

집적화된 실리콘 압력센서의 제작

(Fabrication of Integrated Silicon Pressure Sensor)

李甫那*, 李英俊**, 鄭勝閔***, 李文基*

(Bo Na Lee, Young Jun Lee, Seung Min Jung and Moon Key Lee)

要約

본 논문에서는 주파수 출력을 갖는 집적화된 실리콘 압력센서를 제작하고 그 동작 특성을 측정, 분석하였다. 표준 바이폴라 공정의 마지막 단계에 비등방성 식각을 이용하여 얇은 다이어프램을 형성하였고, 유리와 접합한후, TO-8 캔에 패키징 하였다. 0 - 10 psi의 압력범위에서 선형 출력을 가지며 출력 주파수는 769 Hz - 3.1 KHz, 동작 온도 범위는 0 - 50℃이다. 주파수 출력 감도는 233Hz/℃, 온도 감도는 0.3 Hz/℃, 전력 소비는 50mW였다.

Abstract

An integrated silicon pressure sensor with frequency output has been fabricated, measured, and tested. The standard bipolar process is applied and thin diaphragm was formed using EDP anisotropic etchant. Output frequency was 769 Hz - 3.1 kHz at the pressure range of 0 - 10 psi. It operates at the temperature range of 0 - 50℃. The frequency sensitivity was 233 Hz/psi and temperature sensitivity was 0.3 Hz/℃. The power dissipation was 50mW.

1. 서론

VLSI 기술의 발전으로 마이크로컴퓨터의 고성능화와 저 가격화가 진행됨에 따라 전자기기의 고성능화, 지능화가 요구되고 있으며 이러한 요구에 부응하기 위해서 센서는 모든 산업분야에서 마이크로컴퓨터와 접속되어 산업 기계 자동화, 자동차 엔진제어 시스템, 가전기기, 의료용 기기 등 첨단 기기에서 그 중요도가 점점 높아지고 있다. ^{[1] [2] [3] [4]}

센서 기술은 반도체 집적회로 기술에 마이크로머시닝(Micromachining)기술이 첨가되어 실리콘의 에칭속도의 이방성이나 불순물 농도차이 등을 이용하여

웨이퍼 상에 구멍이나, 홈, 피라미드형과 같은 여러가지 형상의 기계소자를 조립할 수 있게 되었으며 ^{[5] [6] [7]} 힘, 압력, 가속도 센서 등에 이용되고 있다.

센서 자체에서 발생하는 전기 신호는 미약하고 비직선적인 정보가 많기 때문에 신호의 전송 또는 마이크로컴퓨터가 처리할 수 있는 전기레벨로 변환하기 위한 신호처리회로를 포함한다. 주파수 변환회로는 노이즈나 잡음에 강하며 아날로그-디지털 변환기 없이 컴퓨터와 쉽게 접속이 가능 하기 때문에 센서 신호처리회로에 많이 이용되고 있다. ^{[3] [8]}

본 논문에서는 이러한 요구에 부응하기 위한 신호처리회로를 갖는 집적화된 압력센서를 제작하고 동작 특성을 측정, 분석 하였다. 신호처리회로는 증폭 및 온도보상, 출력신호 변환회로를 포함하고 센서와 동일 칩상에 집적하여 칩의 소형화와, 고성능화, 저가격화를 이루며 산업 자동화는 물론 자동차 엔진제어

*正會員, **學生會員, 準會員, 延世大學校 電子工學科 (Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1993年 1月 7日

시스템, 가전기기, 의료용등에 이용하고자 한다.

II. 압력센서의 원리

1. 압저항효과

실리콘 표면의 응력으로 인한 에너지 표면 변화로 저항이 변하는 현상을 압저항 효과 (piezoresistive effect)라고 한다. 압저항효과를 일어나게하는 응력은 세가지로 대별할 수 있는데 축방향 응력 (longitudinal stress)은 전류방향에 평행인 응력이고 횡방향응력(transverse stress)은 전류방향에 수직인 응력이며 전단응력(shear stress)은 전류방향과 어긋나게 각을 갖는 응력이다. 실리콘은 입방체 구조를 갖기때문에 압저항계수는 π_{11} , π_{12} , π_{44} 의 세가지 성분만 존재하고 그림 1과 같은 임의의 저항체에 힘을 가하게 되면 저항변화 성분은 횡방향 및 종방향에서의 응력 및 응력에 따른 압저항계수로 식(1)과 같이 표현 된다.¹⁵⁾

