

용량형 압력센서의 설계 및 제작

Design and Fabrication of Capacitive Pressure Sensor

이 승 준*, 김 병 태**, 권 영 수*, 정 귀 상**

(Seung-Jun Lee*, Byung-Tae Kim**, Young-Soo Kwon*, Gwi-Yang Chung**)

Abstract

Silicon capacitive pressure sensor has been fabricated by using electrochemical etching stop and silicon-to-glass electrostatic bonding technique. A diaphragm structure is designed to compensate the nonlinear response. A cavity is etched into the silicon to the depth of 2 μm by anisotropic etching in 20 wt.% TMAH solution at 80°C. A fabricated sensor showed 3.3 pF zero-pressure capacitance, 297 pp.m/mmHg sensitivity, and a 7.47 %F.S. nonlinear response in a 0-1 kgf/cm² pressure range.

Key Words(중요용어) : silicon capacitive pressure sensor, electrochemical etching stop, electrostatic bonding technique, cavity

1. 서론

압력센서는 역학적 응력을 전기신호로 검출하는 트랜스듀서로서 심장계통의 압력을 측정하고, 전자식 자동차, 로봇틱스등 넓은 분야에 이용되고 있으며, 특히 최근 마이크로머시닝기술 및 IC 제조기술의 급진적인 발전으로 소형화 및 고성능화가 가능하게 되어 반도체 센서에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.^[1, 2] 현재 실용화되고 있는 압력센서는 Si의 우수한 탄성성질을 이용한 압저항형과 용량형으로 크게 나누어진다. Si 압저항형 압력센서는 자동차 및

로봇틱스등 넓은 분야에서 널리 사용되고 있지만 감도가 적을 뿐 아니라 온도나 패키징 스트레스의 영향을 받기 쉽다. 한편 압력에 따른 다이아프램 변형에 의한 커패시터 용량변화를 이용한 용량형 압력센서는 구조가 간단할 뿐 아니라 압저항형에 비해 고감도, 고정도이므로 미세 압력변화를 측정하거나 광범위한 온도영역에서 사용할 수 있으며 실용화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^[3, 4] 그러나, 용량형 압력센서는 출력의 비선형성과 기생용량의 영향을 받기 쉬운 것이 문제가 되고 있다. 특히 미세 압력을 측정하기 위한 용량형 압력센서는 감도와 정도가 더욱 개선되어야 하기 때문에 미세 압력변화에 민감하도록 다이아프램 두께를 되도록 얇게 제작해야 한다. 출력의 비선형성은 센터보스(center boss) 구조의 다이아프램을 제작하여 개선할 수 있으나 기생용량의 영향은 센서 구조자체의 개량만으로는 개선이 어렵다. 이는 출력 임피던스가 큰데다 소형화로 인

* 동아대학교 전기공학과

(부산광역시 사상구 하단2동 승학캠퍼스)

**동서대학교 정보통신공학부

(부산광역시 사상구 주례동 산 69-1번지 Fax : 051-320-2122, E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

해 센서 용량이 작아져, 상대적으로 기생용량의 영향이 크게 되기 때문이다. 기생용량의 영향을 최소로 하기 위해서는 센서의 cavity를 되도록 줄여 초기용량을 크게 하는 것이다.^[5, 6]

본 연구에서는 출력의 비선형성과 기생용량의 영향을 최소화하도록 센서를 설계하였고, 용량형 절대압 압력센서를 마이크로머시닝기술과 양극접합기술을 이용하여 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다.

2. 센서의 설계 및 제작

Si 용량형 압력센서는 절대압형과 상대압형으로 나누어진다. 절대압형은 기준압실 내부가 완벽히 밀폐되어 있고, 상대압형은 유리부에 구멍을 뚫어주어 기준압실이 개방되어 있는 구조이다. 센서의 기본원리는 외부에서 인가되는 압력에 따라서 용량값이 변하는 것인데 Si 다이어프램에 인가되는 압력이 변하면 다이어프램이 휘게 되며 이로 인하여 전극간격이 바뀌기 때문에 용량이 변하는 것이다. 그림 1은 용량형 압력센서의 기본원리를 나타내었다.

