

## TPMS 적용을 위한 가변 정전 용량형 압력센서 개발

최범규<sup>†</sup> · 김도형 · 오재근

### The development of a variable capacitive pressure sensor for TPMS(tire pressure monitoring system)

Bumkyoo Choi<sup>†</sup>, Do Hyung Kim, and Jae-geun Oh

#### Abstract

In this study, a variable capacitive pressure sensor is fabricated for TPMS (Tire Pressure Monitoring System). This study is for developing sensors which consecutively measure the tire pressure given as 30 psi from the industrial standard. For improving non-linearity of the prior capacitive pressure sensors, it is suggested that touch mode capacitive pressure sensor be applied. In addition, initial capacitance is designed as small as possible for the conformity to the wireless sensor. ANSYS, commercial FEA package, is used for designing and simulating the sensor. The device is progressed by MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) fabrication and packaged with PDMS. The result is obtained sensitivity, 1 pF/psi, through a pressure test. The simulation result is discrepant from experiment one. Wafer's uniformity is presumed as the main reason of discrepancy.

**Key Words** : TPMS, MEMS, capacitive pressure sensor, FEA

#### 1. 서 론

TPMS(tire pressure monitoring system)는 4개의 자동차 타이어의 공기압을 주행 중 실시간으로 모니터링 하는 장치로 타이어 압력을 체크할 수 있는 안전장치의 일종이다. 이는 포드사의 스포츠용 차량인 익스플로러에 장착된 피어스톤 타이어가 잇단 파열사고로 미국에서만 200명 이상이 사망하고 문제의 타이어 650만 개가 리콜된 데 따른 것이다. 미국 의회는 앞서 교통부에 타이어 안전 규정을 만들도록 지시했다. 때문에 현재 북미 수출용 차량에 TPMS를 장착하는 것이 새로운 이슈로 등장하였으며, 여러 가지 형태로 국내외의 자동차 업체를 중심으로 기술이 개발되고 있다. 그러나 현재 개발된 대부분의 센서는 배터리를 필요로 하여 배터리 수명의 한계가 센서 동작의 한계를 결정한다는 단점이 있고, 또 배터리가 방전된 후 정확한 데이터를 얻지 못하고 오작동의 위험에 노출될 수 있다는 문제

점이 존재한다<sup>[1]</sup>.

또한, 타이어 및 TPMS모듈은 전 세계 기후조건에서 작동하기 위해 보통 영하 40도~영상 150도의 가혹한 조건에서 10년을 버티는 내구성을 요구한다<sup>[2]</sup>. 또한 30 psi의 압력을 기준으로  $\pm 25\%$  이상의 압력범위를 측정할 수 있어야 한다. 따라서 전원이 필요없는 TPMS 모듈과 무전원 모듈과의 호환이 가능하고, 충분한 내구성을 갖으며 압력의 변화를 측정할 수 있는 압력센서의 구성이 필요하다.

TPMS의 구성은 무선 송·수신을 위한 무선센서와 압력센서로 구성된다. 이 중 MEMS 기술을 이용한 마이크로 압력센서는 압전/압저항 효과를 이용한 피에조 방식의 압력센서, 압력 인가에 따른 박막의 거동에 의한 캐패시턴스의 변화를 측정하는 정전용량형 센서 등이 있다. 이중 정전용량형 센서의 경우 센싱을 위한 물리적인 구조가 매우 간단하고, 온도에 따른 편차가 적은 우수한 특징이 있다. 피에조 방식의 압력센서의 경우, 온도에 따른 보상이 이루어져 현재 가장 폭넓게 사용되어지고 있는 압력센서이다. 하지만, 본 연구에서 적용하고자 하는 무전원 무선센서와의 호환성에서 볼 때, 여러 가지 문제점이 있다. 우선 박막변형에 의해

서강대학교 기계공학과 (Dept. of Mechanical Engineering, Sogang University)

<sup>†</sup>Corresponding author: bkchoi@sogang.ac.kr

(Received : February 16, 2005, Accepted : April 21, 2005)