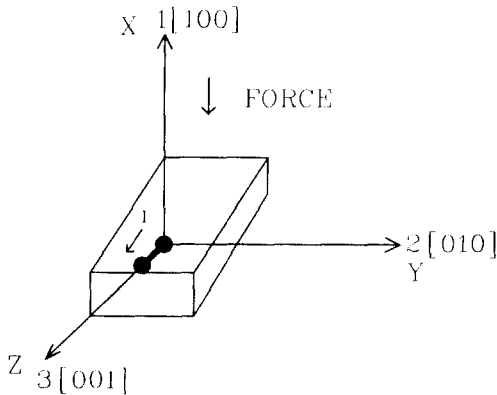


그림 1. 좌표축상으로 본 반도체 결정
Fig. 1. Single crystal on rectangular coordinate.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= (\Delta R / R)_{longitudinal} + (\Delta R / R)_{transverse} \\ &= (\pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t)_{longitudinal} + (\pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t)_{transverse} \end{aligned} \quad (1)$$

먼저 종방향 성분의 π_l 은

$$\pi_l = \pi_{11} + 2(\pi_{44} + \pi_{12} - \pi_{11})(l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2) \quad (2)$$

횡방향 성분 π_t 는

$$\pi_t = \pi_{12} + 2(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2) \quad (3)$$

N-type인 경우 π_l 과 π_t 는 (4)식으로 근사화되며

P-type인 경우 (5)식으로 근사화된다.

$$\pi_l = \pi_{11}[1 - 3(l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2)] \quad (4a)$$

$$\pi_t = \pi_{11}[-1/2 + 3/2(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2)] \quad (4b)$$

$$\pi_l = 2\pi_{44}(l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2) \quad (5a)$$

$$\pi_t = -\pi_{44}(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2) \quad (5b)$$

P-type인 경우 저항을 [110] 방향으로 위치 시킬 때 최대 감도를 얻을 수 있으며 N-type인 경우 [010] 방향일때 최대 감도를 얻을 수 있다. π_{44} 의 값은 π_{11} 의 값보다 크기때문에 감도는 N-type인 경우보다 P-type인 경우가 훨씬 큰 값을 갖는다.

2. 압력감도

압력감도(Pressure sensitivity)는 압력이 가해졌을 때 나타나는 출력전압의 변화율을 나타내며 압력을 P, 공급전압을 V_{cc} , 출력전압의 변화율을 ΔV 라고 할때, (6)식으로 표현된다.

$$S = \frac{1}{V_{cc}} \frac{\partial \Delta V}{\partial P} = \pi \frac{\partial}{\partial P} [(\sigma_l - \sigma_t)] \quad (6)$$

응력성분은 다이어프레임의 두께 및 크기의 향으로 표현되기 때문에 다이어프레임의 크기가 크고, 두께가 얇을수록 압력감도는 증가하며 감도를 높이기 위해서는 다이어프레임의 두께를 얇게, 면적을 크게 해야 하나 다이어프레임의 면적이 증가하면 칩의 사이즈가 증가하게 되고 두께를 너무 얇게 하면 응력에 견디지 못해 소자가 파괴될 우려가 있으므로 용도에 따라 적당한 두께를 선택해야 한다.^{112) 114)}

압력이 증가할수록 이에따른 압력감도 또한 증가하며 압저항계수가 부의 온도특성을 갖기 때문에 압력감도 또한 부의 온도계수를 갖는다. 온도에 따른 감도의 변화율은 다이어프레임의 두께에 따라서 차이를 보이며 두께가 얇을수록 온도에 따른 변화량이 커짐을 알 수 있다. 이는 압저항계수의 온도에 따른 변화와 함께 압력감도는 두께가 두꺼울수록 작아지기때문에 압력감도의 온도에 따른 변화도 두께가 두꺼울수록 작아지기 때문인것으로 보인다.

3. 불순물 농도 및 비선형성

불순물 농도 또한 감도에 영향을 미치며 불순물 농도가 높으면 온도에 대한 영향성은 줄어들지만 압저항계수가 작아지므로 감도가 떨어지게 되고 반대로 불순물 농도가 적으면 큰 압저항계수를 얻을수 있지만 온도변화가 커져 사용이 어렵게 된다.¹¹⁵⁾

비선형성도 불순물 농도의 영향을 받으며 종방향 저항은 불순물 농도가 증가할수록 비선형성이 증대되지만 횡방향 저항은 불순물 농도가 증가할수록 비선형성이 감소한다. 비선형성은 저항값과도 관계가 있으며 저항값이 증가하면 비선형성은 감소하지만 감도가 떨어지고 저항값이 감소하면 비선형성은 증가하지만 감도가 커진다. 그러므로 이들의 상반관계를 고려하여 불순물 농도를 결정해야 한다.

