

論文93-30A-7-10

상대압 용량성 압력센서의 제작

(Fabrication of Relative-type Capacitive Pressure Sensor)

徐熙敦*, 林根培**, 崔世崑***

(Hee Don Seo, Geun Bae Lim and Se Gon Choi)

要約

본 논문은 많은 분야에서 응용될 상대압형 용량성 압력센서를 설계, 제작한 것이다. 센서의 크기는 $4.5 \times 3.4\text{mm}^2$ 이며 두께는 $400\mu\text{m}$ 이다. 이 센서는 출력특성의 비 직선성을 개선하기 위하여 센터보스 구조의 실리콘 다이아프램으로 설계되었고, 패키징 시 측면응력과 온도특성을 개선하기 위하여 파이렉스 유리 스폰트(pyrex glass support) 위에 장착되었다. 또 센서의 특성을 향상하기 위하여 설계와 제작에 있어서 몇가지 개선된 제안을 하였다.

상온에서 압력을 0Kgf/Cm^2 으로 변화시킬 때 인가압력이 없는 상태의 초기용량(C_0)은 26.57pF , 출력용량값의 변화값은 1.55pF ($\Delta C/C_0 = 5.8\%$)이고 센서의 비선형성은 $1.29\% \text{F.S.}$ 로 나타났다. 또한, 영점 온도특성과 감도 온도특성은 각각 $1.43\% \text{F.S./}^\circ\text{C}$ 와 $0.14 \text{F.S./}^\circ\text{C}$ 로 절대압형에 비해 비직선성, 각종 온도특성이 상당히 개선되었다.

Abstract

This paper describes fabrication of relative type capacitive pressure sensor to be in great demand for many fields. The fabricated sensor consists of two parts; a sensing diaphragm and a pyrex glass cover. The sensor size is $4.5 \times 3.4\text{mm}^2$ and $400\mu\text{m}$ thick. To improve the nonlinearity, this sensor is designed a rectangular silicon diaphragm with a center boss structure, and in order to improve the temperature characteristics of the sensor in a packaging process, the sensing element is mounted on the pyrex glass support. Some suggestions toward the design and fabrication of improved sensors have been presented.

The zero pressure capacitance, C_0 of sensor is 26.57pF , and the change of capacitance, ΔC is 1.55pF from 0Kgf/Cm^2 to 1Kgf/Cm^2 at room temperature. The nonlinearity of the sensor output with center boss diaphragm is $1.29\% \text{F.S.}$, and thermal zero shift and thermal sensitivity shift is less than $1.43 \text{F.S./}^\circ\text{C}$ and $0.14\% \text{F.S./}^\circ\text{C}$, respectively.

*正會員, 日本 豊橋技術科學大學 電子デバイス工學
(Dept. of Elec. and Elec. Eng., Toyohashi
Univ. of Technology, Japan)

學生會員, *正會員, 嶺南大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Yeungnam Univ.)

(* 본 연구는 센서기술연구센터 1990년 석사학위
논문 연구비 지원으로 이루어진 것입니다.)