발생하는 전압으로 인해 무선센서의 신호에 영향을 미칠 수 있고, 온도 보상을 하기 위한 회로의 제작시 전원이 필요한 것이 그것이다. 배터리를 이용하는 방법의 경우 앞서 설명한 바와 같은 문제가 발생할 여지가 크기 때문이다. 따라서 정전용량형 압력센서와의 적합이 적당하지만, 정전용량형 센서의 경우 출력값의 비선형성이 존재하는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 정전용량형 센서의 비선형성을 줄이려는 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 센서의 뒷단에 연결하는 회로를 이용하여 비선형성을 개선하는 방법(노멀 모드), 거리에 의해 캐패시턴스를 조절하는 방법이 아닌 면적에 의해 캐패시턴스를 조절하는 방법(터치 모드)이 있는데, 전자의 경우 전원이 들어가는 문제가 발생하여 무전원 무선센서와 압력센서를 이용한 TPMS구성의 목적과 맞지 않다. 따라서 정전용량형 센서의 비선형성을 개선한 터치 모드 정전용량형 센서를 이용하여 TPMS에 적용할 수 있는 압력센서를 개발하는 것이 적당하다.

평판 모델의 캐피시터를 압력센서로 활용하는 터치 모드 방식의 정전용량형 센서는 압력에 의해 위쪽의 박막이 유전체(isolation layer)가 깔려있는 아래쪽의 기판에 닿게 설계한 센서이다. Fig. 1과 2는 정전용량형 센서의 노멀 모드와 터치 모드를 나타낸 것이다<sup>[3]</sup>.

기존의 노멀 모드 방식의 정전용량형 센서가 바닥에 닿지 않는 범위에서 설계가 되어 비선형성이 존재하는 반면, 터치 모드 방식의 센서는 박막이 기판에 닿은 후, 압력인가 시 면적이 선형적으로 증가하여 기존의 센서

표 1. 노멀모드와 터치모드의 비교

Table 1. Normal mode vs. Touch mode

Normal mode	Touch mode
Nonlinear characteristic	Pseudo characteristic
Small span ↔ Small capacitance deviation	Large span ↔ Large capacitance deviation
Variable → 두 극판사이의 거리(d)	Variable → 터치된 극판의 면적(A)

에 비해 선형성이 보장되는 장점이 있다. Table 1은 노멀 모드 방식의 정전용량형 센서와 터치 모드 방식의 정전용량형 센서와의 비교 데이터이다.

본 연구에서는 TPMS에 적용시키기 위해 압력센서를 개발하였다. 앞서 언급한 바와 같이 터치 모드 방식의 압력센서를 이용하였다. ANSYS를 이용한 설계와 PDMS를 이용한 패키징을 통해 센서를 제작하였다. 또한 가압챔버를 제작하여, 이를 이용한 압력실험을 진행하였다.

## 2. 소자설계 및 제작

### 2.1. 소자설계

터치 모드 방식의 정전용량형 센서는 노멀 모드 방식의 정전용량형 센서의 비선형성을 개선하기 위한 하나의 방안으로 Wen H. Ko *et al.*에 의해 고안되었다<sup>[4]</sup>.

터치 모드 방식의 센서는 다음과 같은 지배방정식(Governing equation)을 이용하여 설계한다<sup>[5],[6]</sup>.

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = E \left( \left( \frac{\partial w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial y} \right) \tag{1}$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} =$$

$$\frac{h}{D} \left( \frac{P}{h} + \frac{\partial F^2}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial F^2}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)$$

$$D = \text{Flexural rigidity. } D = \frac{Eh}{12(1-\nu^2)},$$

$P$  = Pressure,  $E$  = Young's modulus,

$\nu$  = Poisson's ratio,  $F$  = stress function,

$w$  = Deflection of point  $(x, y)$

그러나 식 (1)와 같은 일반적인 대변형 지배방정식 만으로도 정확히 해석하기 곤란한 것은 박막이 바닥에 닿은 이후부터 경계조건이 인가 압력에 따라 계속해서 변하게 되면서 접촉 면적이 점점 넓어지는 현상과 아

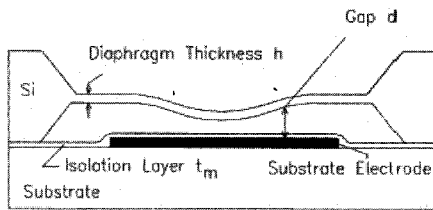


그림 1. 일반적인 정전 용량형 압력센서  
Fig. 1. Normal mode capacitive pressure sensor.

