

논문 2000-9-6-04

실리콘 빔이 실리콘 고무 멤브레인에 삽입된 빗살형 차압센서의 설계 및 제조

박정용*, 공성수*, 서창택*, 신장규*, 고광락**, 이종현*

Design and fabrication of a comb-type differential pressure sensor with silicon beams embedded in a silicone rubber membrane

Jeong-Yong Park*, Sung-Soo Kong*, Chang-Taeg Seo*, Jang-Kyoo Shin*, Kwang-Rak Koh**, and Jong-Hyun Lee*

요 약

실리콘 고무 멤브레인(membrane)에 실리콘 빔(beam)들이 삽입된 형태의 저차압센서를 개발하였다. 제작된 저차압센서는 실리콘 고무(silicone rubber)를 멤브레인으로 사용함으로써 열악한 환경에서도 다양한 응용분야에 적용 가능하도록 하였다. 실리콘 고무 멤브레인을 사용한 압저항형 저차압센서는 선택적으로 도핑(doping)된 (100) n/n+/n 웨이퍼 상에 다공질 마이크로머시닝(micro-machining) 기술을 이용하여 제작되었다. 제조된 센서의 감도(sensitivity)는 $0.66\mu\text{V}/\text{mmHg}$ 이고, 0.1% 이하의 비선형성(non-linearity)을 보였다.

Abstract

A novel differential pressure sensor has been developed with silicon beams embedded in a silicone rubber membrane. The transducer is usable for most applications involving exposure to harsh media. A piezoresistive differential pressure sensor using silicone rubber membrane has been fabricated on the selectively diffused (100)-oriented n/n+/n silicon substrates by a unique silicon micro-machining technique using porous silicon etching. The pressure sensitivity is about $0.66\mu\text{V}/\text{mmHg}$ and the non-linearity is less than 0.1 %.

1. 서 론

반도체형 저차압센서(differential pressure sensor)는 자동차 시스템, 의학분야, 그리고 공장자동화 시스템 등 넓은 영역에서 사용되어져 왔다. 이러한 저차압센서들의 대부분이 실리콘 다이아프램을 이용하여 제조되

었기 때문에 다소 낮은 파괴압(burst pressure)과 감도를 보인다.^[1] 이런 점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 실리콘 고무(silicone rubber)와 실리콘 빔의 복합 멤브레인을 이용한 저차압센서를 제안하였다.

잘 알려진 바와 같이 실리콘 고무는 매우 낮은 영율(young's modulus), 높은 신장력(elongation)과 거친 표면상에서도 좋은 접착성을 보이는 물질이다. 이러한 실리콘 고무를 멤브레인 형성물질로 사용하면 파괴압과 감도를 향상시킬 수 있다. 대부분의 압력센서는 열악한 환경에서 동작하게되는데 소자가 이러한 환경에서도 정상적으로 동작을 해야한다. 일반적으로 패키징

* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

** 경북대학교 화학공학과 (Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University)

<접수일자 : 2000년 10월 4일>

(packaging) 단계에서 오일(oil)을 채우거나 금속캔 패키지(metal can package) 그리고 폴리머(polymer)를 코팅해서 이러한 문제를 해결한다.

본 연구에서 제안된 차압센서에서 사용된 실리콘 고무는 알코올, 포지 PR 현상액, KOH, 그리고 HF등과 같은 용액에서 짧은 시간 노출에 저항성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.^[2] 그러므로 실리콘 고무 멤브레인은 열악한 환경에 노출되더라도 적절한 동작을 할 수 있다. 본 연구에서는 유한요소해석법(ANSYS)를 이용한 시뮬레이션을 통해서 센서의 최적 구조를 설계하였다. 그리고 선택적으로 도핑(doping)된 (100) n/n+/n 웨이퍼 상에 다공질 마이크로머시닝(micro-machining) 기술을 이용하여 실리콘 빔이 실리콘 고무 멤브레인에 삽입된 구조의 빗살형 차압센서를 제조하고 그 특성을 측정하였다.

