

논문 94-3-3-07

## 실리콘 직접 접합 / 전기화학적 식각정지를 이용한 실리콘 다이아프램의 형성과 실리콘 압력센서 제조에의 응용

주병권, 하병주\*, 김근섭, 송만호, 김성환\*, 김철주\*, 차균현\*\*, 오명환

### Formation of Silicon Diaphragm Using Silicon-wafer Direct Bonding / Electrochemical Etch-stopping and Its Application to Silicon Pressure Sensor Fabrication

B.K.Ju, B.J.Ha\*, K.S.Kim, M.H.Song, S.H.Kim\*, C.J.Kim\*, K.H.Tchah\*\* and M.H.Oh

#### 요 약

실리콘의 직접 접합 방법과 2단계 전기화학적 식각 정지 방법을 이용하여 새로운 구조의 실리콘 다이아프램을 제조하였다. 이러한 다이아프램 구조를 기계량 센서에 이용하면 공동의 깊이와 다이아프램의 두께를 보다 정교하게 조절할 수 있다. 또한, 접합 계면에서 발생하는 응력이 다이아프램의 표면으로 전달되는 것을 피할 수 있다. 최종적으로, 제조된 다이아프램을 이용하여 압저항형 실리콘 압력 센서를 제작하였고 압력 단위의 표시가 가능한 디지털 압력 측정기를 구현하였다.

#### Abstract

A new type of Si diaphragm was fabricated using Si-wafer direct bonding and two-step electrochemical etch-stopping methods. Using the new diaphragm structure in mechanical sensors, more precise control of cavity depth and diaphragm thickness was achievable. Also, the propagation of the stress, which was generated near the bonding interface, to the surface can be avoided. Finally, a piezoresistive-type Si pressure sensor was fabricated utilizing the diaphragm and a digital pressure gauge, which can display units of pressure, was realized.

#### 1. 서 론

실리콘 직접 접합(silicon-wafer direct bonding: SDB) 방법은 SOI(silicon-on-insulator) 분야 이외에도 압력 센서, 가속 센서등과 같은 실리콘 마이크로 센서를 제작하는데 있어서 널리 이용되고 있다[1-3].

일반적으로 실리콘 압력 센서는 그림 1(a)에 보인 바와 같이 웨이퍼의 앞면에 감압 저항(pressure sensing resistor)을 구성한 후, 뒷면으로부터 깊은 비등방성 식각을 행하여 실리콘 다이아프램을 형성함으로써 제작된다. 반면에 그림 1(b)에 보였듯이 SDB 방법을 이용하게 되면 센서 칩의 크기가 줄어들고, 과압(over-pressure)에 의해 다이아프램이 파괴되는 것을 방지할 수 있으며, 아울러 다이아프램을 형성한 후에 센서 회로 공정을 행할 수가 있어 센서의 일괄 제조가 용이해지는 등의 여러 잇점들이 있다.

그러나 이 경우에는 두 장의 실리콘 기판이 잘 정렬되지 않고 접합되었거나 혹은 불완전하게 접합되었을 때 접합 계면 부위에서 발생할 수 있는 응력들이

한국과학기술연구원 정보전자연구부  
(Div. Electronics and Information Technology, KIST)  
\* 서울시립대학교 전자공학과  
(Dept.Electronic Engineering, Seoul City University)  
\*\* 고려대학교 전자공학과  
(Dept.Electronic Engineering, Korea University)  
<접수일자 : 1994년 7월 14일>

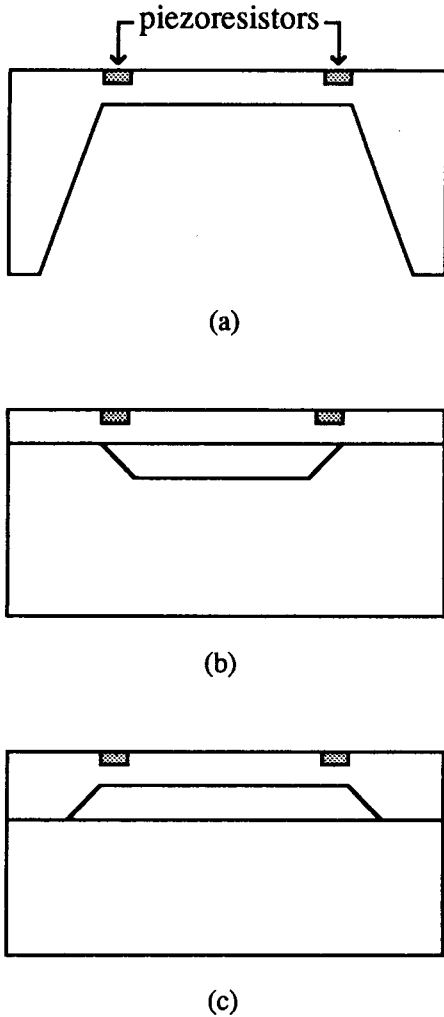


그림 1. 실리콘 다이어프램을 갖는 압력센서 칩의 구조.  
 (a) 깊은 비등방성 식각에 의해 형성된 구조  
 (b) 일반적인 직접 접합 및 박판화에 의해 형성된 구조  
 (c) 본 연구에서 고안된 구조

Fig 1. Silicon pressure sensor chips having thin diaphragm made by

(a) deep anisotropic etching, (b) typical direct bonding and thinning, and (c) the new method devised in this work.