III. 압력센서의 설계

본 논문에서는 감도 및 최대 파괴응력을 고려하여 1mm x 1mm, 20 μ m의 정사각형 다이어프레이름을 구성 하였다. 설계한 다이어프레이름상의 저항의 구성을 그림 2에 나타내었다. P-type저항인 경우 [110] 방향일때 압저항 계수의 값이 가장 크므로 수직저항과 수평저항은 각각 [110] [1 $\bar{1}$ 0] 방향으로 위치 시켰다. 저항은 브리지 형태로 구성하여 회로내에 존재하는 비선형적인 요소가 상쇄되도록 하였고 감도를 높이기 위하여 다이어프레이름에 수직인 저항은 두개의 직렬 저항으로 구성하였다.

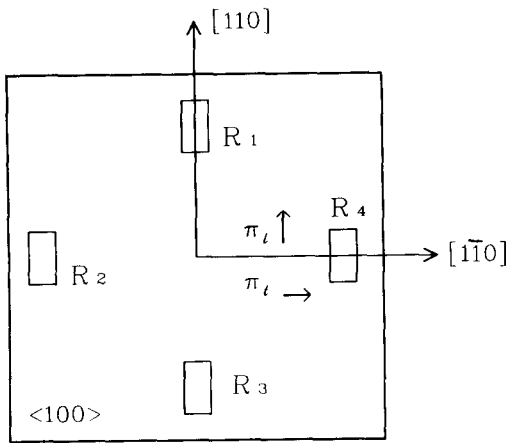


그림 2. 다이어프레이름위에 놓인 감지 저항
(R₁=R₂=R₃=R₄=2K Ω)

Fig. 2. Resistor position on diaphragm.

다이어프레이름위에 6개의 저항이 브리지 형태로 구성되어지므로 공급전압에 대한 출력전압의 변화율은 (7)식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{\Delta V}{V_{cc}} = \frac{\left[\frac{\Delta R}{R} \right]_i - \left[\frac{\Delta R}{R} \right]_j}{2 + \left[\frac{\Delta R}{R} \right]_i + \left[\frac{\Delta R}{R} \right]_j} \quad (7)$$

만일 종방향의 저항 변화율과 횡방향의 저항 변화율이 같다면 (7)식에서 분모의 저항변화율이 상쇄되므로 2만 남는다. 결국, 브리지 저항의 경우 출력전압의 변화율은 종방향 저항 변화율과 횡방향 저항 변화율의 차를 1/2로 나눈 값과 같게 된다.

IV. 신호처리 회로의 설계

압력센서의 출력전압은 수십 mV정도로 매우 미약하므로, DC신호의 전송에 적합한 전압으로 증폭해 주기위한 증폭기와 마이크로 컴퓨터에 접속하기 위한 출력신호 변환회로를 필요로 한다.

출력신호 변환회로에는 아날로그-디지털 변환기와, 주파수 변조 회로가 있으며, 주파수 변조회로는 아날로그-디지털 변환회로에 비해 아이소레이션이 용이하고 잡음에 강하기 때문에 아날로그 신호 전송에 유리하다. 그러므로 본 논문에서는 압력센서의 출력 신호를 주파수로 바꾸어주기 위한 발진회로를 설계 하였다. 또한 센서의 출력전압은 공급전압의 변동에 민감하므로 센서의 공급전원으로 사용될 안정하고, 온도에 따른 드리프트가 적은 기준전압회로를 설계 하였다.

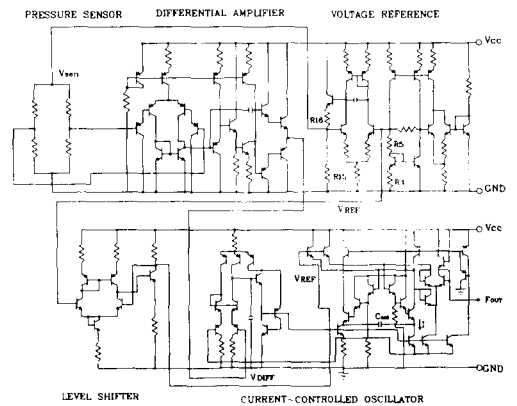


그림 3. 전체 회로도

Fig. 3. Circuit diagram.