接受日字: 1992年 12月 26日

1. 서론

실리콘의 우수한 탄성성질을 이용하여 역학적 응력 변화를 전기신호로 변환하는 실리콘 압력센서는 소형, 경량이면서 신뢰성이 높기 때문에 자동차, 로봇 등의 산업분야뿐만 아니라 의료 및 우주공학 등 많은 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 특히 다이아프램 변형에 따른 응력에 의한 저항값의 변화를 이용한 압저항형 압력센서^[1,2]는 구조가 간단하고 제조가 용이하기 때문에 널리 보급되어 있다. 그러나 이 압저항형 압력센서는 감도가 낮고, 온도나 패키징 스트레스의 영향을 받기 쉬워 고정도화 시키기 위해서는 센서 하나하나에 조정이 필요하다. 이에 반해 다이아프램 변형에 따른 용량값의 변화를 이용한 용량형 압력센서는 고감도이면서 안정성이 뛰어나 현재 실용화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^[3,4,5] 그러나 용량형 압력센서는 인가되는 압력변화에 따른 출력용량의 변화 ($\Delta C/C_0$)의 비직선성, 센서의 소형화 경향에 따른 기생용량의 영향 및 패키징할 때 측면 응력의 영향이나 패키징용기와 센싱부분인 실리콘과의 열팽창계수 차로 인한 열 드리프트의 영향 등으로 아직 실용화에는 많은 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 센터보스(center boss) 구조^[5,6] 다이아프램을 갖는 상대압형 센서를 제작하고 양극접합 기술을 이용하여 두 전극간의 간격을 되도록 좁게하여 초기 용량값을 크게하였다. 또 파이레스 유리 스포트를 이용한 패키징 방법으로 열 드리프트 문제를 개선하였다.

II. 센서의 구조 및 설계

제조된 상대압 용량성 압력센서의 구조는 그림 1과 같이 크게 실리콘 기판과 파이레스 유리 커버(cover)의 두 부분으로 구성되어 있다. 실리콘 기판은 기준압 실과 다이아프램을 형성하기 위하여 양쪽 면에서 식각된다. 한편 유리커버에는 커패시터 전극사이의 기준압실로 공기를 유입하거나 상부전극을 연결하기 위한 구멍과 실리콘 기판 하부전극을 유리위의 패드로 연결하기 위한 구멍이 뚫어져 있다. 이 실리콘 기판과 유리커버는 양극접합 기술로 접합된다. 센서의 전체 크기는 $4.5 \times 3.4 \text{mm}^2$ 이며 두께는 $400 \mu\text{m}$ 이다. 다이아프램의 크기는 $2 \times 2 \text{mm}^2$ 이고 두께는 $30 \mu\text{m}$ 이다.

정전용량이 되는 커패시터는 알루미늄증착으로 만들어진 유리기판의 고정전극과 실리콘 다이아프램으로 만들어진 가동전극으로 형성된다, 이때 전극의 크

기는 감도를 최대로 높이기 위하여 다이아프램 면적의 36%^[7]인 $1.44(1.2 \times 1.2 \text{mm}^2)$ 로 설계했다.

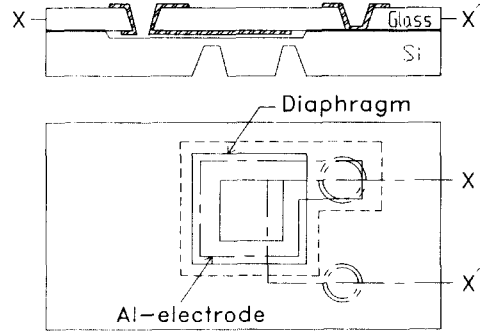


그림 1. 제조된 센서의 개략도
Fig. 1. Schematic structure of fabricated pressure sensor.

센터보스 구조의 다이아프램에 압력 $P(\text{Kgf}/\text{cm}^2)$ 가 인가될 때 다이아프램의 중앙변위 $W_0(P)$ (μm)는 식 (1)과 같다.^[8,9]

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

여기서 $2a(\mu\text{m})$ 는 다이아프램의 크기를 나타내며, $h(\mu\text{m})$ 는 다이아프램의 두께이다. 또한 a 는 다이아프램과 센터보스의 면적비를 나타내는 것이며 그 값은 $a \leq 1$ 의 범위에 있다. 비례상수 K 는 이 값들에 의해 결정되는 값이다. 식 (1)에서 변위 W 는 압력 P 에 비례하고, P 가 일정할때 다이아프램의 크기 ($2a$)와 다이아프램의 두께 (h)에 따라 크게 변화하는것을 알 수 있다. 특히 고감도의 센서를 제작하기 위해서는 다이아프램 면적을 크게 하거나 두께를 얇게 해야하는데 센서의 소형화경향으로 면적은 제약을 받기 때문에 다이아프램의 두께를 제어하는것이 대단히 중요하다.

