

논문 93-03

저 압력 측정을 위한 실리콘 용량형 압력센서

徐熙敦*, 李允熙**, 朴鍾大***, 崔世崑°

Silicon Capacitive Pressure Sensor for Low Pressure Measurements

Hee Don Seo*, Youn Hee Lee**, Jong Dae Park***, and Se Gon Choi°

요 약

본 논문은 n⁺ 에피택셜층을 이용한 전기화학 에칭스톱과 글라스-실리콘의 양극 접합기술을 이용하여 저 압력측정을 위한 용량형 압력센서를 제작한 것이다. 제작된 센서는 하이브리드형으로 센서 커패시터와 기준 커패시터를 갖는 센서 칩과 두가지 출력검출회로 칩으로 구성되어 있다. 이 제작된 센서는 다이아프램 크기가 1.0×1.0 mm²이고, 두께가 10 μm로 제작된 센서는 압력이 인가되지 않을때 용량의 크기가 7.1 pF이고, 10 KPa 압력에서 감도가 5.2 %F.S.이다. 또 용량을 전압으로 검출하는 컨버터회로를 이용할 경우, 5~45°C 온도범위에서 영점 온도특성과 감도 온도특성은 각각 0.051 %F.S./°C와 0.12 %F.S./°C 이다.

Abstract

Capacitive pressure sensor for low pressure measurements has been fabricated by using n⁺ epitaxial layer electrochemical etching stop and glass-to-silicon electrostatic bonding technique. The sensor had hybrid configuration of a sensor chip, which consists of sensor capacitor and reference capacitor, and two output signal detection IC chips. A fabricated sensor, with a 1.0×1.0 mm² square size and a 10 μm thick flat diaphragm, showed a 7.1 pF zero pressure capacitance, and 5.2 %F.S. sensitivity in 10 KPa pressure range. By using a capacitance to voltage converter, the thermal zero shift of 0.051 %F.S./°C and the thermal sensitivity shift of 0.12 %F.S./°C for temperature range of 5~45°C were obtained.

I. 서 론

- * 正會員：日本 豊橋技術科學大學 電氣·電子工學科
(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Toyohashi Univ. of Technology, Japan.)
- ** 영진專門大學 電子通信科
(Dept. of Electronic Communication, Yeungjin College)
- *** 正會員：嶺南大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics, Yeungnam Univ.)
- ° 嶺南大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics, Yeungnam Univ.)
<접수일자: 1993년 2월 25일>
- * 본 연구는 1989년도(ISRC 89-E-SM-C001) 및 1990년도 (ISRC 91-E-SM-C007) 교육부학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

실리콘 다이아프램 압력센서는 가볍고 신뢰성이 좋을 뿐 아니라 소형으로 만들 수 있기 때문에 공업 계측, 자동차 및 의용 장치 등 많은 분야에 이용 되고 있다. 특히 최근 저 압력변화를 측정할 수 있는 압력센서가 공기 조절장치(air condition system), 공정 제어 및 의료 분야 등에서 많이 요구됨에 따라高精度, 高感度の 압력센서가 필요하게 되었다.

현재 압저항형 압력센서가 널리 사용되고 있지만 감도가 적을 뿐 아니라 온도나 패키징 스트레스의 영향을 받기 쉬워 精度가 좋지 않기 때문에 이러한 목적에는 적합하지 않다.^[1,2] 한편 압력에 따른 다이아프램 변형에 의한 커패시터 용량변화를 이용한 용

량형 압력센서는 구조가 간단할 뿐 아니라 압저항형에 비해 高感度, 高精度이므로 실용화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^[3~5] 그런데 용량형 압력센서는 출력의 비선형성과 기생용량의 영향을 받기 쉬운 것이 문제가 되고 있다. 특히 저 압력을 측정하기 위한 용량형 압력센서는 감도와 정도가 더욱 개선되어야 하기 때문에 저 압력변화에 민감하도록 다이아프램 두께를 되도록 얇게 해야 한다. 출력의 비선형성은 센터보스(center boss) 구조의 다이아프램을 사용하므로 개선할 수 있으나 기생용량의 영향은 센서 구조자체의 개량만으로는 개선이 어렵다. 이는 출력 임피던스가 큰데다 소형화로 센서 용량이 작아져, 상대적으로 기생용량의 영향이 크게 되기 때문이다.

기생용량의 영향을 최소로 하기 위해서는 센서 커패시터의 전극 간 거리(gap)를 되도록 줄여 초기용량을 크게 하는 한편, 센서 출력을 검출하는 회로를 다이아프램 가까이 두는 집적화가 필요하다. 집적화 용량형 압력센서는 제작 방법에 따라 모노리식(monolithic)^[4,6]형과 하이브리드(hybrid)^[7,8]형이 있다. 前者는 기생용량을 극소화할 수 있어 이상적이지만 고도의 프로세스 기술이 필요하고, 後者는 센서와 검출회로를 각각 따로 만들어 조립하기 때문에 센서와 검출회로의 특성을 최적화하기 쉽고 제작이 용이한 장점이 있다.