그림 3에 전체회로도 를 나타내었다. 압력센서의 압저항계수는 2장에서 설명 하였듯이 온도에 따라 감소하는 부의 온도계수를 갖기때문에 이를 보상해 주기 위하여 기준전압회로의 출력전압을 확산저항과 동일한 도핑농도로 형성하여 연산증폭기로 증폭해 주면 센서의 공급전원은 양의 온도계수를 갖기때문에 부의 온도계수를 갖는 압저항계수와 상쇄되어 온도에 무관한 출력을 얻을 수 있다. 온도보상된 압력센서의 출

력은 미소전압이므로 차동증폭기로 증폭되고 증폭된 전압은 발진회로를 통과하여 주파수 출력을 갖게 된다. 발진기는 전압-전류 변환기와 CCO(Current-Controlled Oscillator)로 구성되어 있고 압력센서의 출력전압에 따라 주파수가 선형적으로 변한다. 또한 출력주파수의 온도에 따른 변화를 막기위하여 온도보상을 해 주었다.

1. 연산 증폭기

입력단은 입력 임피던스가 높고 입력 바이어스 전류가 적으며, 전류 이득이 높고 출력 임피던스가 낮은 다링톤 회로를 사용 하였다. 또한 다링톤 회로는 부의 공통 신호인 (V_{CM}) 제한이 부의 공급전압($-V_{EE}$)이하로 될 수 있기 때문에 단일 공급전원을 사용할 수 있다.^[9] 출력단은 상보 다링톤 에미터 폴로워 (complementary darlington emitter follower) 회로를 사용하여 하나의 트랜지스터를 사용했을 때 보다 크로스오버 왜곡(crossover distortion)을 최소화시켰다. 즉, 출력단의 전압 이득은 1이고 출력전압 강하가 $2V_T$ 보다 작으면 출력전압의 이득은 1보다 적은 값으로 감소하게 된다.

2. 기준 전압 회로

기준전압 회로의 출력전압은 식(8)로 나타낼 수 있다.^[12]

$$V_{Ref} = V_{BE} + R_5 / R_4 V_T \ln(n) \quad (8)$$

식(8)로부터 기준전압회로 출력의 온도계수는 첫째 항의 베이스-에미터 전압의 온도계수와 두번째 항의 합으로 표시되며 R_4 와 R_5 는 동일한 도핑농도로 형성되어 온도계수가 같으므로 서로 상쇄된다.

기준전압 V_{Ref} 의 온도계수가 $T=300^\circ\text{K}$ 에서 영 이라고 하면 V_{BE} 의 온도계수와 같아야 하므로 식(9)로 표현되고

$$\frac{R_5}{R_4} \frac{K}{q} \ln(n) = -\frac{dV_{BE}}{dT} = \frac{V_{G0} - V_{BE}}{T} + 3\frac{k}{q} \quad (9)$$

$T=300^\circ\text{K}$ 에서 $V_{(G0)}=1.283\text{V}$, $V_T=25.9\text{mV}$, $V_{BE}=0.6\text{V}$ 를 대입하고 $n=2$ 를 대입하면 $R_4=280\Omega$, $R_5=4\text{K}\Omega$ 이다.

출력 전압은 $(1+R_{16}/R_{15})$ 의 이득으로 비반전 증폭되며 R_{16} 은 외부저항이고 R_{15} 는 압력센서의 감지저항과 동일한 도핑농도로 형성되기 때문에 기준전압 회로의 증폭전압은 양의 온도계수를 갖게된다. 그러므

로 부의 온도계수를 갖는 압저항의 온도계수와 상쇄되어 센서의 출력전압은 온도에 무관한 출력을 얻게 된다.

3. CCO(Current Controlled Oscillator)

출력 주파수는 식(10)과 같으며 앞절에서 설계한 기준전압 회로를 이용 하였다.

$$F_{out} = \frac{I}{4CV_{Ref}} \quad (10)$$

출력 주파수는 전압-전류 변환회로를 거친 전류에 비례하며 커패시터 값에 반비례 한다. 커패시터는 외부에서 연결해 주기 때문에 출력 주파수의 온도 드리프트는 전압-전류 변환회로의 온도에 의한 영향만을 포함한다. 이를 보상해 주려면 밴드-갭 기준전압 회로가 양의 온도계수를 갖도록 설계해 주면 된다.

V. 디바이스 제작

1. 공정 조건

공정순서를 그림 4에 나타내었다. 사용된 웨이퍼는 크기가 4-inch, 형태는 P-type으로서 Boron이 도핑되어 있고, 결정 방향은 (100), 비저항이 6-10 $\Omega\cdot\text{cm}$ 두께는 $625 \pm 15\mu\text{m}$ 이다. 먼저 초기 산화막을 7000 \AA 올리고 매몰층(buried layer)을 형성하기위하여 먼저 As를 도핑하여 N+BL층을 형성하고 보론을 도핑하여 P+BL층을 형성한다. N+BL층의 면저항은 18 - 25 Ω/\square 이고 접합 깊이는 4 μm 이다.