2. 설계 및 제조

그림1은 제안된 차압센서의 단면도(cross-view)를 보여주고 있으며 표1은 이 제안된 구조의 각 부위별 파라미터(parameters)를 나타낸 것이다. 센서의 최적 구조는 ANSYS를 이용하여 시뮬레이션한 값이다. 실리콘 빔의 너비, 길이 그리고 두께는 각각 120 μm , 600 μm , 그리고 6 μm 이고 실리콘 고무 멤브레인의 두께는 36 μm 이다.

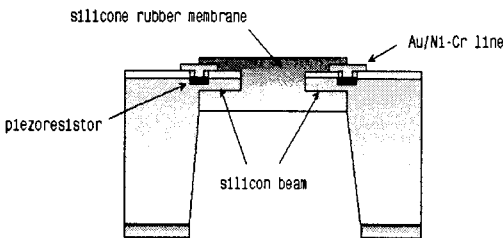


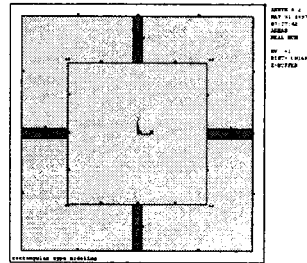
그림 1. 차압센서의 구조 (단면도)
Fig. 1. Structure of the differential pressure sensor (cross view)

소자 제작 전에 최적 구조의 형태를 찾기 위해서 멤브레인의 형태를 사각과 원 그리고 빗살 모양으로 나누어서 ANSYS로 표1의 값을 이용하여 시뮬레이션 하

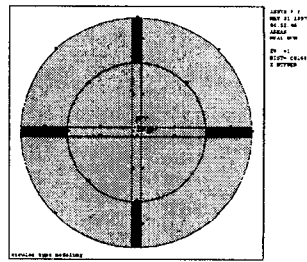
였다. 그림2는 시뮬레이션한 세가지 형태의 차압센서의 평면도를 나타낸 것이다.

표 1. ANSYS 시뮬레이션의 값들
Table 1. Parameters for ANSYS simulation

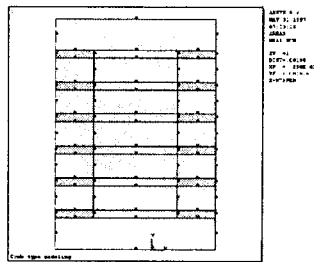
Materials Parameters	silicon cantilevers	silicone rubber
Element type	Shell 63	Shell 63
Thickness	10 μm	40 μm
Young's modulus	170 GPa	1.5 GPa
Density	2340 kg/m^3	.
Poisson's ratio	0.26	0.45



(a) 사각형 구조 (a) rectangular type



(b) 원형 구조 (b) circular type



(c) 빗살형 구조 (b) comb type

그림 2. 시뮬레이션한 세가지 형태의 차압센서의 평면도
Fig. 2. Simulated structures of differential pressure sensors (top-view)

그림3은 세 가지 형태에 대해서 10 kPa 까지의 차압을 인가했을 때의 응력 분포를 나타낸 것이다. 그림3에서 보여주듯이 빗살 형태의 소자가 응력 값이 상대적으로 낮지만 보조 빔을 더함으로써 순간압에 가장 안정된 구조임을 알 수가 있다. 또한 빗살 형태의 소자는 보조 빔들이 있는데 이들은 압력이 인가되었을 경우 센서의 출력부위에 평탄한 면(flat zone)을 형성하여 소자의 안정도와 출력의 정밀도를 높이는데 기여한다. 그리고 이러한 보조 빔들의 출력을 출력 단에서 합산회로를 통하여 더 높은 출력을 나타낼 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 빗살 형태의 구조로 차압센서를 제작하였다.

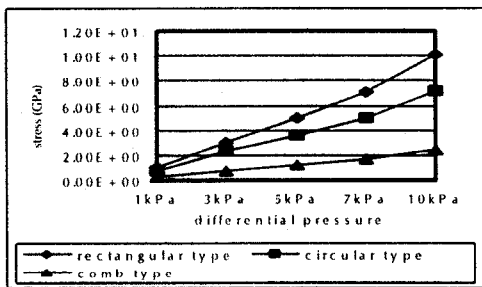


그림 3. 세 가지 소자 형태에 대한 입력 차압에 대한 최대응력값

Fig. 3. Simulated stress values versus differential pressure for three types

그림4는 제안된 차압센서에 1 kPa 차압을 인가했을 때의 응력분포를 시뮬레이션한 것이다. 빔과 센서 몸체(body)의 접촉면에 응력이 집중됨을 알 수 있다.