본 논문에서는 저 압력을 측정할 수 있는 高感度, 高精度 용량형 압력센서를 마이크로머시닝 기술과 양극 접합기술을 이용해 제작하고, 2가지 출력검출 회로를 CMOS 제조기술로 제작하여 이 두 부분을 조립하는 하이브리드형 용량형 압력센서에 대하여 논한다.

II. 센서 구조 및 설계

제작된 센서는 그림 1과 같이 센서 칩과 출력검출 회로 칩의 하이브리드 구조로 구성되어 있다. 센서 칩은 다이아프램이 형성된 실리콘기판과 파이렉스 유리(#7740)로 제작되었고 기준 커패시터와 센서 커패시터로 구성되어 있다. 전체크기는 $4.0 \times 4.0 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 이다. 얇은 다이아프램은 인가 되는 압력에 따라 변형하는 센서 커패시터의 가동 전극으로 동작하고 그 크기는 $1.0 \times 1.0 \text{ mm}^2$ 이다. 기준 커패시터의 크기는 센서 커패시터의 것과 같다.

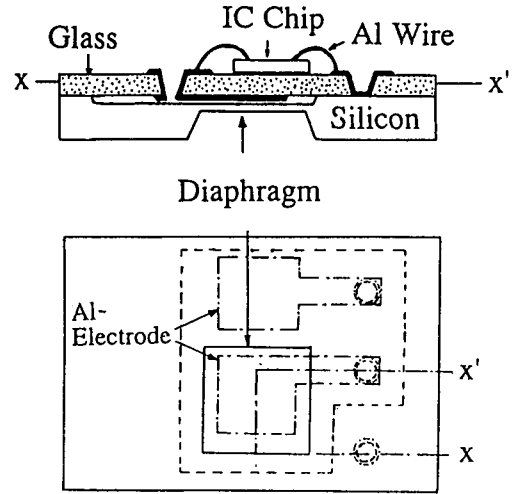


그림 1. 제작된 압력센서의 단면도와 평면도
Fig. 1. Plan and cross-sectional view of fabricated pressure sensor.

한편 파이렉스 유리에는 3개의 관통 구멍(through hole)이 장식되어 있다. 하나는 센서 커패시터의 고정 전극인 다이아프램 맞은 편의 유리면에 증착되어 있는 Al 전극을 유리 표면의 전극 패드(pad)에 연결하기 위한 것이고, 또 하나는 기준전극 커패시터의 전극을 연결하기 위한 것이며, 나머지 하나는 가동 전극인 실리콘기판에 전극을 형성하기 위한 Cr-Cu-Au 금속을 각각 증착하기 위한 것이다.

정방형 실리콘 다이아프램에 압력 $P(\text{Pa})$ 를 인가하면 다이아프램 한 가운데의 변위 $W_0(\mu\text{m})$ 는 식(1)로 주어진다.^[3]

$$\begin{aligned} W_0(P) &= \{12(1-\nu^2) \cdot a^4/49.6 \times E_y \cdot h^3\} \cdot P \\ &= K \cdot P \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $a(\mu\text{m})$ 는 다이아프램 한변길이의 1/2이며, $h(\mu\text{m})$ 는 다이아프램 두께이다. E_y 는 young율, ν 는 Poisson비로 실리콘(100)인 경우 각각 $1.88 \times 10^{11} \text{ Pa}$, 및 0.3이다. K 는 다이아프램의 두께와 크기에 의해 정해지는 상수이기 때문에 식(1)에서 $W_0(P)$ 는 인가 되는 압력에 비례하여 증가됨을 알 수 있다. 또 $W_0(P)$ 는 h^{-3} 에 비례하므로 다이아프램의 두께 조절이 바라는 센서의 성능을 얻는데 주요한 파라미터임을 알 수 있다.

센서 커패시터는 앞에서 언급한대로 실리콘 다이아프램(가동 전극)과 유리층의 고정 전극으로 되어

있다. 여기서 센서 커패시터의 면적이 S , 커패시터의 전극 간 거리 d 일때 센서 커패시터의 용량 C_x (pF)는 식(2)와 같다.

$$C_x = \epsilon_0 \cdot S / (d - W_0(P)) \quad (2)$$

ϵ_0 는 유전상수이다. 또 센서에 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.

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

저 압력 측정 및 압력의 작은 변화량에 따른 출력 신호를 효율적으로 검출하기 위하여 센서 칩에서 생기는 기생용량의 영향을 최대 줄일 수 있는 용량-전압 변환회로^[9,10]와 신호 전송시 잡음에 강하고 디지털화하기 쉬운 용량-주파수 변환회로^[4,11]를 설계했다. 용량-전압 변환회로는 스위치 커패시터(switch capacitor) 회로를 이용하여 기준 용량(C_R)과 센서 용량(C_x)의 차 (ΔC)에 비례하는 출력을 얻도록 설계되었다. 용량-주파수 변환회로는 발진주파수 $f(p)$ 가 $1/C_x$ 에 비례하도록 설계되어 있기 때문에 $f(p)$ (KHz)는 인가압력에 따라 식(4)와 같다.

$$f(p) = f_0 \cdot C_0 / C_x = f_0(d - K \cdot P) / d = f_0 \{1 - (K/d) \cdot P\} \quad (4)$$

여기서 C_0 는 압력이 인가되지 않는 상태일 때 센서 커패시터의 초기용량이고 f_0 는 이 때의 초기 주파수이다. 식(4)에서 주파수는 인가압력이 증가됨에 따라 K/d 에 의해 선형적으로 감소함을 알 수 있다.