정방형 Si 다이어프램에 압력 $P(\text{Pa})$ 를 인가하면 다이어프램 한 가운데의 변위 $W_0(\mu\text{m})$ 는 식(1)로 주어진다.

$$W_0(P) = 1.56 \times 10^{-11} \cdot \frac{(2a)^4}{h^3} \cdot (1 - \alpha)^2 \cdot P = K \cdot P \quad (1)$$

여기서 $a(\mu\text{m})$ 는 다이어프램 한변길이의 1/2이고, $h(\mu\text{m})$ 는 다이어프램 두께이며, α 는 다이어프램의 면적에 대한 보스 면적비이다. 식(1)에서 $W_0(P)$ 는 인가되는 압력과 h^{-3} 에 비례하므로 다이어프램의 두께 조절이 바라는 센서의 성능을 얻는데 주요한 파라메터임을 알 수 있다.

센서의 커패시터는 면적이 S , 커패시터의 전극 간 거리 d 일 때 센서 커패시터의 용량 C_x 는 식(2)와 같다.

$$C_x = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d - W_0(p)} \quad (2)$$

ϵ_0 는 유전상수이다. 또 센서의 최대 압력이 인가될 때 다이어프램 변위 $W_0(P)$ 는 d 가 되기 때문에 센서에 인가할 수 있는 최대 인가전압(P_{\max})는 식(3)과 같다.

$$P_{\max} = \frac{d}{K} \quad (3)$$

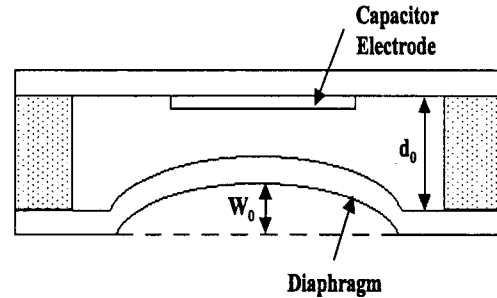


그림 1. 용량형 압력센서의 기본원리

본 연구에서는 위의 식들을 이용하여 용량형 압력센서를 설계하였다. 다이어프램 두께 h 는 $20 \mu\text{m}$, cavity 깊이 d 는 $1 \mu\text{m}$ 이고, 최대 인가압력 P_{\max} 은 $1 \text{ Kg/cm}^2 (760 \text{ mmHg})$ 로 고정조건하에서 다이어프램 크기는 $635 \times 635 \mu\text{m}^2$ 로 설계하여 제작하였다. 그림 2는 식(2)를 이용하여 인가 압력에 대한 용량값을 시뮬레이션한 결과이다. 그림에서 초기용량은 2.9 pF , 최대압력에서 1.44 pF 변화했고, 비직선성은 $3.71 \% \text{F.S.}$, 감도는 163 ppm/mmHg 임을 알 수 있다.

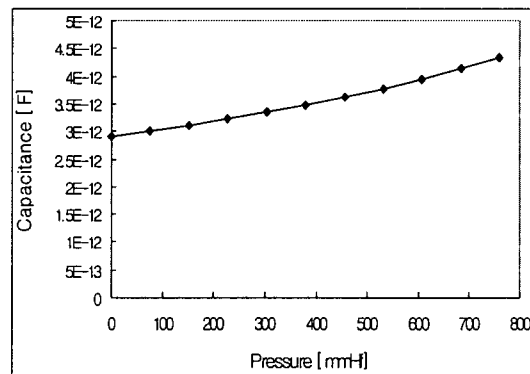


그림 2. 인가 압력에 따른 용량특성의 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 마이크로머시닝기술을 이용하여 Si 기판과 파이렉스 유리를 각각 가공한 후 양극접합기술로 Si 용량형 절대압 압력센서를 제작하였다. 그림 2와 그림 3은 용량형 절대압 압력센서의 제작 공정도와 제작한 압력센서의 사진을 보여준다.