다이어프램의 가장자리에 영향을 미칠 수 있는 소자가 있다. 이는 특히 감압 저항들이 다이어프램의 가장자리에 위치하는 압저항형 센서에 있어서 보다 심각한

문제가 될 것으로 추측된다. 따라서 본 연구에서는 그림 1(c)에 보인 바와 같이 다이어프램의 가장자리 부위가 접합 계면으로부터 격리된 구조를 고안하였으며, 아울러 전기화학적 식각 정지 방법을 적용하여 기준 공동의 깊이와 다이어프램의 두께를 더욱 정밀하게 조절할 수 있는 접합 및 식각 방법을 창안하여 보았다.

또한 본 연구를 통해 제조된 새로운 구조의 다이어프램을 이용하여 압저항형 실리콘 압력 센서를 제작하였고, 센서 소자를 간단한 주변 신호 처리 회로를 구성한 인쇄 회로 기판상에 탑재하여 디지털 압력 측정기로의 성능을 평가하여 보았다.

## II. 기준 공동을 갖는 실리콘 다이어프램의 형성

### II-1. 첫번째 전기화학적 식각에 의한 얇은 공동의 형성

그림 2에 보인 바와 같이 n형 및 p형 에피택셜층이 교대로 성장되어 있는 p형 (100) 실리콘 웨이퍼를 소자가 형성될 능동 기관(active substrate)으로 사용하였다. 이때 n형과 p형 에피층의 두께는 각각 제작될 다이어프램의 두께와 공동의 깊이에 해당한다. p형 에피층상에 500Å 두께의 열산화막을 성장시키고 사진 식각 공정을 행하여 크기 1x1mm<sup>2</sup>의 정사각형 창(window)을 만든다. 뒷면의 산화막을 벗겨내고 2000Å 두께의 알루미늄 전극을 증착하여 그림 2와 같은 시편을 완성한다.

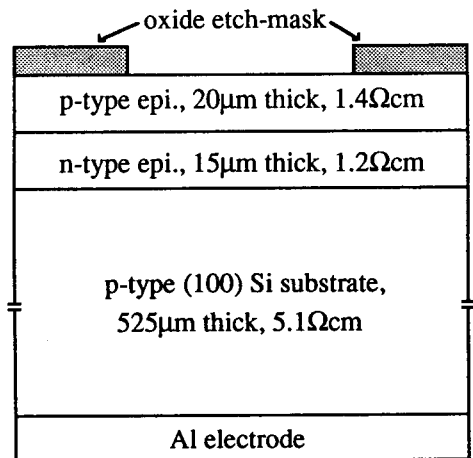


그림 2. 첫번째 전기화학적 식각될 '능동 기관'의 명세.  
 Fig.2 Specification of the 'active substrate' to be electrochemically etched for the first time.

이상과 같이 준비된 시편은 그림 3과 같은 전기화학적 식각 장치내에 넣고 식각을 행하였다. ethylenediamine (4275ml), pyrocatechol(1368gr), water(1368gr), 그리고 촉매로서 pyrazine(25.65gr)이 첨가된 'F-etchant' 용액 [4,5]을 식각용액으로 사용하였으며 250cc/min의 질소 bubbling을 행하였다. 식각 정지용 바이어스로서 +1.8V의 전압을 정전압원으로부터 알루미늄 전극을 통해 p형 기판에 인가하였고 용액의 온도는 115°C로 조절하였다.

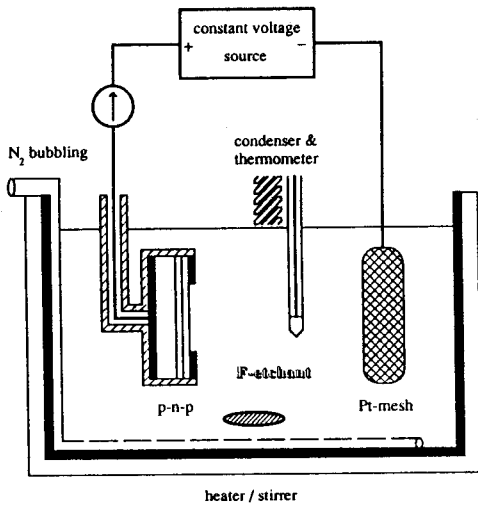


그림 3. 전기화학적 식각 장치.  
Fig. 3. The electrochemical etching system.