기생용량의 영향을 줄이기 위해서는 센서 커패시터의 초기용량(C_0)을 되도록 크게 할 필요가 있다. 이 초기용량 값은 센서의 두 전극 간 거리에 의해 정해지므로 전극 간 거리를 되도록 좁게 제작해야 한다. 여기서는 양극 접합기술을 이용한 가공 능력을 고려하여 전극 간 거리(d)를 $1 \mu\text{m}$ 로 설계했다. 전극 간 거리가 정해지면 식(3)에서 K 의 정수인 다이어프램 두께는 실제 측정하고자 하는 최대 인가압력을 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 이 다이어프램 두께는 센서의 감도를 향상시키기 위한 중요한 요인이다. 인가 최대압력을 약 10 KPa 로 할때 식(1)에 의하면 다이어프램 두께 h 는 $9 \mu\text{m}$ 가 되기 때문에 $10 \mu\text{m}$ 로 설계했다.

이 다이어프램에 압력이 인가될 때 생기는 다이어프램 변위와 그 변위에 의한 최대 응력을 FEM으로

시뮬레이션한 결과를 그림 2에 나타냈다. 그림에서 압력이 10 KPa 인가될 때 $0.94 \mu\text{m}$ 의 다이어프램 변위가 일어나고 그 때 최대 응력이 17.4 MPa 임을 알 수 있다.

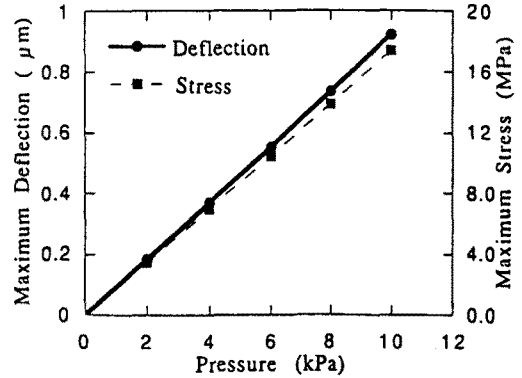


그림 2. 인가 압력에 대한 다이어프램의 최대 스트레스와 휨의 FEM 분석 결과

Fig. 2. FEM analysis results of deflection and maximum stress of diaphragm for applied pressure.

III. 칩 제작

센서 칩은 그림 3과 같이 표준 IC 제조기술을 기초로 한 마이크로머시닝 기술을 이용하여 실리콘기판과 파이렉스 유리를 각각 가공한 후 양극 접합기술로 제작된다.

(a) 실리콘기판은 크기 $20 \times 20 \text{ mm}^2$, 두께 $200 \mu\text{m}$ 의 P형($10 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$)실리콘, 특히 $10 \mu\text{m}$ 두께의 n형 에피택셜층($8 \sim 12 \Omega \cdot \text{cm}$)이 있는 웨이퍼를 사용했다. 이 실리콘 기판의 표면은 센서 커패시터의 두 전극 간 거리(gap)를 만들기 위해 깊이 $2 \mu\text{m}$ 정도 에칭되고, 뒷면은 다이어프램을 형성하기 위해 약 $190 \mu\text{m}$ 에칭되어 있다. 에칭은 80°C , 25wt% TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide; $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$)용액을 이용했다. 이 TMAH에는 알칼리 이온이 들어있지 않기 때문에 IC 제조공정에 적합할 뿐 아니라 에칭 마스크로 SiO_2 막만으로 충분하다.^[12] 다이어프램 두께는 에칭 제어 기술의 하나인 n^+ 에피택셜층을 이용한 전기화학 에칭스톱 방법으로 정확히 제작되었다.

(b) 유리 기판으로 크기 $20 \times 20 \times 0.3 \text{ mm}^3$ 의 파이렉스 유리(#7740)를 사용하여, 전기방전 가공방법으

로 전극 연결을 위한 관통 구멍을 센서당 2 개씩 만들었다. 또 유리기판 뒷면에는 센서 커패시터 전극과 기준 커패시터 전극을 위해, 표면에는 각 전극패드들 만들기 위해 Al 층이 각각 1 μm 씩 증착되어 있다.

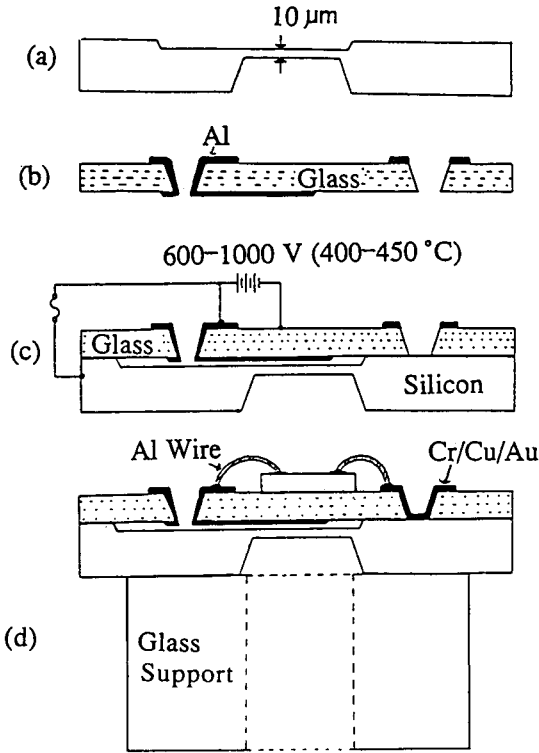


그림 3. 센서 칩의 제작

Fig. 3. Fabrication of the sensor chip.

