

초소형 MEMS 마이크로폰의 설계 및 공정 기술 Design and Fabrication of Miniature MEMS microphone

*#허신¹, 이영화¹, 최흥수¹, 박준식¹

*#S. Hur (shur@kimm.re.kr)¹, Y. H. Lee¹, H. S. Choi¹, J. S. Park¹

¹한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부

Key words : MEMS, Microphone, Design, Sensitivity

1. 서론

MEMS 마이크로폰은 반도체 공정을 이용하여 기존의 마이크로폰의 기계적 부분을 실리콘 웨이퍼를 사용하여 개발하는 신개념의 마이크로폰이다. MEMS 마이크로폰은 반도체 기술을 이용하여 제작되며, 대량생산을 통한 비용절감 효과와 함께 최근들어 CMOS 신호변환기를 동일 칩에 내장한 제품들이 개발됨으로써, 기존 마이크로폰 시장의 주류인 ECM의 강력한 경쟁자로 떠오르고 있다 [1,2,3]. MEMS 마이크로폰은 크기가 작아 제품의 설계 변경이 용이하고, CMOS 회로가 결합되어 디지털 출력을 지원하여 시스템 구성의 디지털화와 기판 설계의 단순화를 유도하는 등 다양한 장점이 있다. 특히, 초소형, 저전력, 고효율 특성을 바탕으로 휴대폰, 디지털카메라, 랩톱, 헤드셋, 개인용 오디오/비디오, 보청기 등에 적용되면서 시장 점유율이 증가하는 추세이다[4].

본 연구에서는 먼저, 수치해석 및 시뮬레이션을 통해 정전용량형 초소형 MEMS 마이크로폰을 설계하였고, 공정은 저응력 실리콘 질화막을 이용하여 한 장의 웨이퍼에 심도이온반응성 식각법(DRIE)을 이용하여 원형의 진동막 및 전극을, 다른 한 장에 실리콘 습식식각 및 DRIE법을 이용한 다수의 수직 음향홀을 갖는 후판 및 전극을 갖도록 각각 제작하고, 마지막으로 웨이퍼간의 공용접합을 통해 초소형 MEMS 마이크로폰이 제작된다.

2. MEMS 마이크로폰의 특성설계

본 연구에서는 초소형 마이크로폰 설계를 위해 위에서 결정된 집중소자를 사용하여 진동막 지름 1.0 mm의 마이크로폰을 높은 감도(sensitivity)와 넓은 주파수 대역(bandwidth)을 동시에 고려하여 설계하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 마이크로폰 특성은 기계적 등가 집중소자 모델로 표현되었다.

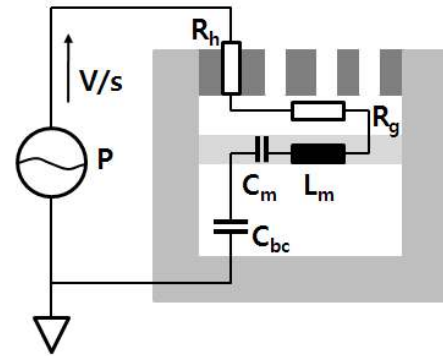


Fig. 1 Mechanical equivalent lumped parameter model of the microphone.

Fig. 1에서 기계적인 음압은 전기적인 전압으로, 전류는 공기의 부피 변화로 치환될 수 있으며 Cm은 진동막의 연성(compliance), Lm은 진동막 무게로 인한 관성(inertia), Rg와 Rh는 공기 갭과 뒷판에 위치한 구멍으로 공기가 이동하면서 발생하는 저항(resistance)을 나타낸다.

$$C_m = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot t \cdot \sigma} \left(\frac{1}{\frac{2 \cdot E \cdot t^2}{(1-\nu^2) \cdot \sigma \cdot R^2} + 1} \right) \quad (1)$$

$$L_m = \frac{t \cdot \rho \cdot f_{mass}}{\pi \cdot R^2} \quad (2)$$

$$R_g = \frac{12 \cdot \mu \cdot X_0^2}{d_{eff}^3 \cdot \pi R^2} \left[\frac{1}{4} \ln \left(\frac{X_0^2}{r_h^2} \right) - \frac{3}{8} + \frac{r_h^2}{2X_0^2} - \frac{r_h^4}{8X_0^4} \right] \quad (3)$$

$$R_h = \frac{8 \cdot \mu \cdot h}{\pi \cdot r_h^4 \cdot N_h} \quad (4)$$

감도 설계를 통하여 가장 최적의 설계변수를 결정

하고 그에 따른 최종 감도를 계산한 결과, Fig. 2와 같이 100-15000 Hz영역에서 약 12.4-17.5 nm/Pa의 기계적 감도를 가지는 마이크로폰을 설계하였다.