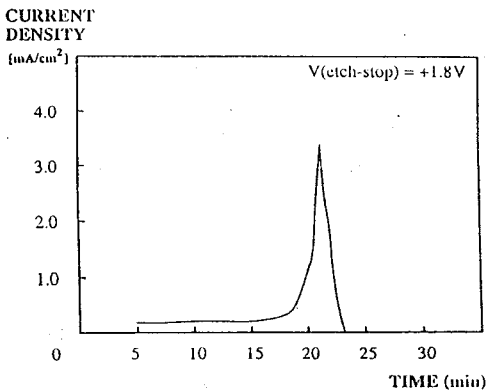


그림 4. 전기화학적 식각이 이루어지는 동안에 측정된 전류 파형.  
Fig. 4 Measured current curve during the electrochemical etching.

그림 4는 식각이 이루어지는 동안 관찰된 전류 파형으로 이러한 형태의 파형들은 KOH-H<sub>2</sub>O 용액이나 N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O 용액을 이용하여 전기화학적 식각을 행할 경우에도 일반적으로 관찰된다[6-9]. 시편을 용액내에 넣은 후의 초기 2-3분간은 식각될 표면상에 존재하는 자연 산화막으로 인해 전류가 흐르지 않는다. 약 5분 정도에 이르면 p형 에피층이 식각되면서 표면에서 수소 기포가 발생하기 시작하고 전류치가 대략 0.2mA/cm<sup>2</sup>에 이른다. 이는 n형 에피층과 p형 에피층으로 이루어지는 n-p 접합을 가로질러 흐르는 역방향 전류로, 전압 강하가 대부분 n-p 접합의 공핍층내에서 일어남을 알 수 있다. 20분 정도의 시간이 경과하게 되면 전류치가 피크치인 3.3mA/cm<sup>2</sup>까지 급격히 증가하게 되는데, 이는 용액에 노출된 p형 에피층이 완전히 식각되어 순방향 바이어스된 p형 기판-n형 에피층을 통해 다이오드의 순방향 전류가 흐르기 시작함을 의미한다. 이로 인해 n형 에피층의 표면에 양극 산화막이 형성되기 시작하고 이는 식각 용액에 대해 식각 마스크로 작용하게 된다[6]. 이후로 1분도 채 안되어 전류치는 0으로 감소하게 되고 실리콘의 식각이 정지됨에 따라 수소 기포도 더이상 발생하지 않는다.

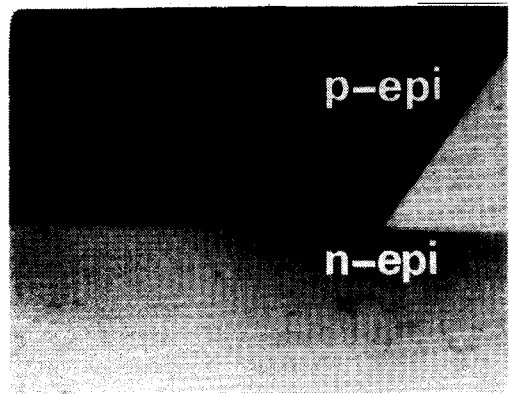


그림 5. 식각 정지후 화학적으로 묘사된 얇은 공동 영역.  
Fig. 5. The stained shallow cavity after etching-stopping.

식각 정지가 일어난 영역을 관찰하기위해 공동이 형성된 능동 기판을 2°52'의 각도로 경사 연마한 뒤 (CuSO<sub>4</sub>+5H<sub>2</sub>O)0.8gr : HF 1ml : H<sub>2</sub>O 100ml용액내에 담귀 p형 영역과 n형 영역을 구분하여 보았다. 그림 5에서 알 수 있듯이 식각 정지 지점은 정확히 n형 에피층과 p형 에피층간의 계면이 됨을 확인할 수 있다.

**II-2. 능동 기판과 지지 기판(supporting substrate)간의 직접 접합**

상술한 공정에 의거하여 1x1 mm<sup>2</sup> 크기와 20 μm 깊이를 갖는 얇은 공동(shallow cavity)이 형성된 '능동 기판'을 p형 '지지 기판'과 직접 접합을 행하였다. 즉, 두 장의 기판을 RCA 방법으로 세척한 뒤 57°C의 6H<sub>2</sub>O+1H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+4NH<sub>4</sub>OH 용액내에 2분간 담구어 기판의 표면에 hydrophilic 층을 형성하였다. 다음으로 기판을 DI water로 헹구고 spin dryer로 건조시킨 뒤 상온에서 수소 결합에 의한 접합을 일어나게 하였다. 비교적 약하게 접합된 기판 쌍들은 1100°C, 질소 분위기내에서 90분간 열처리하여 접합 강도를 강화시켰는데 이로 인해 접합 강도는 165kg/cm<sup>2</sup>에 이르게 된다[10]. 그림 6은 상술한 공정을 거쳐 제작된 얇은 공동과 접합 계면 부분을 보인 것이다.