(c) 다이아프램이 가공되어 있는 실리콘기판은 양극 접합기술에 의해 파이렉스 유리기판과 접합되어 있다.

양극접합은 유리기판(음극)과 실리콘기판(양극) 사이에 600~800 V정도 전압을 인가, 400~450 $^{\circ}\text{C}$ 분위 기에서 이루어졌다. 이 때 상부 전극인 유리와 하부 전극인 실리콘이 정전 접합되는 것을 방지하기 위해 두 전극을 동전위가 되게 했다. 이와같이 두 전극을 동전위 상태에서 양극접합을 하므로 전극 간 거리를 1 μm 까지 좁힐 수 있었다.

(d) 개별 센서 칩 위에 2가지 출력검출회로를 풀리아미드로 접합 후 Al 선으로 결선한다.

그림과 같이 검출회로와 조립된 센서를 TO-8용기에 패키징할 때 약 10 mm 두께의 파이렉스 유리 스

포트를 사용하여 센서와 용기 간의 열팽창계수 차에 의한 온도 드리프트의 영향을 줄이도록 하였다.

IV. 출력검출회로 칩 설계 및 제작

용량형 압력센서는 출력 임피던스가 클 뿐아니라 센서 자체에서 발생하는 출력 신호가 미약하고 비직 선적인 점 등, 센서 자체로서는 개선되지 못하는 문제를 해결하고, 신호 전송이나 신호 처리를 위해 출력 신호를 전기 신호로 변환할 필요가 있다. 특히 저압력 및 적은 압력 변화에 따른 출력 신호를 검출하기 위해서는 잡음, 기생용량 및 온도 변화에 영향을 되도록 적게 받는 출력검출회로가 필요하다. 이러한 회로에는 검출출력 신호에 따라 용량-전압 변환회로와 용량-주파수 변환회로가 있다.

1. 용량-전압 변환 회로

그림4는 스위치드 커패시터 회로를 이용한 용량-전압 변환회로이다. 그림에서 출력 전압은 기준용량 C_R 과 센서용량 C_x 의 차 ΔC 에 비례하여 나타나기 때문에 기생용량의 영향이 무시된다. 기준용량 C_R 은 센서용량 C_x 와 같은 조건에서 제조된 것으로 인가 압력 변화에 독립적인 커패시터 값이다. 스위치 S가 ON될 때 캐환 용량 C_T 가 방전되어 출력이 GND 레벨이 되고, 스위치가 OFF 될 때 클럭 ϕ 는 C_R 과 C_x 를 바꾸어 C_x 에 전하를 전송하게 되므로 식(5)와 같은 전압식을 세울 수 있다.

$$V_1 (= V_2) = \pm \Delta C \cdot V_{DD} / C_T + V_{os} \quad (5)$$

여기서 V_{os} 는 오프 세트 전압이고 부호는 ϕ 가 상승일 때 + 이고 하강일 때 - 이다. 스위치 S는 잡음 보상용 더미 스위치를 부착한 CMOS 스위치로 설계 되었다.

출력전압 V_0 는 V_1 과 V_2 의 차 ($V_0 = V_1 - V_2$)로 나타나므로 식(6)과 같이 ΔC 에 비례하고 V_{os} 에는 영향을 받지 않는다.

$$V_0 = 2 \cdot \Delta C \cdot V_{DD} / C_T \quad (6)$$

그림 4(b), 그림 4(a)회로의 연산 증폭회로로 그림과 같이 CMOS를 이용하여 차동 증폭단, 바이어스 회로, 주파수 보상용 커패시터 및 출력단 등 2단 증폭 구조로 설계되었다.

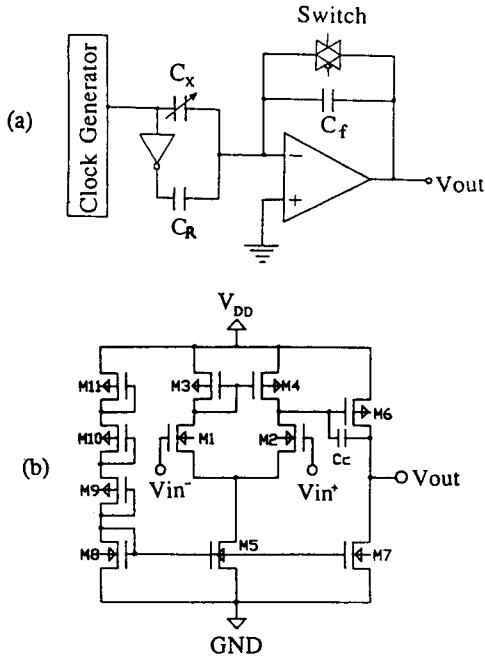


그림 4. 스위치드 커패시터 기술에 의한 용량-전압 변환기
(a) 기본 회로도 (b) 연산증폭기 회로도
Fig. 4. Capacitance to voltage converter, based on the switched capacitor technique.
(a) basic diagram (b) operation amplifier circuit.