일반적으로 다이아프램의 변위 $W(P)$ 는 다이아프램상의 위치 (x, y) 의 함수이다. 따라서 센서용량 C_x 의 변화분 ΔC 는 다음식으로 나타나게 된다.

$$\Delta C = C_x - C_0 = \iint \frac{\epsilon_0 d_x d_y}{d - W(x, y)} - \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad (2)$$

C_0 는 인가 전압 $P=0(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 의 C_x 값, d 는 $P=0(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 때의 두 전극간 거리, S 는 커패시터의 면적이고 ϵ_0 는 공기 유전율이다.

해석을 간단히 하기위해 센터보스 구조의 다이아프

램이 고정전극에 대하여 평행하게 변위한다고 가정하면 $W(P)$ 와 ΔC 의 관계는 다음식과 같이 나타난다.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \left(\frac{\epsilon_0 S}{d - W(P)} - \frac{\epsilon_0 S}{d} \right) \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{W(P)}{d - W(P)} \quad (3)$$

따라서 P 와 C_x 의 관계는

$$C_x = \frac{\epsilon_0 S}{d - W(P)} \quad (4)$$

로 주어진다.

최대 압력이 센서에 인가될 때 다이아프램의 변위 $W(P)$ 는 커패시터의 전극간 거리 d 와 같게 되어 센서 커패시턴스는 식 (4)에서 알 수 있듯이 무한대가 되기때문에 센서에 인가할 수 있는 최대 인가압력 P_{max} 은 다음식과 같다.

$$P_{max} = \frac{d}{k} \quad (5)$$

인가압력이 “영”일때 센서의 용량(이하 초기용량; C_0)를 크게하여 기생용량의 영향을 적게하기 위해서는 커패시터의 전극간 거리 d 를 가능한 한 좁게 형성되어야 한다. 결과적으로 전극간 거리 d 는 제조정도(製造精度)를 생각하여 $1\mu\text{m}$ 로 설계 되었다. 또한 높은 감도의 센서를 얻기 위해서는 다이아프램의 두께제어가 중요하다. 압력 P 와 다이아프램의 최대변위 W_{max} , 다이아프램의 크기 $2a$ 를 각각 300mmHg , $1\mu\text{m}$, 2mm 로 가정했을때, 다이아프램의 두께가 약 $33\mu\text{m}$ 로 계산 되므로 실제 두께를 $30\mu\text{m}$ 로 설계 하였다.

또한 센터보스의 크기는 전극의 크기를 고려하여 $1.2 \times 1.2\text{mm}^2$ 으로 설계 하였다.

III. 제작 프로세스

용량성 압력센서는 구조가 비교적 단순하므로 마이크로머시닝(micromachining) 기술을 이용하여 실리콘 기판과 파이렉스 유리 커버를 각각 따로 가공한 후 양극접합 기술을 이용해 접합, 제작된다.

1. 실리콘기판 가공

제조에 사용한 실리콘 재료는 높은 농도(면저항 $0.001\ 0.1\ \Omega \cdot \text{cm}$)로 도핑된 n형(100)으로 하였다. 실리콘 기판의 크기는 $20 \times 20\text{mm}^2$ 이며 두께는 $200\mu\text{m}$ 이었다. 그림 2는 실리콘 다이아프램의 각 제조공정 단계이다.

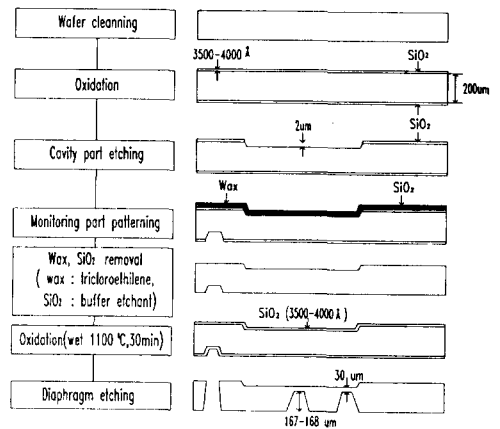


그림 2. 실리콘 기판의 제조공정

Fig. 2. Fabrication process of silicon substrate.