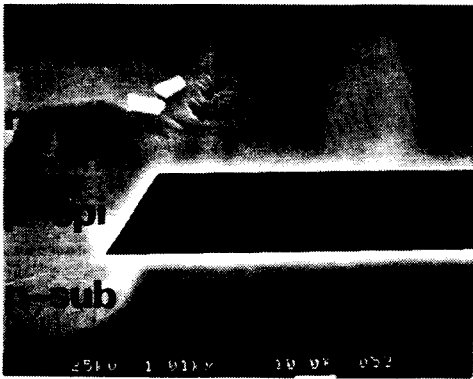


그림 6. '능동 기판'과 '지지 기판'간의 직접 접합후의 시편의 단면도.

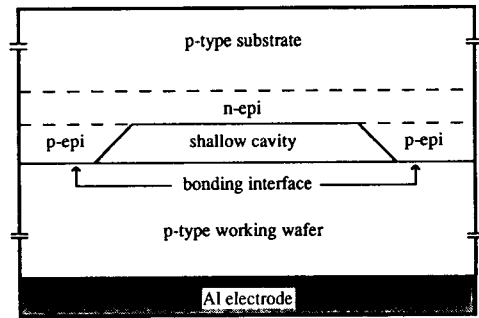
Fig. 6. Sample cross-section after direct bonding between the 'active' and 'supporting' substrates.

**II-3. 두번째 전기화학적 식각을 이용한 다이아프램의 제작**

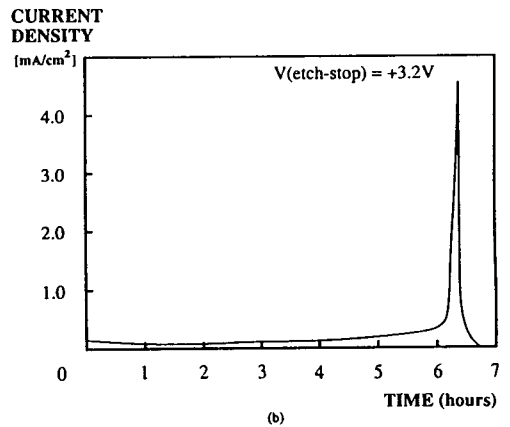
이상과 같이 접합된 기판 쌍은 두 번째 전기화학적 식각을 수행하기 위해 그림 7(a)에 보인 바와 같이 준비되었다. 즉, 식각 정지용 바이어스를 인가하기 위해 알루미늄 전극을 '지지 기판'의 뒷부분에 증착하였고 이를 역시 그림 3과 같은 식각 장치에 넣고 전기화학적 식각을 행하였다. 식각 정지용 바이어스는 접합 계면 및 '지지 기판'의 bulk내에서의 전압 강하를 고려하여 첫 번째 경우에 비해 다소 증가한 +3.2V로 설정되었다. 식각이 이루어지는 동안의 전류 파형은 그림

7(b)에 보인 바와 같이 첫 번째 전기화학적 식각시 측정된 결과와 유사한 성향을 보이고 있다.

즉, 전류의 경로는 "알루미늄 전극-p형 지지 기판-접합 계면-기준 공동을 둘러싼 p형 에피층-n형 에피층-p형 능동 기판-식각 용액-백금 음극"으로 이루어지며, 따라서 전위 장벽은 '능동 기판'내의 n형 에피층-p형 기판의 계면에서 존재하게 된다. 그러므로 식각 정지는 앞서 II-1절에서 설명하였듯이 p형 기판이 완전히 식각된 후 n형 에피층의 표면에서 일어나게 된다.



(a)



(b)

그림 7. (a) 두 번째 전기화학적 식각용 시편의 모양 (b) 식각 동안에 관찰된 전류 파형

Fig. 7. (a) Sample illustration for the second electrochemical etching

(b) Current curve observed during the etching

그림 7(b)의 전류 파형을 관찰해 보면 약 385분후에

전류 피크가 발생함을 알 수 있는데 이는 본 실험에서 사용한 식각 용액의 (100) 실리콘에 대한 식각율이  $81 \mu\text{m/hr}$ 임을 고려할 때[4], n형 에피층에 이르기 전까지는 정상적인 화학적 식각이 일어났음을 추측할 수 있다. 첫번째 전기화학적 식각을 수행하였을 경우에 비해 식각 정지용 바이어스가 증가하였으므로 피크 전류 밀도도  $4.5\text{mA/cm}^2$ 으로 증가하였음을 알 수 있다. 식각 종료후 n형 에피층 상에 형성된 양극 산화막의 두께와 굴절율을 엘립소메터로 측정한 결과 각각  $99\text{\AA}$ 과 1.45로 나타났다.



그림 8. 제조된 실리콘 다이아프램의 모서리에 대한 SEM 사진.

Fig.8. Scanning electron micrograph of the corner of the fabricated Si diaphragm.