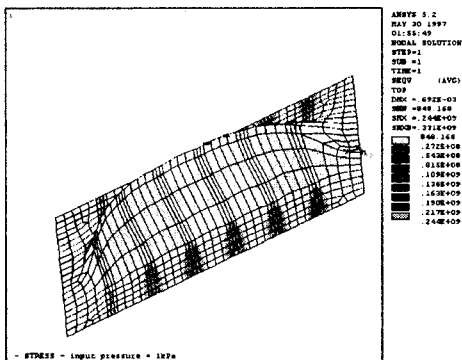


그림 4. 제조된 차압센서의 시뮬레이션된 응력분포

Fig. 4. Simulated stress distribution of differential pressure sensor

제안된 소자는 선택적으로 도핑된 (100) n/n+/n 웨이퍼 상에 다공질 마이크로머시닝(micro-machining) 기술을 이용하여 제작되었다.^[3] 제작된 소자의 공정도는 그림5에 나타내었다.

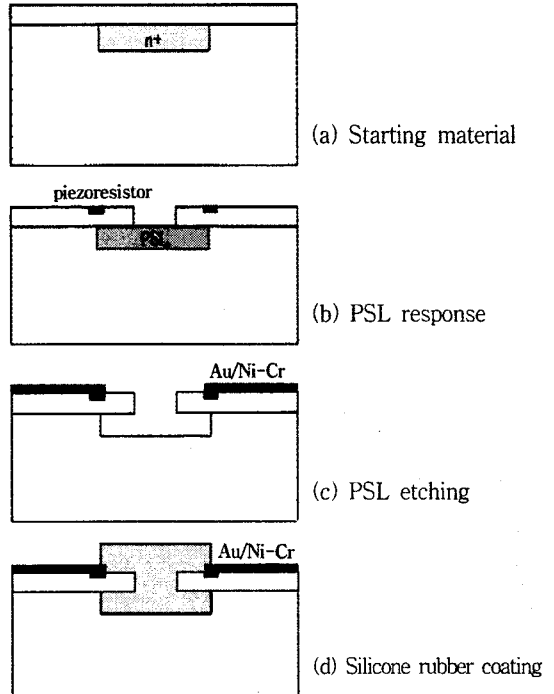


그림 5. 제안된 차압센서의 제조 공정도

Fig. 5. Fabrication process of the differential pressure sensor

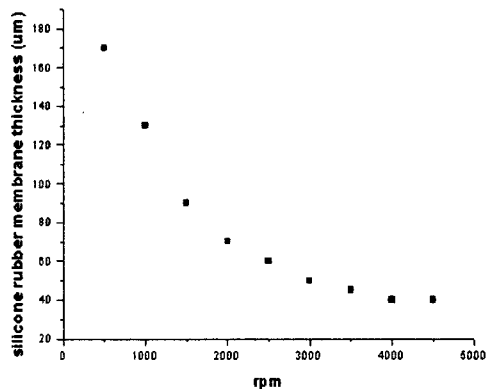
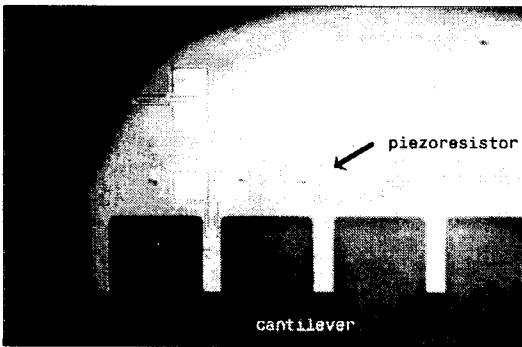