(a) 실리콘 식각을 위한 마스크로 사용하기 위해 산화막 층을 성장시킨다.

(b) 실리콘 표면을 80°C 에서 25wt%의 TMAH (TetraMethyl Ammonium Hydroxide)로 약 $2\mu\text{m}$ 정도 부분식각한다. 이때 식각되는 깊이가 센서 커패시터의 전극간 거리를 결정하게 된다. TMAH 용액에는 알칼리 이온이 들어있지 않기 때문에 IC 제조공정에 적합할뿐 아니라 에칭마스크로 SiO_2 막 만으로 충분하다. 또 실리콘 이방성 식각에 있어서 우수한 식각용액으로 22wt% ~ 25wt%의 농도에서 식각면이 매끈한것이 특징이다. [10] 이후 양면 얼라인먼트(alignment) 기술을 이용하여 다이아프램의 두께를 조절하기 위한 그루브(groove) 부분을 식각한다. 이때 식각되는 그루브 부분은 다이아프램의 두께와 같은 $30\mu\text{m}$ 깊이로 80°C 에서 35wt%의 KOH 용액으로 식각한다. 그루브의 깊이는 그루브의 폭이나 식각시간으로 매우 정확하게 조절할 수 있다.

(c) 실리콘 다이아프램은 산화막(SiO_2)을 마스크로 사용하여 KOH와 TMAH용액으로 $167 \sim 168\mu\text{m}$ 정도 식각하여 형성된다. 이때 TMAH 용액은 다이아프램 두께를 제어, 관찰하기 위해 마무리 식각용으로 사용되었다.

다이아프램의 두께 제어에 이용된 그루브 방식은 일반적인 식각정지 기술의 하나인 V형 그루브(V-groove) 방식이다. [7] 이 방법은 단순하며 P의 식각정지층을 이용하는 방법보다 제조상의 용이한 것이 장점이다. 그루브 부분이 완전히 식각되는 때가 원하는 두께의 다이아프램이 형성되는 순간이 된다. 센터보스 구조의 다이아프램은 선택 식각법으로 그림 3과 같이 보습패턴을 만드는 원리를 이용하여 제작 하였다.

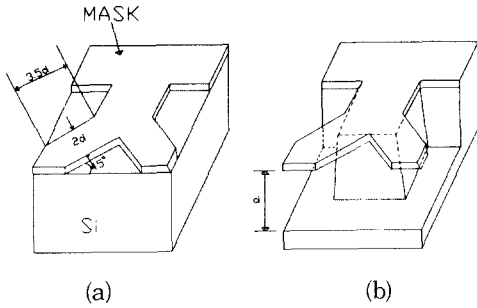


그림 3. 보상패턴의 구조
Fig. 3. Structure of compensatory pattern.

2. 유리 기판 가공 및 접합

사용된 유리 기판은 파이렉스 #7740 유리로써 너비 20×20mm², 두께 0.2mm이다. 이 유리 기판에는 전기화학적 방전 드릴링^[11]을 사용해 그림 4와 같이 센서당 2개의 구멍이 만들어 진다. 알루미늄이 유리기판의 윗부분에 2μm 두께로, 뒷부분(다이아프램으로 향한 쪽)에 1μm 두께로 증착되어, 고정전극으로 사용된다.

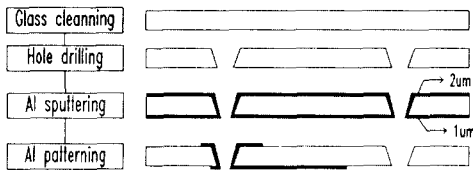


그림 4. 기판 가공공정
Fig. 4. Manufacture process of pyrex glass.