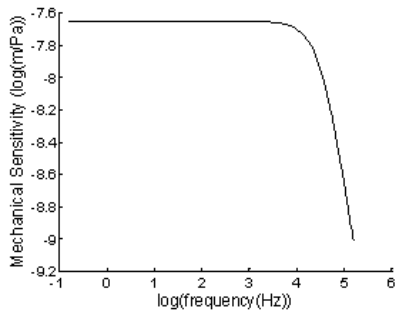


Fig. 2 Mechanical sensitivity of the designed MEMS microphone

3. MEMS 마이크로폰의 제작공정

Fig. 3의 MEMS 마이크로폰의 공정설계 결과로부터 2장의 실리콘(100) 웨이퍼를 이용하여 Table 1의 세부 설계 결과에 따라 정전용량의 변화에 효율적 형상을 갖는 원형의 저응력 질화 진동막을 형성한다. 또한 단단한 후판을 형성하여 두 웨이퍼를 공융접합하여 소자를 완성시킨다. 양면 연마된 실리콘(100) 웨이퍼를 기본으로 사용하며 1 μm 두께의 진동막을 형성하고 후판부의 의 두께는 약 300 μm 이내로 하며, 전면부를 습식식각 또는 건식식각시켜 약 5 ~ 15 μm 정도의 에어갭을 구성한다. 이후 진동판과 후판부의 접합 및 전극간 접속을 시키고, 마지막으로 음향홀을 DRIE 관통식각시킨다. 제작된 웨이퍼는 접합정렬기를 이용하여 공융 밀봉접합 시켜 MEMS 마이크로폰 소자를 완성시킨다.

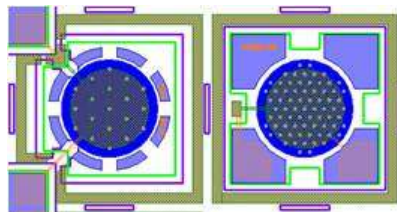


Fig. 3 Design of a MEMS microphone

Table 1 Design factors of a MEMS microphone

Chip size (mm ²)	4 × 4 × 1
Membrane (diameter, μm)	1000
Air gap (μm)	10
Back-plate electrode size (% of membrane diameter)	80
Acoustic air holes (diameter, μm)	50

4. 결론

본 연구에서는 초소형, 고감도를 추구하는 정전용량형 MEMS 마이크로폰의 제작에 있어서, 마이크로폰의 전기적·기계적 감도의 설계를 수행하였고 세부 제원을 결정하였다. 또한 최적화된 제원과 변수를 바탕으로 정전용량형 MEMS 마이크로폰의 실제 소자 공정설계를 수행하고, 넓은 주파수대역에서의 선형성, 높은 감도 및 고효율 특성을 갖는 MEMS 마이크로폰의 공정을 수행하였다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010K001127).

참고문헌

1. Y. Iguchi, M. Goto, M. Iwaki, A. Ando, K. Tanioka, T. Tajima, F. Takeshi, S. Matsunaga, and Y. Yasuno, "Silicon microphone with wide frequency range and high linearity," *Sensors and Actuators A*, Vol. 135, 420~425, 2007.
2. H. Kwon, and K. Lee, "Double-chip condenser microphone for rigid backplate using DRIE and wafer bonding technology," *Sensors and Actuators A*, Vol. 138, 81~86, 2007.
3. J. J. Neumann Jr., and K. J. Gabriel, "CMOS-MEMS membrane for audio-frequency acoustic actuation," *Sensors and Actuators A*, Vol. 95, 175~182, 2002.
4. 허신, 최홍수, 박준식, 김양한, "초소형 마이크로폰 어레이 기반 청각보조시스템 기술동향," 한국정밀공학회지, 26, 20-28, 2009.