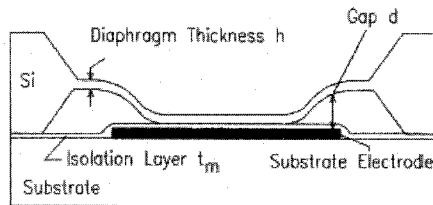


그림 2. 터치 모드 정전 용량형 압력센서  
Fig. 2. Touch mode capacitive pressure sensor.

올러 박막의 스트레칭에 의한 영향 때문이다<sup>15-17</sup>. 한편, Dieter 등은 소변형(small deformation) 영역에서의 근사해를 구하였으며<sup>18</sup>, Wang 등은 대변형(large deformation)에서의 박막의 변형에 대한 모델링을 통한 FEA 해석 및 실제 측정을 수행하였다<sup>19</sup>.

### 2.2. FEM analysis

유한 요소법은 컴퓨터상에서 가상으로 기계요소를 생성하여 힘, 열, 진동 등의 압력에 대해서 체계적으로 기계요소 및 시스템의 반응을 예측할 수 있게 해준다. 이는 과거의 설계가 “구조의 형상에 대한 개념을 바탕으로 공학적 감각과 경험에 의지하는 역 엔지니어링 기법이었다”라고 하면 지금의 설계는 이러한 반복 설계에서 벗어나 구조물의 크기, 치수 그리고 형상 등에 대한 전산해석과 설계변수의 민감도 해석을 통한 최적화 설계가 가능해졌다고 할 수 있다. 현재 널리 사용되는 상용 컴퓨터 프로그램은 NASTRAN, ANSYS, NISA, ABAQUS, SAP, COSMOS 등이 있으며, 계속해서 향상된 기능의 VERSION을 출시하고 있다.

본 연구에서는 ANSYS 유한요소 패키지를 이용하여 FEA를 실시하였다. 사용되어진 요소는 박막 요소로 많이 사용되어지고 있는 8node Shell 93 element를 사용하였다. 0-31 psi의 압력에서 해석을 수행하였으며, 대변형을 이용한 설계를 하였다. 기존의 참고문헌을 비교한 결과 비슷한 결과를 얻었으며, 이에 대한 분석을 통해 본 연구를 진행하였다. Fig. 3는 본 연구를 통해 제작될 센서의 모델이다.

제작에 앞서 ANSYS를 이용하여 해석을 하였으며, 캐패시턴스값을 예측하였다. 본 공정에서는 반지름(a)를 1500 μm, 두께(h)를 35 μm, Gap(g)을 20 μm로 하여 해석 및 제작을 하였다. Fig. 4는 해석 결과이다.

이때 최대응력은 295 MPa이었다. 이는 Si(100)의 항복강도인 7 GPa보다 매우 작은 값을 가지므로 위의 압력에서도 견딜 수 있는 센서임을 확인하였다. 또한, 터

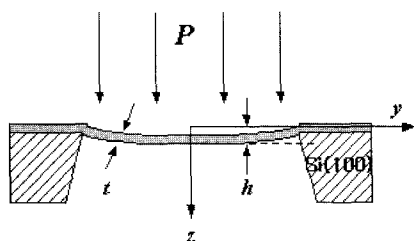


그림 3. 모델의 개략도  
Fig. 3. Target model.