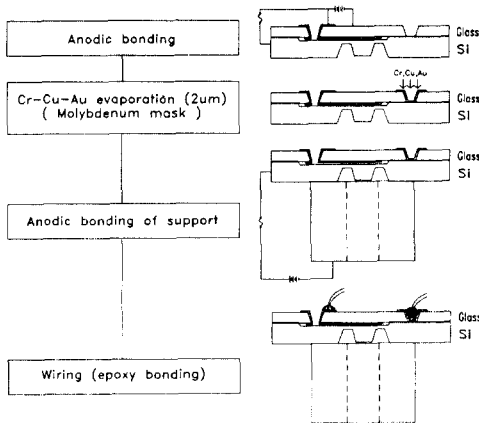


그림 5. 접합 공정
Fig. 5. Bonding process.

제작된 유리기판은 실리콘 기판과 함께 그림 5(a)와 같이 400℃, 800 Volt에서 양극접합^[12]으로 정전기적으로 접합된다.

양극접합을 할 때 실리콘 기판과 유리 뒷부분의 알루미늄 층(고정전극)과의 접합을 막기 위하여 두 부분을 등 전위로 만들었다. 그 다음 가동전극인 실리콘 전극을 유리위에 이끌어 내기 위하여 Cr/Cu/Au 금속층을 증착하였다. 이렇게 배치 프로세스에 의해 동시에 제작된 12개의 센서들을 개별칩으로 잘라 그림 5(c)와 같이 파이렉스 유리 스포트위에 양극접합으로 결합시켰다. 그림 6은 양극접합 공정까지 완료된 센서칩의 사진이다.

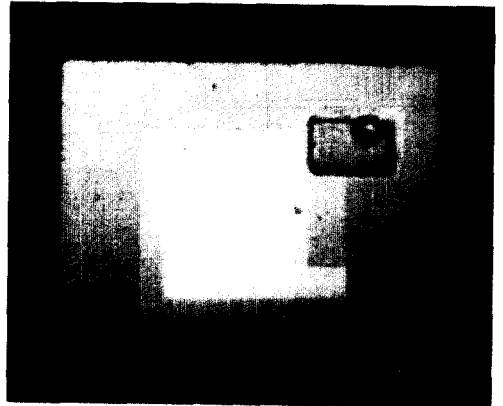


그림 6. 센서칩의 사진
Fig. 6. Photograph of the pressure sensor chip.

3. 패키징

본 실험에서는 센서부와 패키징 용기(TO-8) 사이에 파이렉스 유리 스포트를 사용하여 패키징후 센서의 한 부분인 실리콘과 패키징 용기의 열 팽창계수



그림 7. TO-8에 조립된 센서칩 사진
Fig. 7. Differential pressure sensor assembled of a TO-8 header.

차에 의해 발생될 온도에 의한 드리프트 영향을 줄이도록 패키징을 하였다. 그림 7은 파이렉스 유리 스포트를 사용하여 패키징 한 센서의 사진이다.

IV. 측정결과 및 고찰

압력센서의 특성을 측정하는 시스템은 그림 8에 나타나 있다. 온도 5℃, 15℃, 25℃, 35℃, 45℃의 각 점에서 인가압력을 0 1kgf/cm²까지 변화 할 때 전극간 용량의 변화를 1MHz 용량카운터로 측정하고, 용량변화량, 비직선성 및 온도 특성등을 평가하였다.

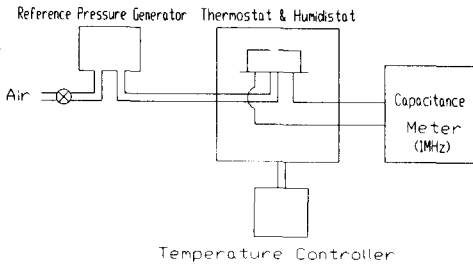


그림 8. 압력센서 측정 시스템
Fig. 8. Capacitive measuring system of pressure sensor.