매몰층 위에 비저항이 1-2 $\Omega\cdot\text{cm}$ 인 에피층을 20 μm 형성하고 다시 산화막을 7000 \AA 기른후, 절연층을 형성하기 위하여 보론을 도핑한다. 면저항은 4 Ω/\square 이다. 다음으로 베이스 및 저항 확산 공정을 진행한다. 면저항은 160 Ω/\square 이고 접합 깊이는 1.5 - 2 μm 이다. 베이스 확산이 끝나면 에미터 확산 공정을 진행한다. 면저항은 4 - 6 Ω/\square 이고 접합깊이는 트랜지스터의 이득이 150정도가 되도록 조절한다. 다음으로 커패시터를 형성하기 위한 산화막을 1500 \AA 기르고 콘택을 연다. 콘택을 연후, Al을 증착하여 메탈에칭을 하고 350 $^\circ\text{C}$ 에서 30분간 어닐링을 한다. 메탈공정이 끝난후, 보호막을 입히고 래핑 및 폴리싱 공정을 한후, 패드 오픈 및 다이어프্রে임 공정을 진행한다. 그림 5는 칩사진으로 사이즈는 2.96mm x 2.34mm이다.

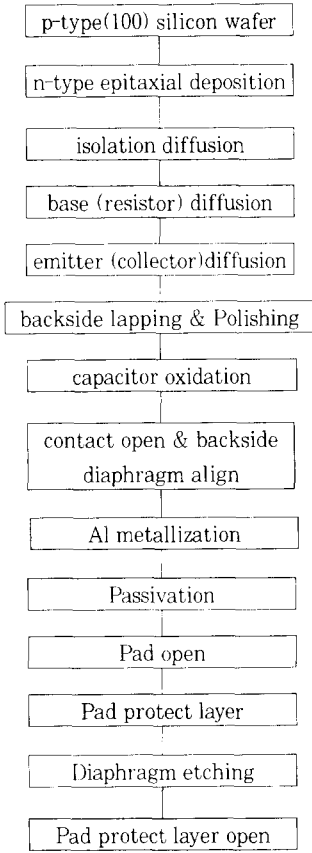


그림 4. 공정 순서
Fig. 4. Process flow chart.

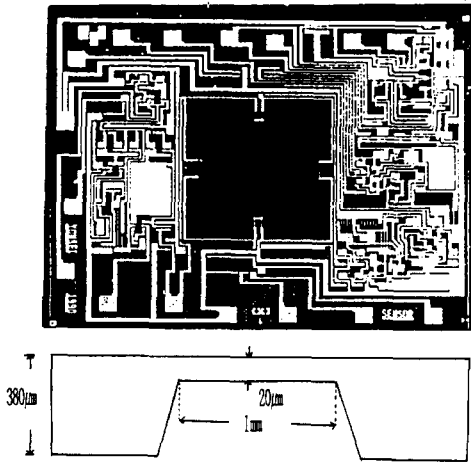


그림 5. 칩 사진(2.96mm × 2.34mm)
Fig. 5. Photomicrography of the chips.

2. 다이어프램 에칭

에칭은 4-inch 웨이퍼가 들어갈 수 있는 비이커에 휘발성 물질에 의한 용액 조성의 변화를 막기 위하여 냉각기로 물을 순환 시켰다. 용액 조성비는 에틸렌 디아민 (Ethylenediamine) 900ml, 파이로카테콜 (Pyrocatechol) 288g, 물 288ml, 피라진 (Pyrazine) 1.8g이고 용액의 온도는 115°C±1°C로 균일하게 유지 하였으며 용액을 균일하게 섞어 주기 위하여 매그네틱 스테어러(magnetic stirrer)를 이용하여 300rpm 정도의 속도로 스테어링 해 주었다. 에칭 비율은 1.38µm/min으로 380µm를 에칭하기 위해서 4시간 30분을 수행하였다. 웨이퍼는 균일 한 다이어프램 막을 얻기 위하여 에칭면이 밑을 향하도록 수평으로 위치 시켰다. 그림 6은 에칭한 표면으로 물결 무늬 모양의 웨이브가 관찰 되었을 뿐 잔유 물질이 없는 깨끗한 면을 얻을 수 있었다.