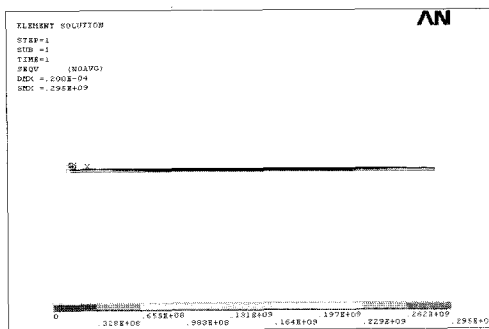
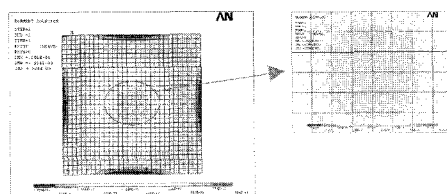


그림 4. 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. Simulation result (a=1500 μm, h=35 μm, g=20 μm).

치 면적은 전체 면적의 7.1%에 해당함을 확인할 수 있었다. 압력에 따른 캐패시턴스의 변화를 근사화된 식을 이용하여 예측하였다. Fig. 5는 예측된 캐패시턴스의 변화를 나타낸다.

약 14 psi (약 1 atm)에서 터치가 발생하였다. 그리고 이때 캐패시턴스는 77.88 pF으로 예측되었고, 터치된 반지름은 약 220 μm 로 나타났다.

### 2.3. 소자 제작

Eutectic bonding은 anodic bonding, fusion bonding 등과 함께 2개의 웨이퍼를 접합하는 MEMS기술이다.

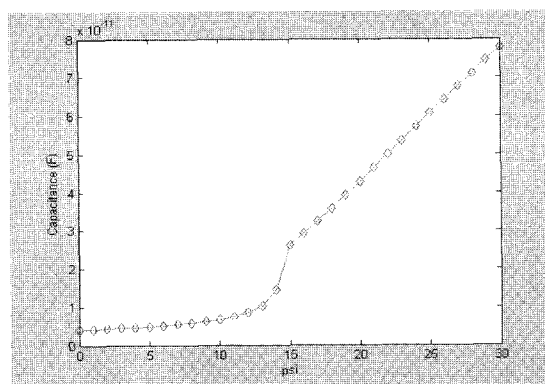


그림 5. 캐패시턴스 예측  
Fig. 5. The estimation of the capacitance variation (a=1500 μm, h=35 μm, g=20 μm).

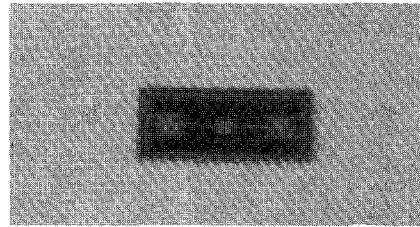
이종(異種) 금속을 이용하여 금속끼리 접합하는 기술로 순수한 금속의 녹는점보다 낮은 온도에서 접합이 가능하고 다양한 금속을 사용할 수 있다<sup>[10]</sup>. Fig. 6은 압력센서 제작공정을 나타낸다.

본 연구에서는 Au-Au eutectic bonding을 이용하였다. 금은 낮은 모듈러스와 산화가 잘 안되는 성질 때문에 열압축 접합(Thermocompression bonding)에서 주로 사용하는 물질이다<sup>[11]</sup>. 2개의 금속막을 이용하고, 금속막 패턴의 제작을 통해 압력센서의 압력누설에 대한 문제점을 해결하고자하였다.

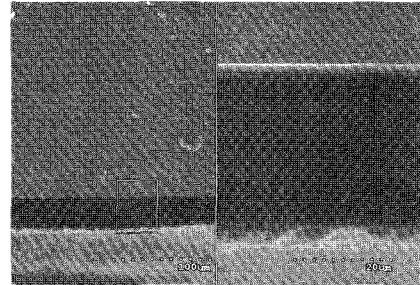
Eutectic bonding시 어느 부분은 접합이 되고 다른 부분은 접합이 안되는 문제 때문에 금속막을 웨이퍼의 편평도를 고려하여 높게 증착한다. 또한 선폭을 작게 하여 접합시 받는 압력(F/A)을 크게 하여야하고, 최적화된 온도를 맞추어 공정을 진행해야한다<sup>[12]</sup>.