2. 용량-주파수 변환회로

센서용량을 이것에 대응하는 주파수로 변환하는 용량-주파수 변환회로는 회로가 비교적 간단하고 출력 신호가 잡음의 영향을 받기 어려울 뿐아니라 디지털화하기 쉬운 특징이 있다. 이 회로에는 궤환 스위칭 방식에 따라 슈미트(Schmitt) 트리거회로와 불안정 멀티바이브레이터회로가 있다. 각 회로에 정전류원을 어떻게 사용하는가에 따라 센서 검출회로에서 발생하는 기생용량의 영향, 회로의 온도 드리프트 및 리크 전류의 영향 등이 달라진다. 본 연구에서는 히스테리시스 특성에 의해 잡음에 의한 오동작을 막아주는 특징이 있는 슈미트 트리거회로를 그림 5와 같이 설계했다. 이 회로는 크기가 같은 2개의 정전류원에 의해 센서 커패시터가 충·방전되도록 그림 5(b)와 같이 설계되었다. 이 회로의 정전류원은 CMOS 회로에서 MOS 트랜지스터의 포화 영역을 이

용하여 만들어졌다.

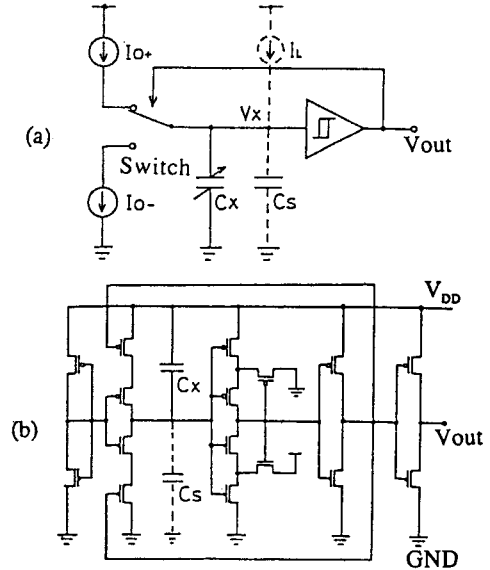


그림 5. 슈미트 트리거를 사용한 용량-주파수 변환기
(a) 기본 회로도
(b) 두개의 전류원을 갖는 회로도
Fig. 5. Capacitance to frequency converter using Schmitt trigger.
(a) basic diagram.
(b) circuit diagram with two current sources.

검출회로의 발진 주파수 $f_x(\text{Hz})$ 는 식(7)로 주어진다.

$$f_x = I_o / (2 \cdot C_s \cdot V_h) = I_o (1 - P/P_{max}) / 2 \cdot C_o \cdot V_h \quad (7)$$

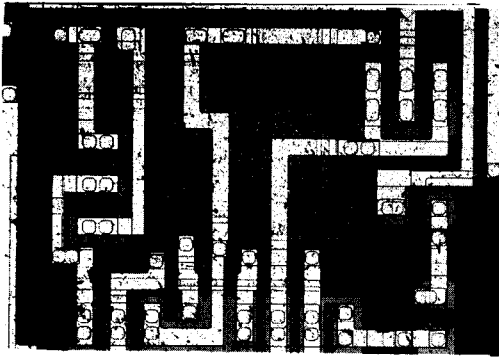
I_o 는 센서 커패시터에 충·방전 전류이고, V_h 는 슈미트 트리거의 히스테리시스 전압이다. 전류 I_o 는 리크 전류를 무시할 정도로 커야 한다. 실제 센서에 적용될 때 이 충·방전 전류의 변동으로 인한 열적 드리프트가 발진 주파수에 영향을 미친다. 이와같은 열적 드리프트를 전원전압 V_{DD} 을 조정하는 방법으로 보상하였다. 이 검출회로는 전원 전압 4.08 V에서 온도 드리프트가 없어졌다.^[13]

위 두가지 회로에 대하여 트랜지스터의 W/L비를 정하기 위해 SPICE 시뮬레이션을 하고, 이들 회로를 레이아웃 설계 및 CMOS IC 제조기술을 이용 IC 칩으로 제작했다.^[14]

그림 6(a)는 용량-전압회로의 연산증폭기 칩 사진이고, (b)는 슈미트 트리거회로 칩 사진이다.



(a)



(b)

그림 6. (a) 그림 4(b)의 사진 (b) 그림 5(b)의 사진
 Fig. 6. Photomicrograph of (a) Fig.4(b) and (b) Fig.5(b).