그림 8은 이상의 공정을 거쳐 제작된 얇은 공동이 있는 실리콘 다이아프램의 한 쪽 모서리를 나타낸 것이다. 다이아프램의 두께를 측정한 결과 기대치인  $15 \mu\text{m}$ 를 약간 상회하는  $15.9 \mu\text{m}$  정도로 나타났는데 이는  $1100^\circ\text{C}$ , 90분간의 고온 열처리시 n형 에피층과 p형 에피층의 계면에서 불순물 재분포가 일어나 식각 정지점이 이동한 결과로 추측된다. 아울러 buffered HF 용액으로 양극 산화막을 제거한 후에 다이아프램의 표면에서 약간의 흰색 잔유물[5,11]과 orange peel 현상

[12]이 관찰되었다. 이와 같이 불완전한 표면 현상을 제거하고 다이아프램의 두께를 정확히 맞추기위해 표면을 Syton polishing하여[12],  $1 \mu\text{m}$  두께의 실리콘을 제거하였다. 그림 9는 최종적으로 표면 처리가 완료된 실리콘 다이아프램의 표면에 대한 AFM(atomic force microscopy) image로 평균 거칠기가  $5.29\text{\AA}$ 으로 측정되어 균일한 표면 특성을 확인할 수 있다.

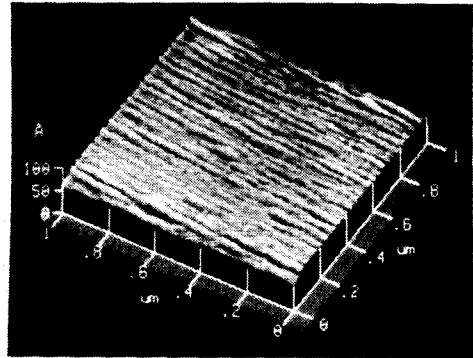


그림 9. 최종적인 연마 후 다이아프램의 표면에 대한 AFM image.

Fig. 9. AFM image of the diaphragm surface after final polishing step.

### III. 압저항형 실리콘 압력 센서 및 이를 이용한 디지털 압력 측정기의 제작

#### III-1. 센서 소자의 제작 및 특성 평가

본 실험을 통하여 제조된 압저항형 실리콘 압력 센서 소자는 상술한 공정을 통하여 제작된 실리콘 다이아프램상에 이미 발표된 앞면 회로의 공정 방법을 그대로 적용하였다[13].

즉, 제조된 다이아프램에 대해 세척 공정을 거치고  $1500\text{\AA}$  두께의 습식 열산화막을 성장시킨 뒤, 사진 식각 공정을 통해 폭  $20 \mu\text{m}$ , 길이  $200 \mu\text{m}$  크기의 붕소 확산 저항 패턴을 휘트스톤 브리지 구조를 갖도록 다이아프램의 가장자리에 형성하였다. 이때 다이아프램의 변에 수직인 저항 패턴은 응력 평균 효과(stress averaging effect)를 고려하여 저항의 길이 방향으로  $100 \mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 패턴을 각각 두 개씩 형성하였다[14]. 형성된 저항 패턴에 붕소를 확산하기 위해 Carborundum BN-1100 고체 확산원을 사용하여

1000°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 30분간 사전 증착한 뒤, BHF 처리-습식저온산화-BHF 처리를 거쳐 붕소 스킨을 제거하였다. 다음으로 이를 1100°C, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 분위기에서 60분간 drive-in을 하여 면저항  $R_s = 200 \Omega/\square$ , 접합 깊이 2 μm인 붕소 확산 저항을 형성하였다. 다음으로 산화막을 제거한 후 다시 1000 Å 두께의 건식 열산화막을 성장시켜 사전 식각 공정에 의해 접촉 창을 형성하였다. 금속 전극용으로 7000 Å 두께의 알루미늄 전극을 증착한 뒤 확산 저항들이 브리지 형태로 연결되도록 패터닝하여 소자를 완성하였다.