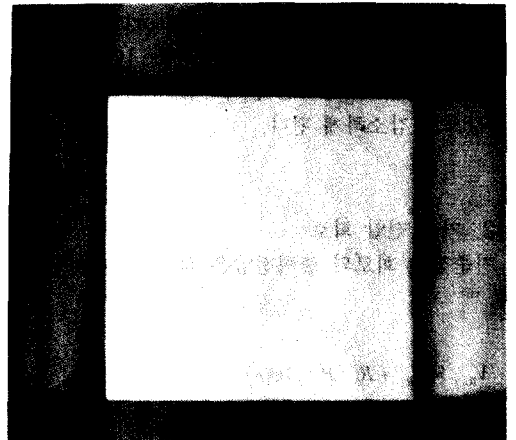


그림 6. 에칭한 표면
Fig. 6. Etched surface.

3. 실리콘-유리 접합

본 연구에서 구성한 실리콘-유리 접합 장비는 그림 7과 같다.

유리에 전압을 인가 할 수 있는 전극 및 전원 공급 장치, sample의 산화를 방지 할 수 있는 챔버 및 질소가스, 주위온도를 잴 수 있는 온도계 및 웨이퍼를 핫척(Hot chuck)에 고정 시킬 수 있는 진공 펌프가 필요하다.

정전 접합을 마친 칩은 스크라이빙을 하고 개별 칩 다이를 TO-8 헤더(header)에 접성이 강한 에폭시로 다이를 부착한후 180 에서 5분간 가열하여 베이킹 하고 와이어 본딩을 한다. 와이어 본딩을 마친 TO-8

헤더의 내형 및 외형은그림 8과 같다. 모두 6핀이고 게이지압 형식으로 위쪽에 압력을 인가할 구멍을 갖는다. 최종적으로 압력 인가 파이프를 갖는 캡을 웰딩(welding)하고 동작 특성을 측정 하였다.

Ⅶ. 측정 및 결과 고찰

압력을 인가했을때의 전체출력은 사각파형으로 나타나며 그림 9는 출력파형으로 압력에 따라 펄스폭이 변하게 되며 공급전압에 대하여 400ppm/V의 변화량을 갖는다. 즉 출력 주파수는 외부커패시터와 기준전압에 반비례하고 전압-전류 변환기를 거친 전류에 비례 하는데 기준전압은 공급 전압에 따라 거의 변하지 않기 때문에 출력파형의 공급전압에 따른 변화는 전압-전류 변환기의 공급전압에 따른 변화에 기인한다.

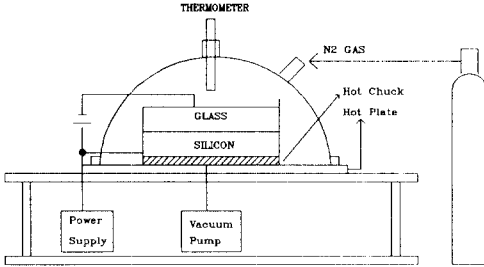
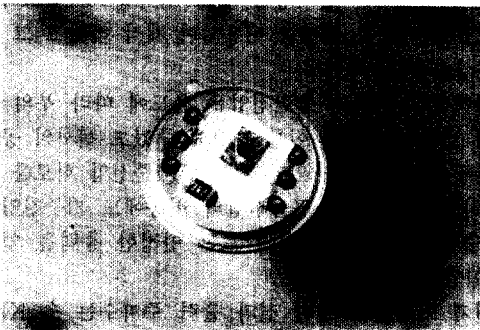
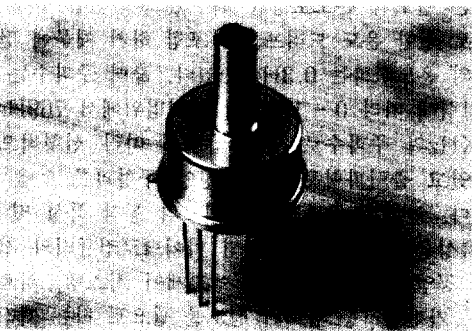


그림 7. 실리콘 - 유리 접합 장비
Fig. 7. Silicon - Glass bonding system.



(a)내부



(b)외부

그림 8. 패키징된 압력센서
Fig. 8. Packaged pressure sensor.

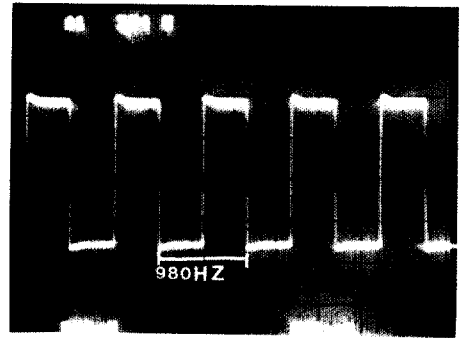


그림 9. 출력 파형
Pressure = 1psi Vcc = 5V
Fig. 9. Output wave-form.