V. 측정결과 및 고찰

제작된 센서를 그림 7과 같이 항온 항습기 내에 넣어두고 온도 5℃, 20℃ 및 45℃에서 압력을 0~10 KPa 까지 변화시키면서 센서용량의 변화를 1 MHz 커패시터 카운터로 측정하여 비직선성 및 온도특성을 평가했다.

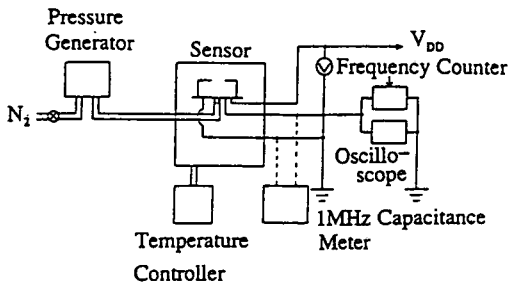


그림 7. 측정 시스템의 블록도
 Fig. 7. Block diagram of measuring system.

그림 8은 인가 압력변화에 따른 용량변화를 각 온도에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 온도 20℃에서 압력을 인가하지 않는 상태에서의 센서 커패시터의 초기용량 C_0 가 7.1 pF이고, 인가 압력을 10 KPa까지 변화함에 따른 용량 변화량은 1.3 pF($\Delta C/C_0=18.3\%$), 비직선성은 5.2 %F.S.이었다.

초기용량을 크게 하기 위해 전극의 면적을 키우거나 전극 간 간격을 좁게 할 필요가 있는데 전극의 크기는 소형화 센서에서 제한이 되므로 전극 간 거리를 정전 양극접합 기술을 이용하여 1 μm 로 제작했다. 전극의 크기가 $1.0 \times 1.0 \text{ mm}^2$ 이므로 식(2)에 의하면 초기용량이 약 9 pF 정도 예상되었다.

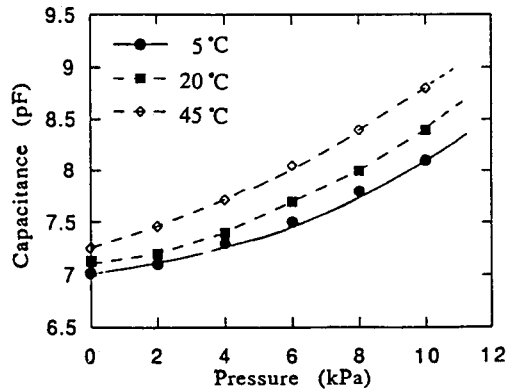


그림 8. 인가 압력변화에 따라 측정된 커패시턴스의 변화도

Fig. 8. Change in the measured capacitance as a function of an applied pressure.

그림 9는 전원전압 4.0 V, 피이드백 커패시터(C_F)의 용량 10 pF일때 용량-전압 변환회로를 이용하여 출력전압을 측정된 결과이다. 인가 최대압력 10 KPa인 경우 출력전압이 1.12 V, 감도가 28 mV/KPa·V, 영점 온도특성 및 감도 온도특성은 각각 0.051 %F.S./℃ 및 0.12 %F.S./℃이었다. 압력이 인가되지 않은 상태의 출력전압(초기전압)이 그림에서 볼 수 있듯이 10 mV 이하로 안정되었다.

그림 10은 전원전압 4 V일 때 출력신호를 주파수로 측정된 결과이다. 온도 20℃에서 초기 주파수가 약 43.2 KHz이고, 감도 -6.7 Hz/Pa, 비직선성 -5.7 %F.S./℃이었다. 5℃에서 45℃ 온도 범위에서 영점 온도특성 및 감도 온도특성은 각각 0.078 %F.S./℃ 및 0.086 %F.S./℃이었다. 센서의 주요특성은 표 1에 정리되어 있다. 이들 특성에서 알 수 있듯이 저 압력

변화에 따른 감도가 좋을 뿐 아니라 온도 특성이 많이 개선되었음을 볼 수 있다. 특히 용량-전압 변환회로가 용량-주파수 변환회로보다 안정된 특성을 측정할 수 있었다.

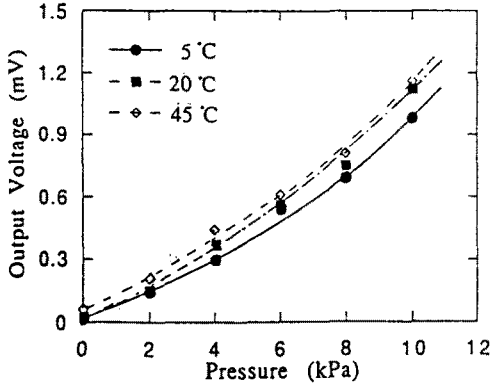


그림 9. 인가 압력에 따른 출력전압
Fig. 9. Output voltage as a function of an applied pressure.

식(1)에서 알 수 있듯이 감도가 다이어램 두께의 3승에 비례하기 때문에 바라는 감도를 얻기 위하여 다이어램 두께를 정확히 제어할 필요가 있고, 또 다이어램 두께는 인가 최대압력을 얻을 수 있도록 제작되었다.

비직선성은 센서 커패시터에 생긴 일부분 기생용량의 영향 및 다이어램이 고정전극(파이렉스 유리층의 상부전극)면에 평행하게 휘지 않기 때문에 생기는 특성으로 다이어램을 센터보스 구조로 하면 어느 정도 개선되지만 감도와 트레이드 오프(trade off) 관계를 고려해야 한다.