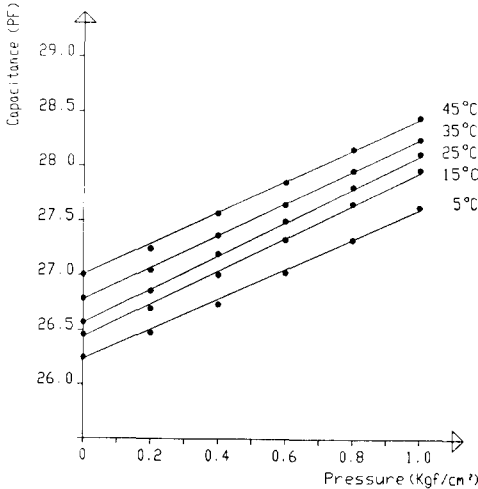


그림 9. 인가압력 변화에 따른 용량변화
Fig. 9. Change in measured capacitance as a function of an applied pressure.

그림 9는 인가 압력변화에 따른 용량값을 측정한 것

이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 온도가 10℃ 변화함에 따라 압력이 0kgf/cm²일때 초기용량(C₀)이 0.2pF정도씩 변화하는것을 알 수 있다. 그림 10은 파이렉스 스포트의 효과를 알아보기 위해 온도에 의한 영점변화를 측정 한 것인데 5℃에서 45℃의 온도 범위에서 파이렉스 스포트가 있는 경우, 영점온도 드리프트 특성이 18.8 F.S./℃에서 1.43 F.S./℃로 향상됨을 알 수 있다.

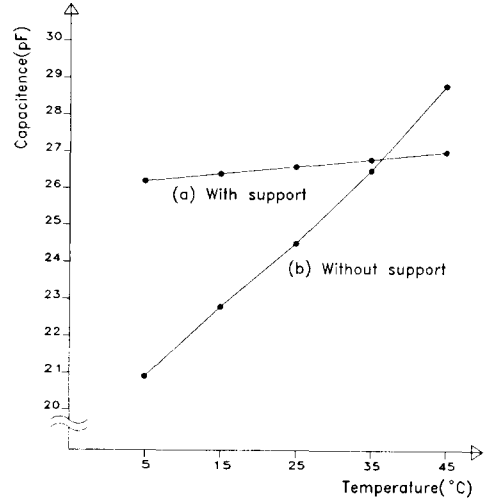


그림 10. 파이렉스 유리 스포트 유.무시 영점 온도 특성
Fig. 10. Thermal zero shift.

그림 9에서 초기 용량 C₀ 는 실온(25℃)에서 26.57pF이고 인가압력 0 ~1kgf/cm² 변화에 따른 용량의 변화량은 1.55pF(ΔC/C₀ = 5.85), 감도와 비직선성은 각각 79.3ppm/mmHg와 1.29 %F.S., 영점온도 특성과 감도온도 특성은 각각 1.43% F.S./℃과 0.14%F.S./℃이하이다. 절대압 용량성 압력센서의 특성과 비교해 볼 때^[3] 감도 온도특성은 절대압형의 0.13%F.S./℃ (5-45℃)와 거의 같으나 비직선성이 상당히 개선되었으며, 특히 영점 온도특성은 절대압 용량형 압력센서의 경우 -1.11%F.S./℃ (5 ~45℃)로 절대압 용량형 압력센서는 기준압실 내부의 공기 압축과 공기 팽창이 파이렉스 유리와 실리콘의 열 팽창계수에 비해 지배적으로 나타남을 알 수 있다.

센터보스 다이아프램이 인가 압력변화에 따른 출력특성이 직선성에 미치는 효과가 그림 11에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 온도가 25℃에서 평면 다이아프램의 비직선성이 2.14%F.S.인데 반하여 센터 보스구조인 경우 1.29%F.S.이므로 본 실험에서 제

작된 상대압 압력센서는 비직선성이 상당히 개선되었다.