그림 10은 압력에 따른 펄스폭의 변화를 주파수로 나타낸것으로서 아무런 압력을 인가하지 않은 상태에서 769Hz의 값을 갖다가 압력을 인가하게 되면 10psi까지는 선형적으로 변하며 10psi 이상부터 서서히 변하기 시작하여 20 psi이상에서 포화상태에 이르게 된다. 압력에 대한 출력 주파수의 감도는 233Hz/℃였다. 설계시는 0 - 15psi의 압력범위 까지 선형적으로 동작하도록 설계 하였으나 공정시 파라미터값등의 변화로 인하여 동작범위가 줄었다. 전압-전류 변환기의 입력이 0.5V-3V 일때까지 출력 주파수가 변하며 시뮬레이션시는 0.1V-5V의 동작범위를 가졌으나 제작된 칩은 동작범위가 작아졌는데 이는 트랜지스터의 이득오차로 인한 발진회로를 구동하는 바이어스 전류값의 변화에 기인한다. 그림 11은 압력이 1psi일때 출력 주파수의 온도특성을 나타낸다. 온도에 따른 출력 주파수의 변화는 0.3Hz/℃로 압력에 따른 변화보다 훨씬 작기 때문에 압력센서로서 사용이 적합함을 알 수 있다. 표 1은 제작한 압력센서의 동작특성을 나타낸 것이다.

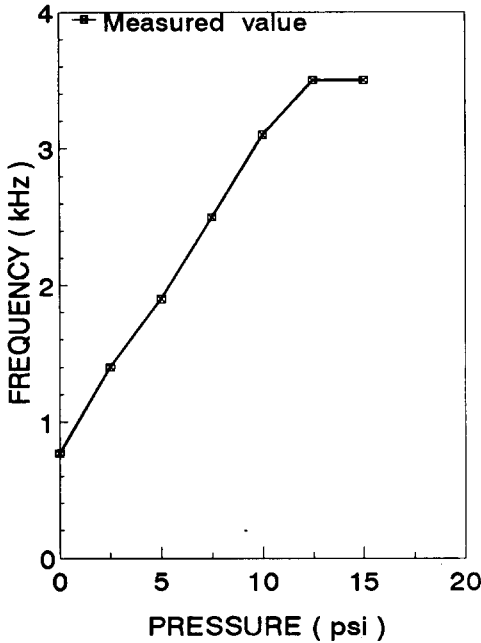


그림 10. 압력에 따른 주파수의 변화
Fig. 10. Output frequency as a function of pressure.

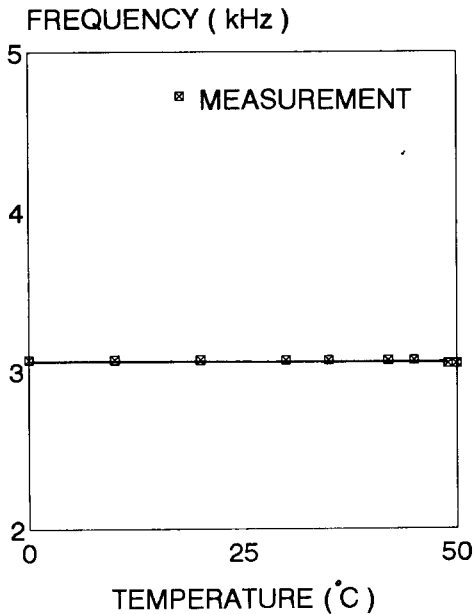


그림 11. 출력 주파수의 온도 특성(Pressure=10psi)
Fig. 11. Temperature characteristics of output frequency. (Pressure=10psi)

표 1. 제작된 압력센서의 특성

Table 1. Characteristics of pressure sensor.

동작 범위	0~10psi
동작 온도	0~50℃
감 도	233Hz/psi
온도 드리프트	0.3Hz/℃
선 형 성	1% <
전 력 소 비	50mW

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 압저항성 압력 센서를 및 신호처리 회로를 바이폴라 공정을 이용하여 제작 하였고 그 동작특성을 측정 하였다.

압력센서 자체의 출력전압은 온도에 따라 부의 특성을 보이기 때문에 이를 보상해 주었고 센서의 공급전압에 따른 영향을 막기 위하여 기준전압 회로를 사용 하였다. 그결과 공급전압의 변동에도 기준전압회로 출력전압의 1%이내에 드는 안정한 출력을 얻을 수 있었다.