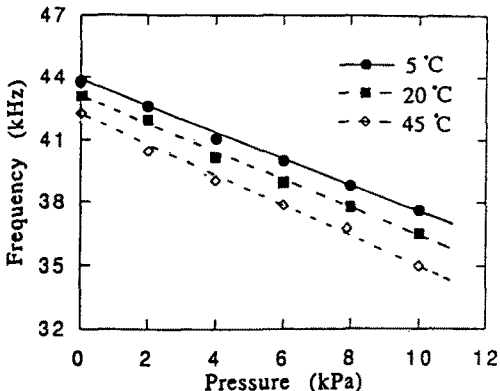
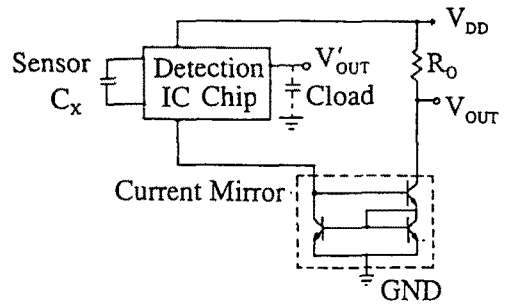


그림 10. 인가 압력에 따른 발진 주파수
Fig. 10. Oscillation frequency as a function of an applied pressure.

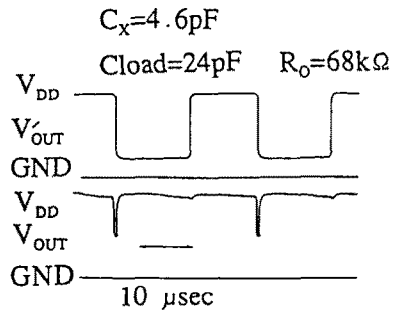
표 1. 제작된 센서의 특성

Table 1. The characteristics of the sensor

Detecting circuit	C-V converter	C-F converter
Rated pressure	0~10 kPa	
Measured pressure	differential pressure	
Output signal	Voltage	Frequency
Sensitivity (20°C)	28 mV/kPa · V	-6.7 Hz/Pa
Thermal zero shift(5°C~45°C)	0.051 %F.S./°C	0.078 %F.S./°C
Thermal sensitivity shift(5°C~45°C)	0.12 %F.S./°C	0.086 %F.S./°C
Nonlinearity	5.4 %F.S.	-5.7 %F.S.



(a)



(b)

그림 11. (a) 2선만으로 출력신호를 검출하기 위한 시스템도

(b) 출력신호의 파형

Fig. 11. (a) Diagram to detect output signal with the 2-wire method.

(b) Waveforms of output signal.

온도에 의한 영점 및 감도의 변화는 실리콘과 파이렉스 유리의 열팽창계수 차에 의한 열적 스트레스 영향과 검출회로의 증·방전 전류변동에 의해 일어나는 것으로 전원전압 조정방법 및 패키징시 파이

렉스 유리 스포터의 효과로 종래 보고된 센서^[5,6,15]들보다 상당히 개선되었다.

CMOS 회로는 스위칭할 때만 전력을 소비하기 때문에 전원과 GND 사이에 흐르는 전류 변화를 검출하면 발진주기를 측정할 수 있다. 그림 11(b)는 용량-주파수회로의 발진 주기를 그림 11(a)와 같이 2선만으로 검출한 전압파형이다. 그림에서 출력파형이 상위 레벨에서 하위 레벨로 바뀔 때 흐르는 전류가 소비됨을 볼 수 있다.

VI. 결 론

저압력변화를 측정할 수 있는 용량형 압력센서가 하이브리드형으로 제작되었다. 양극 접합기술을 이용하므로 센서 전극 간 거리를 1 μm , n^+ 에피택셜층을 사용하고 전기화학 에칭스톱 방법을 이용하여 다이아프램 두께를 10 μm 이하로 제작할 수 있었다.

출력검출회로 칩으로 기생용량의 영향을 줄일 수 있는 스위치드 커패시터 회로를 이용 전압 검출회로와 디지털화가 쉬운 주파수 검출회로를 각각 설계했는데 전자가 저압력측정 및 적은 압력 변화를 측정하는데 후자보다 안정된 특성을 측정할 수 있었다.

제작된 센서는 용량이 10 KPa 인가 최대압력에서 1.3 pF 변화했고, 감도가 5.2 % F.S.로 매우 클 뿐 아니라 온도 드리프트특성이 개선되었다.