본 연구에서는 웨이퍼의 편평도를 일정하게 하기 위해서 CMP공정을 이용하여 편평도를 맞추었다. CMP공정을 처음 공정을 준비하는 단계에 사용하였다. 본 Eutectic bonding 공정은 금속막(Ti/Au)의 두께를 1 $\mu$ m로 하였고, 370 $^{\circ}$ C에서 1.4 MPa의 압력을 인가하여 3시간동안 진행하였다.

Fig. 6의 주공정과 같이 소자 제작을 수행하였다. Fig. 7는 제작된 시편과 소자의 박막 SEM 사진을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 7. 박막의 SEM 사진  
Fig. 7. Sample using run process and SEM image of diaphragm.

제작된 시편의 박막두께는 35.38 $\mu$ m로, gap의 크기는 20 $\mu$ m로 측정되었다. PCB기판을 제작하여 PDMS 패키징을 진행시키고, 가압챔버 제작을 통해 압력실험

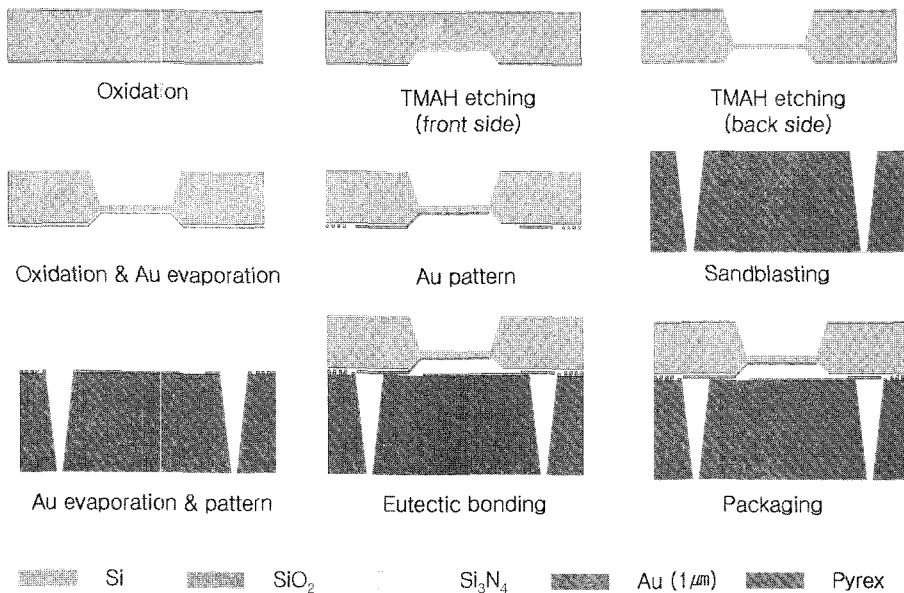


그림 6. 공정도  
Fig. 6. Run process.

을 진행하였다. 패키지 부분의 문제를 해결하기 위해 진행한 본 공정에서 Au-Au eutectic bonding 패턴은 gap에 의해 생성된 공간의 압력 누설을 방지하는 역할을 담당하는데 형성되었다.

### 3. 압력 측정 실험 및 고찰

#### 3.1. 가압챔버 설계

압력센서의 압력실험을 위해 가압챔버를 제작하였다. 무선센서의 특성을 고려하여 금속이 아닌 아세탈을 이용하여 제작하였다. 아세탈은 아크릴과 비슷한 종류의 재료이며, 비슷한 물성치를 갖는다. Table 2는 아세탈의 물성치이다.

가압챔버 제작을 위해 ANSYS를 이용하여 구조해석을 실시하였다. 챔버 내부의 크기는  $\pi \times (14)^2 \times 20 \text{ cm}^3$ 으로 하였으며, 챔버의 두께는 3 cm로 설계하였다. Fig. 8은 가압챔버의 구조해석 결과를 나타낸다.

최대응력은 0.897 MPa이 나왔는데, 이는 항복강도보다 작은 값이므로 안전하다고 판단된다. 위의 데이터를 이용하여 아세탈을 이용한 가압챔버를 제작하였다.