전체 회로를 측정한 결과 출력 주파수는 수 KHz 범위의 저주파로서 스위칭 노이즈 및 온도 드리프트, 주파수 드리프트가 적은 안정한 출력을 얻을 수 있었다. 주파수 변환회로는 전압-전류 변환회로와 전류제어 발진기(CCO)로 구성되어져 있는데, 전류제어 발진기는 별도의 온도보상을 해주었으나 전압-전류 변환기로 인한 온도 드리프트를 포함 하기 때문에 전체 회로의 온도변화는 0.3Hz/℃였다. 출력 주파수는 인가 압력에 따라 0 - 10psi의 압력범위에서 769Hz - 3.1KHz의 주파수로 인가 압력에 따라 선형적으로 변화였고 출력파형은 완전대칭인 구형파를 얻을 수 있었다. 앞으로 주파수 변환회로의 동작 특성 및 온도 특성을 좀 더 개선한다면 마이크로컴퓨터와 접속되어 공업용 계측, 자동차 엔진제어 시스템, 의료용 계측, 가전기기등 압력의 정보를 필요로 하는 여러곳에 응용할 수 있으리라 생각한다.

参 考 文 獻

[1] Kurt E.Petersen "Silicon as a

- Mechanical Material" Proceedings of the IEEE, vol. 70, no. 5, PP. 1241-1249, May 1982.
- [2] Ira Baskett, Randy Frank and Eric Ramsland "The Design of monolithic, Signal Conditioned Pressure Sensor ." Motorola Semiconductor Products Inc. 1991.
- [3] John M. Borkey and K.D. Wise "Integrated Signal Conditioning for Pressure Sensor" *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-26, PP. 1906-1910, 1979.
- [4] Hiroshi Tanigawa, Tsutomu Ishihara "MOS Integrated Silicon Pressure Sensor" *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-32, no. 7, PP. 1191-1195, July 1985.
- [5] O.N. Tufte, P.W. Chapman, and D. Long, "Silicon Diffused Element piezoresistive diaphragm", *J. of Appl. phys.*, vol. 333, no. 11, pp. 3322- 3327 1962.
- [6] E. Bassous "Fabrication of Novel Three-Dimensional Microstructures by the Anisotropic etching of (100) and (110) Si" *IEEE trans. on Electron Devices* vol. ED-29, no. 1 pp. 42-48 Jan. 1982.
- [7] E. bassous and E.F Baran "Nozzles by the Anisotropic Etching of (100) Si" *J. of Electrochemical soc.* ED-25, no. 8 pp. 1321-1327 1978.
- [8] Barrie Gilbert "A versatile monolithic voltage-to frequency converter " *IEEE J. of Solid-State Circuits* vol. SC-11, no. 6, Dec. pp. 852-857 1979.
- [9] Gray Mayer "Analysis and design of analog integrated circuits" Wiley 1984.
- [10] Moon Key Lee, Bo Na Lee, Seung Min Jung "A Bipolar Integrated Silicon Pressure Sensor" *Sensor and Actuator*, Vol(A)34 pp. 1-7, 1992.
- [11] Moon Key Lee, Bo Na Lee, Seung Min Jung "Design and Fabrication of integrated Silicon Pressure Sensor." *KITE Journal of Electronic Engineering*, vol. 2, no. 1, 1992.
- [12] "산업기계 자동화를 위한 압력감지기 개발" 최종보고서, 한국과학재단, 연세대학교 1992. 10.
- [13] R.M. Finne and D.L. Klein "A Water amine complexing agent system for etching silicon" *J. of Electrochemical soc.* vol. 1145, no. 9, Sec. 1967
- [14] KI-WON Lee and K.D Wise "SENSIM: A simulation program for Solid-State pressure sensors" *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-29, no. 1 pp. 34-41, Jan, 1982.
- [15] K. Suzuki, T. Ishihara, M. Hirata and H. Tanigawa "Nonlinear analysis on CMOS integrated silicon pressure sensor." *IEDM '85*, PP. 137 - 140.

著 者 紹 介



李 甫 那(正會員)

1966年 4月 28日生. 1988年 2月 연세대학교 의용공학과 졸업(학사). 1990年 8月 연세대학교 대학원 전자공학과(석사). 1990年 9月 - 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야는 집적화된 압력센서 및 가속도 센서 등임



李 英 俊(學生會員)

1968年 9月 2日生. 1992年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(학사) 1992年 3月 - 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 주관심 분야는 집적화된 압력센서, 가속도센서 등임



鄭 承 閔(準會員)

1968年生. 1990年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사) 1992年 3月 - 현재, 삼성전자 기흥 ASIC팀 연구원. 주관심 분야는 압력센서, 신호처리회로

등임

李 文 基(正會員) 第 30卷 B編 第 2號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수.