(1) Si기판은 크기 $20 \times 20 \text{ mm}^2$, 두께 $520 \mu\text{m}$ 의 n형

에피층이 20 μm 성장된 p형 (100) Si 웨이퍼를 사용하였다. 이 Si기판의 표면은 80°C 20wt%의 TMAH 용액에서 약 2 μm 깊이로 에칭하여 센서의 cavity를 제작한 후, 커패시터의 전극으로서 cavity내에 2 μm 깊이로 붕소를 확산하였다. 마지막으로 에칭 제어기술의 하나인 전기화학적 에칭스톱 방법^[7] 두께 20 μm 의 다이아프램을 제작하였다.

(2) 유리기판은 Si과 열팽창계수가 비슷하고 접착 후 접착력과 재료의 안정성이 뛰어난 파이렉스 유리(#7740)를 사용하였으며, 그 크기는 20×20 mm, 두께는 300 μm 이었다. 유리기판에 전기화학적 방전 가공법^[8]으로 2개의 홀을 가공한 후, 커패시터의 전극으로서 Cr/Pt를 두께 1 μm 로 증착하였다.

(3) 가공되어진 Si기판과 파이렉스 유리기판을 양극접합기술에 의해 접합하였다. 양극접합은 450°C, 1000 V에서 이루어졌다. 양극접합 후, 홀 속에 전도성 에폭시를 채워 리드선을 뽑아 내었다.

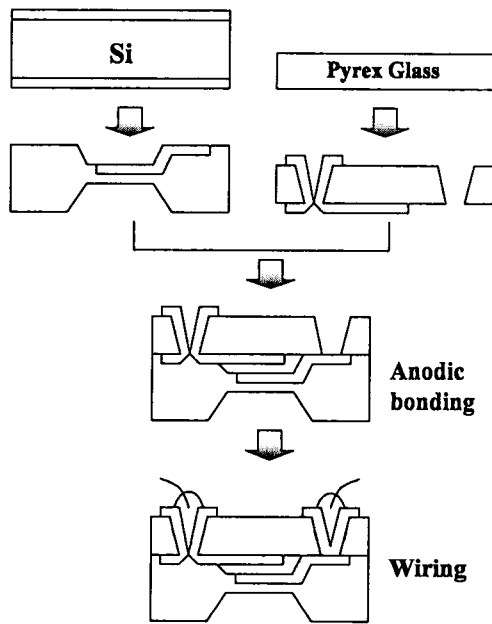


그림 3. 용량형 압력센서의 제작 공정순서도

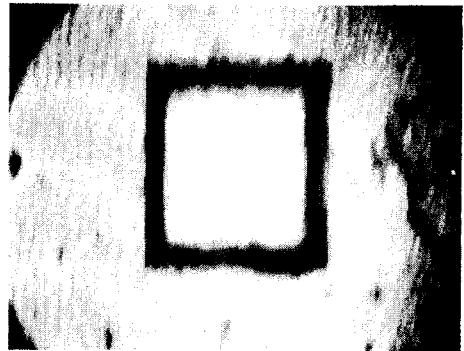
3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 제작된 센서를 그림 5와 같은 측정 시스템으로 기준되는 압력을 인가하여 압력에 따른 용량특성을 측정하였다. 인가압력을 0~1Kgf/cm² 범위에서 전극간 용량값을 측정하여 초기용량, 비직선성

성 및 감도 등을 평가하였다.



(a)



(b)

그림 4. 제작된 용량형 압력센서의 (a) 표면 및 (b) 뒷면 사진

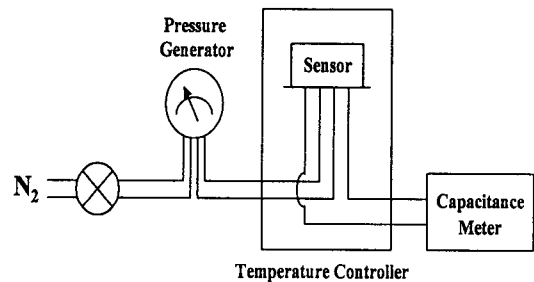


그림 5. 압력센서의 측정시스템

그림 6은 제작된 용량형 압력센서를 인가압력에 따른 출력용량값을 나타낸 것이다. 초기용량값은 3.3 pF, 최대압력에서 3.5 4pF로 변화했으며 비직선성은

7.47 %F.S.(25℃), 감도는 29 ppm/mmHg으로 나타났다. 그림 2의 시뮬레이션 결과와 비교해보면 차이가 나는 것을 볼 수 있는데 이는 설계와 실험상의 부정합과 측정상의 오류 때문이라고 생각된다. 제작된 용량형 압력센서의 제특성을 요약하면 표 1과 같다.