표 2. 아세탈의 물성치  
Table 2. Properities of Acetal

Mechanical properties	Conditions
Elastic modulus (MPa)	3105 Compressive
	2602-3202 tensile
Flexural modulus (MPa)	2553-3105 23°C
Tensile strength (MPa)	58-72
Compressive strength (MPa) at yield or break	111
Flexural strength (MPa) at yield or break	90

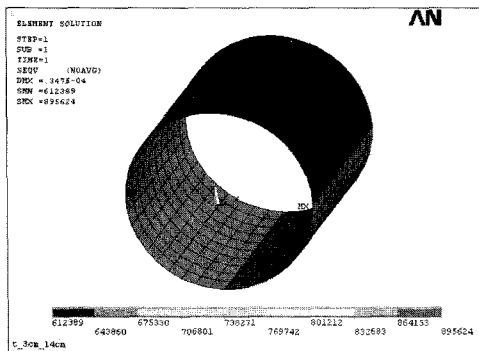


그림 8. 가압챔버의 구조해석 결과  
Fig. 8. Simulation result of pressure chamber.

Fig. 9는 제작된 가압챔버의 모습이다.

#### 3.2. 압력에 따른 캐패시턴스 측정

제작된 시편을 이용하여 압력에 따른 캐패시턴스를 측정하였다. 캐패시턴스 측정은 측정이 가능한 멀티미터를 이용하여 측정한다. Fig. 10은 측정사진이다.

최초 캐패시턴스는 770 pF으로 측정되었다. 터치가 되는 시점인 14 psi에서 792 pF이 나왔고 터치 이후의 압력 즉, 30 psi에서 800 pF이 측정되었다.

#### 3.3. 고찰

압력 실험에 의해 제작된 압력센서는 압력에 따라 캐패시턴스 값이 변하는 것이 확인되었다.

초기 캐패시턴스가 크게 나온 이유는 실리콘과 같은 재료의 기생 캐패시턴스 성분 때문이라 판단된다. 따라서 이를 개선하기 위해서는 쿼츠 웨이퍼와 같은 기생 캐패시턴스 성분이 없는 재료를 사용해야 할 것으로 판단된다. 또한 초기 캐패시턴스 값에서 터치 전까지 캐패시턴스의 변화량은 예상된 바와 같이 나타났으나, 터치 이후의 캐패시턴스의 변화량은 예상과 다른 결과를 가져왔다. 즉, 터치 이후의 압력변화에 의해 박막변형이 거의 일어나지 않은 것을 알 수 있었다. 해석을 통해 예측된 캐패시턴스 값과 실제 측정된 캐패시턴스 값이 다른 이유는 웨이퍼의 편평도 문제 때문인 것으로 판단된다.

웨이퍼는  $500 \mu\text{m} \pm 25 \mu\text{m}$ 의 편평도 차이로 제작된다. 본 공정에서 최초로 CMP를 이용하여  $300 \mu\text{m}$ 로 가공하였으나, 실제 측정된 결과  $300 \mu\text{m} \pm 4 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 실리콘 웨이퍼는  $300 \mu\text{m}$ 를 목표로 하여 가공하였으나, 파이렉스 글라스 웨이퍼의 경우 가공을 하지 못하였다. 파이렉스 글라스 웨이퍼의 단차 측정결

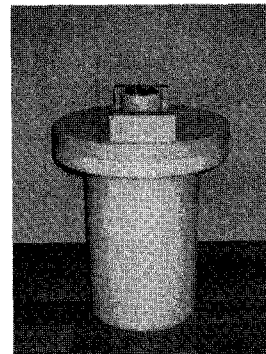
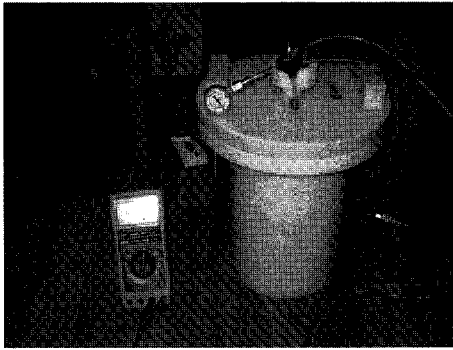
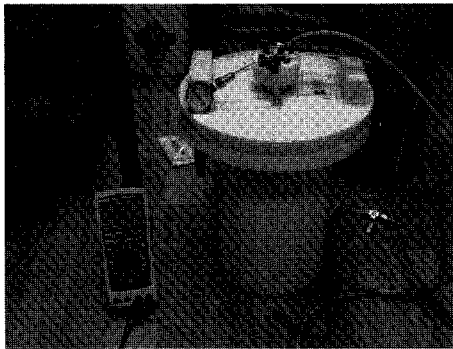