본 실험에서 제작된 센서는 다이아프램의 크기와 전극사이 간격은 각각 2000 μ m와 1 μ m로 설계 되었으므로 이상적인 초기용량은 35.4pF으로 예상 된다. 그러나 측정결과 0.9pF 차이는 압력 감지 부분의 기생용량과 비 이상적 평행판 용량 일 것이다. 높은 감도를 얻기 위해서는 다이아프램의 두께가 되도록 얇게 가공되어야 한다. 전극간 간격이 적고, 다이아프램이 얇을 경우 실리콘과 파이렉스 유리를 양극접합 할때 정전접합에 의해 다이아프램이 파손될 우려가 있다. 본 실험에서는 양극접합시 두 전극간의 전위를 동일하게 하여 간격을 약 1 μ m까지 좁게 제작하였다.

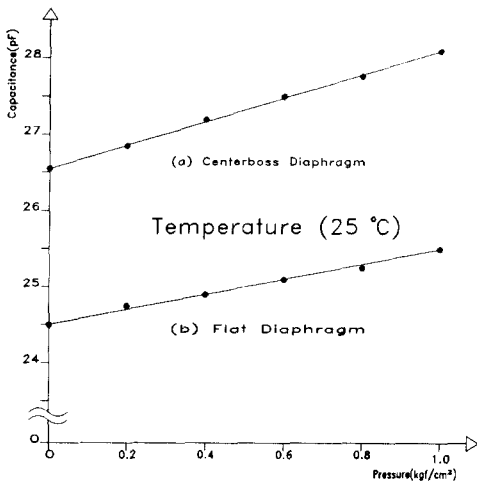


그림 11. 센터보스 구조 유.무 다이아프램의 직선성 비교

Fig. 11. Linearity comparison of the center boss diaphragm and the flat diaphragm.

또 센서의 다이아프램을 간단한 공정으로 제작하기 위해 V형 그루브를 이용한 식각제어 기술을 사용했지만 다이아프램 두께를 보다 얇게 또 정밀하게 제어 하기 위해서는 전기 화학적 식각정지 기술이나 도핑에 의한 선택적 식각제어 기술이 기대된다.

V. 결론

본 논문에서는 상대압 용량성 압력센서를 설계 제작하였다. 감지부는 마이크로머시닝 기술과 양극접합 기술을 사용하여 제작 되었다. 센서의 제조 공정을

간단히 하기 위해서 다이아프램의 두께는 그루브 깊이를 이용한 방법으로 조정되었다. 센서의 출력특성의 비직선성을 개선하기 위하여 센터보스 구조의 실리콘 다이아프램을 제작하고, 패키징후 열 드리프트를 제거하기 위하여 파이렉스 유리 스포트를 장착하였다. 제조된 센서의 감도는 약 79.3ppm/mmHg였고, 비직선성은 1.29% F.S. 이하로 센서의 기본적인 성능이 향상 되었고 특히 영점온도특성 및 감도온도특성이 개선되었다. 본 논문에서는 센서의 설계와 제조를 위한 몇가지 개선된 제안이 제시되었다.

감사의 글

저자들은 센서의 제작을 할 수 있도록 배려해준 일본 동북대학 공학부 M. Esashi 교수께 감사드립니다.