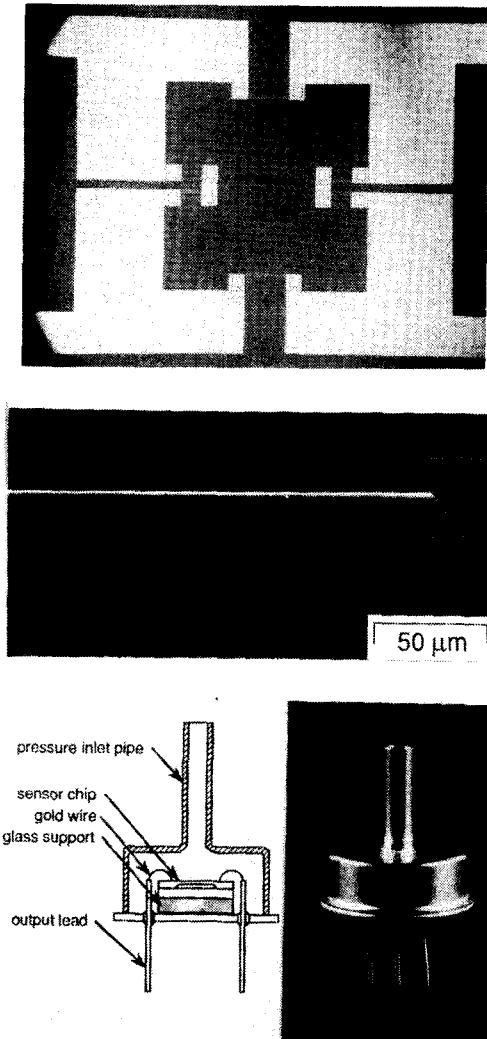
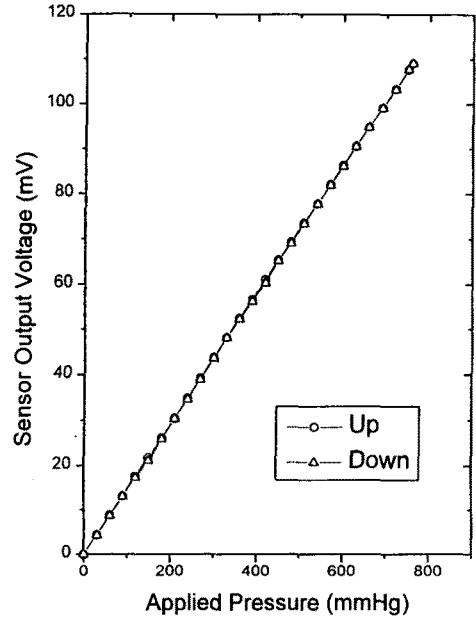


그림 10. 제조된 압력 센서의 앞면(a), 단면(b), 그리고 패키징 후의 모양(c).

Fig. 10. Front-side(a), cross-section(b) and packaged shape(c) of the fabricated pressure sensor.

제작된 센서 칩은 실리콘과 가장 유사한 열팽창 계수를 갖는 Corning 7070 glass와 정전 열 접합을 행한 뒤 TO-5 base상에 마운팅하여 와이어 본딩을 하고 지름 3.5φ의 압력인가용 파이프가 있는 캡으로 최종 패키징하였다. 이상의 공정을 거쳐 제작된 압력 센서 칩의 앞면과 단면, 그리고 패키징된 모양을 각각 그림 10의 (a), (b), (c)에 나타내었다.



지시방식	게이지압
정격압력범위	0 - 760 mmHg
정격출력범위	0 - 109 mV
감도	28.68 μm/VmmHg
비직선성	최대 0.71% FS
히스테리시스	최대 0.64% FS
인가전원	5V DC
영점전압	15 mV
브리지저항	2000 ± 100 Ω

그림 11. 압력 센서의 출력 특성(a) 및 규격(b).

Fig. 11. Output characteristics(a) and specification(b) of the pressure sensor.

패키징이 완료된 압력 센서는 앞서 보고한 바와 같은 특성 측정 장치를 이용하여 평가되었다[13]. 압력 인가원으로 질소를 30mmHg 단위로 센서에 가해지도록 하였으며 전원으로는 5V의 직류 전압을 두 단자에 인가하였다. 그림 11(a)에 대기압을 기준(0 mmHg)으로 하여 +760 mmHg까지 압력을 증가시킨 후 다시 역으로 감소시키면서 얻어진 출력 전압의 변화를 나타내었으며 이로부터 추출된 주요 특성들을 그림 11(b)에 간단히 정리하여 보았다.

**III-2. 디지털 압력 측정기예의 응용**

반도체 압력 센서를 이용한 디지털 압력 측정기를 구현하기 위해서는 구동 회로, 증폭 회로, 영점 및 감도 조정회로, 아날로그-디지털 변환 회로, 온도 및 비직선성 보상 회로등이 필요하게 된다[15-18]. 본 연구에서는 제작된 센서를 주변 신호처리회로가 구성된 PCB 기판상에 탑재하여 하이브리드형 디지털 압력 측정기를 제작 평가하여 보았다.

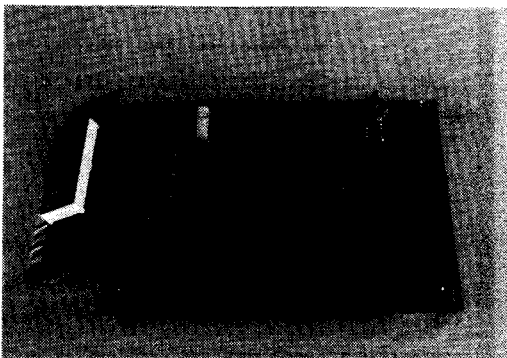
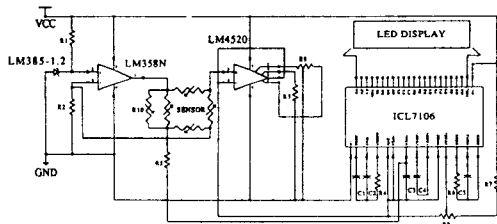


그림 12. 제작된 디지털 압력 측정기의 회로도(a) 및 모양(b).

Fig. 12. Circuit diagram(a) and shape(b) of the fabricated digital pressure gauge

본 측정기의 회로도는 그림 12(a)에 보인 바와 같다.