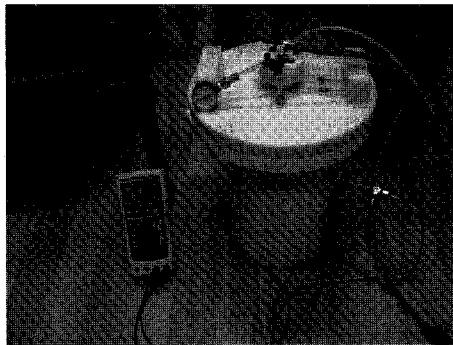
그림 9. 제작된 가압챔버  
Fig. 9. The image of fabricated pressure chamber.



(a)



(b)



(c)

그림 10. 가압챔버를 이용한 압력실험

Fig. 10. Experiment of pressure sensor using pressure chamber.

과 15  $\mu\text{m}$ 의 단차를 보였다. 제작된 센서의 특성상, 1-2  $\mu\text{m}$ 이상의 차이만 보여도 (gap의 증가) 캐패시턴스가 크게 변하는 특성을 갖게 된다. Fig. 11은 단차가 3  $\mu\text{m}$  차이를 보일 때 캐패시턴스의 변화율을 나타낸 것이다.

Fig. 11의 그래프를 통해서 압력 실험결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었고, 웨이퍼의 편평도가 정확한 박막과 파이렉스 글라스 웨이퍼 사이의 거리 조절을 요하는 본 공정에서 매우 중요한 변수임을 알 수 있었다.

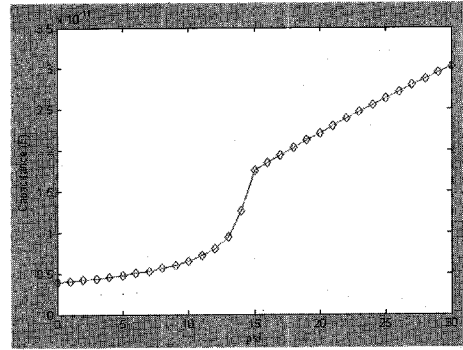
그림 11. 단차가 3  $\mu\text{m}$ 일 때의 캐패시턴스 변화

Fig. 11. The capacitance variation which is taken of the gap discrepancy at 3  $\mu\text{m}$ .

따라서 웨이퍼의 편평도를 정확하게 조절한 후, 공정을 진행해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

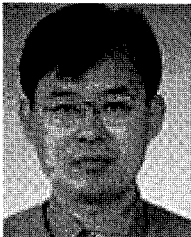
본 연구에서는 TPMS 적용을 위한 가변 정전용량형 압력센서에 대해 연구하였다. ANSYS를 이용하여 설계하였고, 이를 바탕으로 가압챔버 실험을 하였다. 본 공정을 통한 센서제작 및 센서의 특성 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 터치 모드 방식의 정전용량형 압력센서의 설계 및 실험을 진행하였다. 설계 및 실험에 있어서 터치 모드를 확인할 수 있었다.
- 2) MEMS 기술을 이용하여 센서를 제작하였다. 다양한 공정 기술을 이용하여 공정의 최적화 설계를 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 압력실험을 통해 압력에 따른 캐패시턴스의 변화를 확인하였다. 압력실험의 결과로 미루어볼 때, 타이어 내부에서도 동작할 것으로 예상된다.
- 4) 터치 이후의 캐패시턴스 변화가 작게 나타났다. 이는 웨이퍼의 편평도 때문에 발생한 것으로 판단된다.
- 5) 재료의 기생 캐패시턴스 성분으로 인해 초기 캐패시턴스 값이 크게 증가한 것으로 판단된다. 이를 개선하기 위해 재료의 교체가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] 이윤영, "SAW sensor를 이용한 Tire Pressure Monitoring System 설계에 관한 연구", 서강대학교 공학 석사 학위 논문, 2003.
- [2] M. Hill and J. D. Turner, "Automotive tyre pressure