参 考 文 献

- [1] M. Esashi, H. Komatsu, T. Matsuo, M. Takhasi, K. Imahayashi and H. Ozawa, "Fabrication of Cather-tip and Sidewell Miniature Pressure Sensors", *IEEE Trans. Electron devices*, ED-29, pp. 57-63, 1982.
- [2] S. Sugiyama, M. Takigawa, and I. Igarashi, "Integrated Piezoresistive Pressure Sensor with Both Voltage and Frequency Output", *Sensors and Actuators*, 4, pp. 113-120, 1983.
- [3] C. S. Sander, J. W. Knutti and J. D. Meindl, "A Monolithic Capacitive Pressure Sensor with Pulse-Period Output", *IEEE Trans. Electron Device*, ED-27, pp. 927-930, 1980.
- [4] W. H. Ko, B. X. Shao and C. D. Fung, W. J. Shen and G. J. Yeh, "Capacitive Pressure Transducer with Integrated Circuits", *Sensors and Actuators*, 4, pp. 403-411, 1983.
- [5] T. Kudoh, S. Shoji and M. Esashi, "An Integrated Miniature Capacitive Pressure Sensor", *Sensor and Actuator*, A. 29, pp. 185-193, 1990.
- [6] H. Terabe, Y. Fukaya, S. Sakurai, O. Tabata, S. Sugiyama and M. Esashi, "Capacitive Pressure Sensor for Low

- Pressure Measurements with High Overpressure Tolerance", Technical Digest of 10th sensor symp., pp. 133-136, 1991.
- [7] W. H. Ko, M. H. Bao, and Y. D. Hong, "A High-Sensitivity Integrated-Circuit Capacitive Pressure Transducer, *IEEE trans. Electron devices*, ED-29, pp. 48-56, 1982.
- [8] Y. S. Lee and K. D. Wise, "A Batch-fabricated Silicon Capacitive Pressure Transducer with Low Temperature Sensitivity", *IEEE Trans. Electron Device*, ED-29, pp. 42-48, 1982.
- [9] B. p0uers, E. peeters and W. Sansen, "CAD Tools in Mechanical Sensor Design", *Sensors and Actuators*. 17, pp. 423-429, 1989.
- [10] O. Tabata, R. Asahi, H. Funabashi, K. Shimaoka and S. Su, "Anisotropic Etching of Silicon in TMAH Solution", *Sensors and Actuators*, 34, pp. 51-57, 1992.
- [11] S. Shoji and M Esashi, "Photoetching and Electrochemical Discharge Drilling of Pyrex Glass", Technical Digest of 9th Sensor symp., pp. 27-30, 1990.
- [12] M. Esashi, Y. Matsumoto and S. Shoji, "Absolute Pressure Sensors by Air-tight Electrical Feedthrough Structure", *Sensors and Actuators*, A21-A23, pp. 1048-1052, 1990.
- [13] 永田富夫, 和田敏忠, 壓子習一, 江刺正喜, "ハイフリット型 絶対壓 容量型 壓力センサの試作", 日本電氣學會 電子テハイス, センサ 技術研究會, EDD 89-56, pp. 1-9, 1989.

 著者紹介



徐熙敦(正會員)

1946年 9月 25日生. 1973年 2月 영남대학교 전자공학과 학사. 1987年 2月 일본동북대학교 전자공학과 공학박사. 1973年 3月 ~ 1980年2月 삼성전관 과장. 1987年 2月 ~ 1992年 2月 영남대학교 전산공학과 부교수. 1992年 3月 ~ 현재 일본풍교기 술과학대학 전기, 전자공학과 부교수. 주관심분야는 ASIC design, Intelligent 센서와 biotelemeter 등임.



崔世崑(正會員)

1960年 2月 서울대학교 전자공학과 학사. 1978年 영남대학교 전자공학과 박사. 1960年 ~ 1967年 체신부 초단과 건설국 창설요원. 1980年 9月 ~ 1981年 8月 일본 동북대학 재원교수. 1982年 2月 ~ 1987年 2月 영남대학 전자공학과 학과장. 1987年 2月 ~ 1989年 2月 영남대학교 공과대학 학장. 1968年 3月 ~ 영남대학교 전자과 교수. 주관심분야는 압력센서와 반도체물성 등임.

林根培(學生會員)

1992年 6月 영남대학교 전자공학과 석사. 1993年 ~ 현재 일본동북대학 박사과정. 주관심분야는 압력센서와 센서신호처리임.