센서의 구동 회로로 기준전압 회로(voltage reference LM385-1.2V)와 증폭 회로(OP amp. LM358)를 이용하여 전압-전류 변환부를 구성하여 이로부터 센서를 구동하는 1.5mA의 정전류가 공급되도록 하였다. 가변 저항 R10은 브리지 저항들간의 불평형을 보정하기 위해 부착되었다.

센서로부터 얻어지는 출력은 영점조정 회로(OP amp. LM4250)을 거쳐 아날로그-디지털 변환기(ICL7106)로 전송되며, 이 A/D 변환기는 기준 전원과 클럭 발진기 및 디코더/드라이버를 내장하여 7-segment LED나 LCD 표시기를 직접 구동한다.

센서의 감도는 가변저항 R8에 의해 조절되는데 이로서 각 센서의 정격 압력 범위에 맞는 full scale이 설정된다. 즉, A/D 변환기의 입력 단자와 REF 단자 각각에 입력되는 전압치가 같을 때 LED 표시기상에 센서의 정격 압력 범위의 최대치가 표시된다.

이상의 신호처리용 기판은 다양한 동작 범위를 갖는 센서들이 탑재될 수 있으며 출력의 영점 조정, 신호의 증폭, 그리고 mmHg 단위의 압력 표시가 가능하다. 제작된 하이브리드형 디지털 압력 측정기를 그림 12(b)에 보였다.

**IV. 결론**

본 논문에서는 전기화학적 자동식각정지와 직접접합 방법을 이용하여 실리콘 다이아프램을 만드는 새로운 방법이 소개되었으며, 아울러 이를 이용하여 실리콘 압력 센서와 디지털 압력 측정기까지 제작하여 보았다. 소개된 실리콘 구조는 기존의 다이아프램 구조와 비교할 때 공정이나 응용면에서 여러 장점을 부여할 수 있을 것으로 생각되며 직접 접합을 통해 이루어진 실리콘 기판 쌍들에 대해서도 전기화학적 식각과 같은 벌크 마이크로머시닝 공정이 부합될 수 있음을 확인하였다. 물론 이러한 현상을 구체적으로 규명하기 위해서는 접합 계면에 존재하는 과도 현상들이나 불규칙적인 재료적 특성들이 전위 장벽의 형성에 어떻게 작용하는가에 관한 연구도 수반되어야 할 것이다. 이와 같이 직접 접합-전기화학적 식각-기계적 연마등을 거친 구조물상에 감압 저항을 구성하여 압력센서를 제조하였고 간단하나마 시스템 차원의 압력 측정기를 꾸며봄으로써 소자의 재료적인 면에서 응용적인 면에 이르기까지의 과정을 답습한 점에서도 연구의 활용 가치를 찾