- sensing”, *Automotive Sensors, IEE Colloquium*, pp. 5/1-5/6, 1992.
- [3] W. H. Ko and Q. Wang, “Touch mode capacitive pressure sensors for industrial applications”, *MEMS '97, Proceedings, IEEE., Tenth Annual International Workshop*, pp. 284-289, 1997.
- [4] S. Yamamoto, H. Nakamura, H. Nishimura, T. Suzuki, T. Takizawa, and O. Nakao, “Touch mode capacitive pressure sensors”, *Fujikura Technical Review*, pp. 45-49, 2003.
- [5] W. H. Ko and Q. Wang, “Touch mode capacitive pressure sensors”, *Sensors and Actuators A*, vol. 75, pp. 242-251, 1999.
- [6] Q. Wang and W. H. Ko, “Modeling of touch mode Capacitive pressure sensors and diaphragms”, *Sensors and Actuators A*, vol. 75, pp. 230-241, 1999.
- [7] B. K. Choi and G. B. Lee, “Modeling of stretching effects on the contacted diaphragm of pressure transducers by LIGA process”, *Sensors and Actuators A*, vol. 69, pp. 192-198, 1998.
- [8] D. M. Achneider *et al.*, “A new analytical solution for the load-deflection of square membranes”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, pp. 238-241, 1995.
- [9] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of Plates and Shells 2nd edition*, McGRAW-HILL, 1981.
- [10] C.Y. Wang and C.C. Lee, “An eutectic bonding technology at a temperature below the eutectic point”, *Electronic Components and Technology Conference, Proceedings.*, 42nd, pp. 502-507, 1992.
- [11] C.H. Tsau, S.M. Spearing, and M.A. Schmidt, “Fabrication of wafer-level thermocompression bonds”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 11, pp. 641-647, 2002.
- [12] W. B. Kim, Q. Wang, K. D. Jung, J. S. Hwang, and C. Y. Moon, “Application of au-sn eutectic bonding in hermetic RF MEMS wafer level packaging”, *Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces*, 2004. Proceedings. 9th International Symposium, pp. 215-219, 2004.



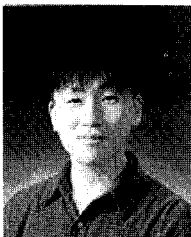
### 최 범 규

- 1981년 서울대학교 기계공학과 졸업
- 1983년 동대학원 기계설계학과 졸업 (석사)
- 1992년 Univ. of Wisconsin 기계공학과 졸업(공학박)
- 1984~1986년 KIST CAD/CAM 연구실 연구원
- 1986~1994년 펜실바니아 주립대 연구조교
- 1992~1994년 위스콘신 대학 CxRL 근무
- 1994~1997년 삼성전자 주식회사
- 1997년 ~ 현재 서강대학교 기계공학과 부교수
- 주관심 분야 : 구조 해석, Micro Mirror, Sensor



### 오 재 군

- 1996년 서강대학교 전자공학과 졸업
- 2000년 서강대학교 기계공학과 졸업 (석사)
- 2005년 현재 서강대학교 기계공학과 박사 학위 과정 재학중
- 1996~1998년 가이자동차 중앙기술 연구소 제어 기술부 연구원
- 주관심 분야 : Micro Power Generator, Micro Sensor 및 Actuator, Ubiquitous Sensor 및 Sensor Network



### 김 도 형

- 2003년 선문대학교 기계공학과 졸업
- 2005년 현재 서강대학교 기계공학과 석사 학위 과정 재학중
- 주관심 분야 : Micro Sensor 및 System