그림 6. 스핀 회전수에 따른 실리콘 고무 멤브레인의 두께

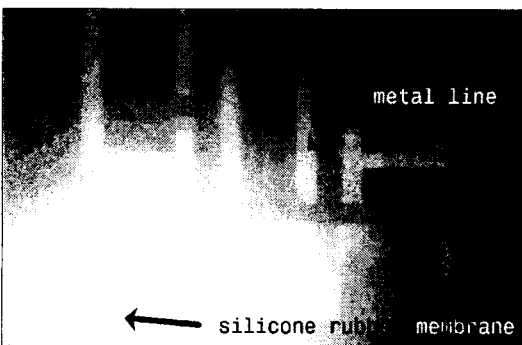
Fig. 6. Measured thickness of silicone rubber membrane as a function of spin-rpm

n+ 층을 양극산화하여 다공질 실리콘 층(porous silicon layer)을 형성한 다음 NaOH 수용액에 층을 제거해서 3D 구조를 형성한다. 양극반응은 저 농도 도핑된 n층에서는 일어나지 않으므로 n+ PSL cm의 두께가 공극으로 결정된다. 즉 n-epi 층과 n+ 층의 두께를 조절함으로써 빔의 두께와 공극의 높이를 결정할 수 있다. 결과적으로 제안된 소자는 첨단(cusp)이나 저면 잠식(undercutting)현상 없이 안정된 구조를 이룰 수 있다. 층의 에칭이후에 실리콘 고무 멤브레인을 코팅하여 형성하고 KOH 수용액에 후면식각을 하여 소자제작을 완성했다.

제작된 소자는 실리콘 빔과 이를 둘러싸고 있는 실리콘 고무 멤브레인, 빔 상에 위치한 압저항 그리고 빔 근처에 위치한 고정저항으로 구성되어 있다.



(a) Without silicone rubber membrane



(b) With silicone rubber membrane

그림 7. 제조된 소자의 사진

Fig. 7. Photomicrographs of the fabricated sensor

그림 6은 스피ن회전수에 따른 실리콘 고무 멤브레인의 두께를 나타낸 것이다. 스피ن 시간은 35초로 고정하였고 스피ن 회전수를 500 rpm에서 4500 rpm까지 가변

하며 실리콘 고무 멤브레인의 두께를 측정하였다. 구조적 대칭을 이루기 위해서는 실리콘 캔틸레버의 두께(10 μm)와 cavity의 간격(n+층의 두께:10μm)의 준하는 약 40 μm의 실리콘 고무 멤브레인을 형성하여야 한다. 본 연구에서는 40 μm의 두께를 얻기 위해서 4000 rpm에서 스피ن 코팅을 해서 실리콘 고무 멤브레인을 형성하였다.

제조된 소자의 사진은 그림7에 나타내었다. 그림7(a)는 실리콘 고무를 코팅하지 않은 상태의 것이고 그림7(b)는 실리콘 고무 멤브레인이 형성된 완성된 소자의 사진이다.

3. 결 과

제조된 소자의 출력 특성은 서로 마주 보고있는 빔 상에 대칭적으로 위치해있는 압저항의 변화에 의해서 결정되어진다. 이 압저항들과 고정저항들은 4개의 half-bridge를 이룬다. 100 mmHg의 입력 차압에 따른 전압 출력을 그림8에 나타내었다.

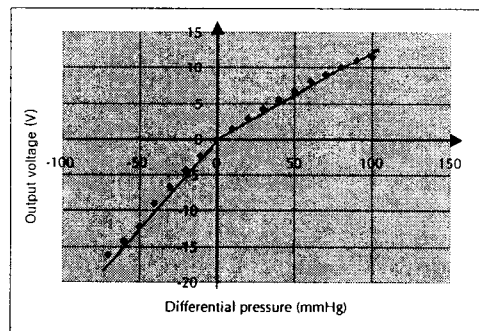


그림 8. 제조된 차압센서의 입력차압에 따른 출력특성
Fig. 8. Output characteristic of the fabricated differential pressure sensor

측정된 소자의 감도는 차압소자의 앞면의 압력이 높을 경우에는 0.66 μV/mmHg이고 차압소자의 뒷면의 압력이 높을 경우에는 1.22 μV/mmHg였다. 이러한 감도의 차이는 압저항이 빔의 두께방향으로 대칭적인 위치에 놓여있지 않고 빔의 상부에 위치해 있기 때문이며, 이러한 감도의 차이는 간단한 회로를 이용해서 보정할 수 있다. 그리고 제조된 소자의 비선형성은 0.1 % 이하였다.