을 수 있다하겠다. 본 연구에서 고안된 공정들은 압력 센서의 일괄 제조에 적합하도록 4인치 실리콘 웨이퍼 상에 다수의 균일한 다이아프램을 형성하도록 보완 연구되고 있으며, 아울러 beam이나 bridge, plate와 같은 여타 미세 구조물에도 응용할 수 있을 것으로 생각된다. 디지털 압력 측정기의 경우, 온도 보상이나 비직선성 보상 기능은 부가되지 않았으나 온도 보상의 경우 감압 저항과 동일한 규격의 확산 저항을 칩상에 함께 형성하여 그 보상 작용을 평가하고 있으며 비직선성 보상의 경우 외부 회로에 적당한 전류 혹은 전압 제환-증폭 회로를 부가한다면 용이하게 해결될 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] L.Christel, K.Petersen, P.Barth, F.Pourahmadi, J.Mallon, JR and J.Bryzek, "Single-crystal silicon pressure sensors with 500x overpressure protection," *Sensors and Actuators*, vol.A21-A23, pp.84-88, 1990.
- [2] K.Petersen, J.Brown, T.Vermeulen, P.Barth, J.Mallon, JR and J.Bryzek, "Ultra-stable, high-temperature pressure sensors using silicon fusion bonding," *Sensors and Actuators*, vol.A21-A23, pp.96-101, 1990.
- [3] P.W.Barth, "Silicon fusion bonding for fabrication of sensors, actuators, and microstructures," *sensors and actuators* vol.A21-A23, pp.919-926, 1990.
- [4] A.Reisman, M.Berkenblit, S.A.Chan, F.B.Kaufman, and D.C.Green, "The controlled etching of silicon in catalyzed ethylenediamine-pyrocatechol-water solutions," *J.Electrochem.Soc.*, vol.126, no.8, pp. 1406-1415, 1979.
- [5] X.-P.Wu, Q.-H Wu and W.H.Ko, "A study on deep etching of silicon using ethylenediamine-pyrocatechol-water," *Sensors and Actuators*, vol.9, pp.333-343, 1986.
- [6] M.Hirata, S.Suwazono and H.Tanigawa, "Diaphragm thickness control in silicon pressure sensors using an anodic oxidation etch-stop," *J.Electrochem. Soc.*, vol.134, no.8, pp.2037-2041, 1987.
- [7] R.L.Gealer, H.K.Karsten, and S.M.Ward, "The effect of an interfacial P-N junction on the electrochemical passivation of silicon in aqueous ethylenediamine-pyrocatechol," *J.Electrochem. Soc.*, vol.135, no.5, pp.1180-1183, 1988.
- [8] B.Kloeck, S.D.Collins, N.F.DE Rooji, and R.L.Smith, "Study of electrochemical etch-stop for high-precision thickness control of silicon membranes," *IEEE Tr.Electron Devices*, vol.36, no.4, pp.663-669, 1989.
- [9] Y.P.Xu and R.S.Huang, "Anodic dissolution and passivation of silicon in hydrazine," *J.Electrochem. Soc.*, vol.137, no.3, pp.948-953, 1990.
- [10] B.K.Ju, M.H.Oh and K.H.Tchah, "Interfacial oxide growth and filling-up behaviour of the micro-gap in silicon fusion bonding processes," *J.Materials Science*, vol.28, pp.1168-1174, 1993.
- [11] B.K.Ju, B.J.Ha, C.J.Kim, M.H.Oh and K.H.Tchah, "Microscopy studies for the deep-anisotropic etching of (100) Si wafers," *Jpn.J.Appl.Phys.*, vol.31, no.11, pp.3489-3494, 1992.
- [12] J.Haisma, G.A.C.M.Spierings, U.K.P.Biermann and J.A.Pals, "Silicon-on-insulator wafer bonding-wafer thinning technological evaluations," *Jpn.J. Appl.Phys.*, vol.28, no.8, pp.1426-1443, 1989.
- [13] 주병권, 이명복, 이정일, 김형곤, 강광남, 오명환, "소형 Si 압력센서의 제작 및 특성 평가," *전자공학회논문지*, 제27권, 11호, pp.62-68, 1990.
- [14] K.W.Lee and K.D.Wise, "SENSIM: A simulation program for solid-state pressure sensors," *IEEE Tr.Electron Devices*, vol.ED-29, no.1, pp.34-41, 1982.
- [15] J.M.Borky and K.D.Wise, "Integrated signal conditioning for silicon pressure sensors," *IEEE Tr.Electron Devices*, vol. ED-26, no.12, pp.1906-1910, 1979.
- [16] H.Tanigawa, T.Ishihara, M.Hirata, and K.Suzuki, "MOS integrated silicon pressure sensor," *IEEE Tr.Electron Devices*, vol.ED-32, no.7, pp.1191-1195, 1985.
- [17] T.Ishihara, K.Suzuki, S.Suwazono, M.Hirata, and H.Tanigawa, "CMOS integrated silicon pressure



sensor," IEEE J.Solid-State Circuits, vol.SC-22, no.2, pp.151-156, 1987.

[18] H.-L.Chau and K.D.Wise, "An ultraminiature

solid-state pressure sensor for a cardiovascular catheter," IEEE Tr. Electron Devices, vol.35, no. 12, pp.2355-2362, 1988.

著 者 紹 介

**朱 炳 權**

『센서학회지 제3권 제1호』 논문 94-3-1-02, p.7 참조.  
현재 KIST 정보전자연구부 연구원 및 고려대학교 전자공학과 박사과정

**河 炳 柱**

1967년생. 1991년 서울시립대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1993년 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1993년 - 현재 주식회사 카스 연구소 연구원 및 서울시립대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야 : 마이크로머시닝, 실리콘 센서 등.



**金 根 燮**

1965년생. 1989년 연세대학교 의용 공학과 졸업(공학사) 1991년 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사) 1991년 - 현재 KIST 정보전자연구부 연구원. 주관심 분야 : 생체신호처리, 화상처리, 생체신호 감지용 센서 등.

**吳 明 煥**

센서학회지 제3권 제1호 논문 94-3-1-02, p.7 참조.  
현재 KIST 정보전자연구부 책임연구원 및 정보소자 센터 센터장

**宋 滿 鎭**

1967년생. 1990년 연세대학교 세라믹공학과 졸업(공학사) 1992년 8월 연세대학교 대학원 세라믹공학과 졸업 (공학석사) 1992년 9월 ~ 현재 연세대학교 대학원 세라믹공학과 박사과정. 주관심 분야 : 강유전성 절연 박막 공정 등.

**金 成 煥**

1952년생 1975년 연세대학교 전기공학과 졸업 1980년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사) 1982년 - 현재 서울시립대학교 전자공학과 교수  
주관심 분야 : 디지털 신호 처리, 디지털 제어, 의용전자 등.

**金 鐵 柱**

센서학회지 제3권 제1호 논문 94-3-1-02, p.7 참조.  
현재 서울시립대학교 전자공학과 교수

**車 均 鉉**

센서학회지 제3권 제1호 논문 94-3-1-02, p.7 참조.  
현재 고려대학교 전자공학과 교수