actuators A*, vol. 100, pp. 301-309, 2002.



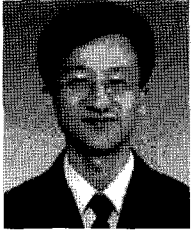
김혜진

- 1998년 전북대학교 물리학과 학사
- 2001년 서울대학교 물리학과 석사
- 2001년~현재 한국전자통신연구원 연구원
- 주관심분야 : MEMS 센서, 반도체 소자, iMEMS



이성규

- 1994년 한국과학기술원 기계공학과 졸업
- 1996년 동 대학원 석사
- 2001년 동 대학원 박사
- 2001년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원



박강호

- 1987년 서울대학교 물리학과 졸업
- 1989년 동 대학원 석사
- 1994년 동 대학원 박사
- 1994년~2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2006년~현재 한국전자통신연구원 나노융합센터팀장