이러한 결과로 부터 제작된 용량형 압력센서는 가정 전자기구나 공기 조절장치 등에서 저압력을 측정하는 장치에 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J.M.Borkey and K.D.Wise, "Integrated Signal Conditioning for Silicon Pressure Sensors," *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-26, pp. 1906-1910, 1979.
- [2] S.Sugiyama, M.Takigawa, and I.Igarashi, "Integrated Piezoresistive Pressure Sensor with both Voltage and Frequency Output," *Sensors and Actuator*, 4, pp.113-120, 1983.
- [3] W.H.Ko, M.Bao, and Y.Hong, "A High-Sensitivity Integrated Circuit Capacitive Pressure Transducer", *IEEE Trans, Electron Device*, ED-29, pp.48-56, 1982.
- [4] T.Kudoh, S.Shoji, and M.Esashi, "An Integrated Miniature Pressure sensor," *Sensors and Actuator A-29*, pp.185-193, 1991.
- [5] Y.Ishikura, S.Kimura, and T.Fukiura, "A Thin Film Capacitive Pressure sensor," *Tech, Digest 11th Sensor Symp.* Japan, pp.149-152, 1992.
- [6] T.Nagata, H.Terabe, S.Kuwahara, and S.Sakurai, "Digital Compensated Capacitive Pressure Sensor Using CMOS Technology for Low Pressure Measurements," *Tech. Digest of the Transducer '91*, pp.308-311, 1991.
- [7] K.Furuta, M.Esashi, S.Shoji, and Y.Matsumoto, "Hybrid Type Absolute Capacitive Pressure Sensor," *Tech, Digest 8th Sensor Symp.*, pp.25-28, 1989.
- [8] H.Seo, G.Lim, and M.Esashi, "Hybrid Type Capacitive Pressure Sensor," *Sensors and Material*, vol.4, no.5, pp. 277-298, 1993.
- [9] K.Chun and K.D.Wise, "A High-performance Silicon Tactile Imager Based on a Capacitive Cell," *IEEE Trans, Electron Devices*, ED-32, pp. 1196-1201, 1985.
- [10] Y.E. Park and K.D.Wise, "An MOS Switched Capacitor Readout Amplifier for Capacitive Pressure Sensor," *IEEE Proc. Custom IC Conf.*, Rochester, pp. 380-384, 1983.
- [11] A.Hanneborg, T.E.Hanson, P.A.Ohlockers, E.Carson, B.Dahl and O.Holwech, "An Integrated Capacitive Pressure Sensor with Frequency Modulated Output," *Sensors and Actuator*, 9, pp. 345-351, 1986.
- [12] O.Tabata, R.Asahi, H.Funabashi, K.Shimaoka, and S.Su, "Anisotropic etching of Silicon in TMAH Solution, *Sensors and Actuator*, A-34, pp. 51-57, 1992.
- [13] Y.Matsumoto, S.Shoji, and M.Esashi, "Fabrication of C-F Converter CMOS IC for Capacitive Sensors," *IEICE, J73-C-N03*, pp.194-202, 1990.
- [14] H.Seo, M.Esashi, and T.Matsuo, "Manufacture of Custom CMOS LSI for an Implantable Multipurpose Biotelemetry System," *Frontiers Med.*

Biol. Engng., vol.1, no.4, pp.319-329, 1989.
[15] M. Sato and K. Suzuki, "Low Pressure Silicon

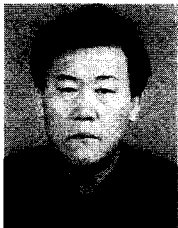
Capacitive Pressure Sensors," *Tech. Digest, 10th Sensor symp.*, Japan, pp.239-242, 1991.

著 者 紹 介



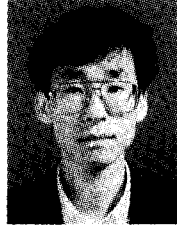
Hee Don Seo

Heedon Seo was born on September 25, 1946. He received the B.S. and M.S. degrees in electronics from Yeungnam University, Taegu, Korea, in 1973 and 1982, respectively, and also Ph. D. degree in electronics from Tohoku University, Sendia, Japan, in 1987. He worked at the Samsung electron devices company from 1973 to 1980, as manager of semiconductor section, and he served as an Assistant professor in the Department of Yeungnam Institute of Technology from 1980 to 1983. He had been as associate professor in the Department of Electronics, Yeungnam University from 1987 to 1991. Since 1992 he has been as a faculty in Department of Electrical and Electronics, Toyohashi University of Techology, Japan. His current research interests include ASIC design, intelligent pressure sensor and biotelemeter.



Youn Hee Lee

Youn hee Lee was born on September 20, 1949. He received the B.S. and M.S. degrees in electronics from Yeungnam University, Teagu, Korea in 1976 and 1979, respectively. He is currently enrolled in Ph. D. candidate at Yeungnam University. Since 1978, he has been an associate Professor of Department of Electronic Communication, Yeungjin Junior College, Teagu, Korea. His current research interests is semiconductor pressure sensor.



Jong Dae Park

Jongde Park was born in Daegu, Korea in 1963. He received the B.S., M.S. degrees in electronics from Yeungnam University, Korea in 1987, 1989, respectively. He is currently enrolled in a Ph.D. candidate at Yeungnam University. His research interests include VLSI design and integrated capacitive pressure sensor and biotelemeter.



Se Gon Choi

Segon Choi received B.S. and Ph.D. degrees in electronics from Seoul National University and Yeungnam University in 1960 and 1978 respectively. During 1960-1967, he served as an Engineer for the Planning of Micro-wave Installation, Ministry of Communications. Since 1968 he has been a Professor of Department of Electronics, Yeungnam University.