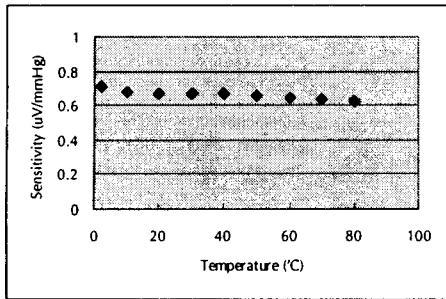


그림 9. 제조된 차압센서의 온도의존특성

Fig. 9. Measured temperature dependence of sensor sensitivity

그림9은 2 °C ~ 80 °C의 범위에서 소자의 온도특성을 조사한 것이다. 온도가 증가함에 따라 조금씩 출력 전압이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 온도가 증가함에 따른 압저항값의 변화에 기인하는 것이다. 온도변화에 따른 출력변화는 최대 0.07 %이하로써 기존의 압력 센서에 비해서 향상된 온도특성을 보였다.^[4]

4. 결 론

실리콘 빔이 실리콘 고무 멤브레인에 삽입된 새로운 형태의 빗살형 차압센서를 제안하였으며, 다공질 실리콘 마이크로머시닝과 실리콘 고무 코팅 그리고 일반 IC 공정을 이용하여 제작되었다. n 에피택시와 다공질 실리콘 마이크로머시닝을 이용하여 빔의 두께와 공극을 정확히 조절할 수 있었다. 측정된 감도는 양의 차압일 경우에 0.66 $\mu\text{V}/\text{mmHg}$ 이고, 음의 차압일 경우에는 1.22 $\mu\text{V}/\text{mmHg}$ 였다. 온도변화에 따른 출력전압의 변화는 0.07%이하였다. 이는 일반적인 압저항 형태의 차압센서의 특성보다 향상된 것이다.

5. 참고 문헌

- [1] Tetsuya Watanabe, Satoshi Fukuhara, Hideo Tsukamoto, Takahiro Kudo, and Kyoichi Ikeda, "Differential pressure sensor with micromachined overrange protectors," *Transducers'95, Eurosensors IX.*, 381-C9 (1995) pp.578-581.
- [2] Christian Vieider, Ove hman, and H kan Elderstig, "A pneumatically actuated micro valve with a silicone rubber membrane for integration with fluid-handling systems," *Transducers'95, EurosensorsIX.*, 303-B7 (1995) pp. 284-286.
- [3] Jun-Hwan Sim, Sung-Ho Hahm, junh-Hee Lee, Jong-Hyun Lee, In-Sik Yu and Jin-Sup Kim, "Eihgt-Beam Piezoresistive Accelerometer Fabricated By Using A Selective Porous Silicon Etching Method," *Transducers'97*, 4B2.03 (1997) pp. 1193-1196
- [4] Gert Friis Eriksen, Roger de Reus and Carsten Christensen, "Packaging-Friendly Flat-Surface Pressure Sensor For Harsh Environments", *Transducers '99*, 2B3.6 (1999) pp. 366-369

 著 者 紹 介

**박 정 용**

1964년 5월 1일생.

1988년 9월 경북대학교 전자전기
공학부 졸업(공학사)1991년 2월 경북대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

1997년 3월 ~ 현재 경북대학교 대

학원 전자공학과 박사과정 재학 중.

주관심분야 : MEMS, 센서 applications 등임.

공 성 수

1998년 2월 경북대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)

2000년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학
석사)

주관심분야 : 압력센서, 망막칩 등임.

서 창 택

『센서학회지 제6권 제5호』 논문 97-6-5-01 p.355

참조.

현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학 중

신 장 규『센서학회지 제9권 제4호』 논문 2000-9-4-05 p.41
참조.

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

고 광 락『센서학회지 제6권 제3호』 논문 97-6-3-07 p.220
참조.

현재 경북대학교 화학공학과 조교수

이 종 현『센서학회지 제7권 제3호』 논문 98-7-3-02 p.162
참조.현재 경북대학교 전자전기공학부 교수 및 재단법인 대
구테크노파크사업단 단장.