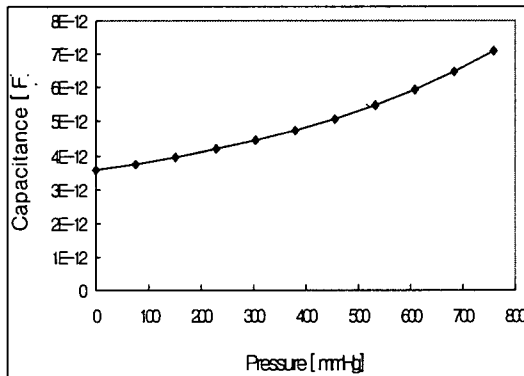


그림 6. 인가 압력에 대한 용량 특성곡선

표 1. 용량형 압력센서의 특성

| | 시뮬레이션결과 | 실험결과 |
|------|--------------------|--------------------|
| 측정대상 | N ₂ Gas | N ₂ Gas |
| 정격압력 | 0~760mmHg | 0~760mmHg |
| 정격출력 | 2.9pF | 3.3pF |
| 초기용량 | 1.44pF | 3.54pF |
| 비직성성 | 3.71%F.S. | 7.47%F.S. |
| 감도 | 163p.p.m/mmHg | 291p.p.m/mmHg |

4. 결론

본 연구에서는 Si 마이크로머시닝 기술을 이용하여 Si 용량형 압력센서를 제작하였다.

제작된 센서는 용량이 760 mmHg 인가 최대압력에서 3.54 pF 변화했고, 압저항형에 비해 감도가 297 ppm/mmHg로 매우 크게 개선되었다.

따라서, Si 용량형 압력센서는 크기가 작을 뿐 아니라 고감도의 특성을 가지고 있기 때문에 제특성을 보다 개선한 원칩 상태의 센서로 제작하여 저압력 상태의 미소 압력변화에 대한 고정도 측정계기로 응용

될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1]. Y. S. Lee, et al., "A Batch-Fabricated Silicon Capacitive Pressure Transducer with Low Temperature Sensitivity", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, NO. 1, pp. 42-48, 1982
- [2]. W. H. Ko, et al., "A High-Sensitivity Integrated-Circuit Capacitive Pressure Transducer", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, No. 1, pp. 48-56, 1982
- [3]. Y. Matsumoto, et al., "A Miniature Integrated Capacitive Pressure Sensor", *Tech. Digest of The 9th Sensor Symp.*, pp. 43-46, 1990
- [4]. T. Kudoh, et al., "An Integrated Miniature Pressure Sensor", *Sensors and Actuator A-29*, pp. 185-193, 1991
- [5]. M. Sato, et al., "Low-Pressure Silicon Capacitive Pressure Sensors", *Tech. Digest of The 10th Sensor Symp.*, pp. 239-242, 1991
- [6]. H. D. Seo, et al., "Silicon Capacitive Pressure Sensor for Low Pressure Measurements", *Korean Sensors Society*, vol. 2, no. 1, pp. 19-27, 1993.
- [7]. G. S. Chung, et al., "Characteristics of Electrochemical Etch-stop in TMAH/IPA/pyrazine Solutions", *Korean Sensors Society*, vol. 7, no. 6, pp. 426-431, 1998.
- [8]. G. S. Chung, et al., "Microdrilling of #7740 Pyrex Glass Substrate by Electrochemical Discharge Machining", *J. KIEEME*, vol. 12, no. 6, pp. 436-449, 1999.