

세라믹소재를 이용한 해수압센서 제작 및 전기적 특성 연구

박성현^{1,a}, 김은섭², 정정균²

¹ 동의대학교 전기공학과

² (주)미르알엔티 기술연구소

A Study on the Fabrication and Electrical Characteristics of Hydraulic Pressure Sensors by Using Ceramics Materials

Sung-Hyun Park^{1,a}, Eun-Sup Kim², and Jung-Kyun Jung²

¹Department of Electrical Engineering, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

²Institute of Mirrnt Co., Ltd., Busan 617-829, Korea

(Received May 18, 2015; Revised May 19, 2015; Accepted May 23, 2015)

Abstract: In this paper, we fabricated ceramic body and sapphire wafer in order to develop a hydraulic pressure sensor with high sensitivity and high temperature stability. The sapphire wafer was adopted with a membrane of capacitance ceramic pressure sensor. The capacitance value of the sensor for the finite element analysis(FEM) showed a linear pressure characteristics. Membrane was processed with a diameter of 32.4 mm and a thickness of 1 mm by using alumina powders. Ceramic body was processed with a diameter 32.4 mm and a thickness 5 mm. The capacitance pressure sensor was made with high heat treatment of the ceramic body and the sapphire wafer. Initially capacitance of the pressure sensor was 50 pF and a capacitance of 110 pF was measured from 5 bar pressure. Output voltage of 5 V was appeared at 5 bar pressure.

Keywords: Hydraulic pressure sensor, Capacitance type, Sapphire, Ceramics, Brazing

1. 서론

최근 의료용 및 산업용에 사용되는 고감도, 고정밀 압력트랜스미터(pressure transmitter)의 핵심부품인 압력 센서소자(pressure sensor element)에 관한 상용화 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1,2]. 일반적으로 압력 센서는 외부 압력에 의한 멤브레인의 휨 정도가 달라짐을 이용하는 정전용량식과 멤브레인 위에 위치한 저항체가 응력에 따라 저항값이 바뀌게 됨을 이용하는 압

저항형으로 크게 구분된다. 압저항형 압력 센서는 선형성이 우수하고 신호처리가 쉽지만, 감도가 낮고 온도의 존성이 정전용량식 압력센서보다 높다.

선박의 탱크내부나 심해의 수압측정용 레벨게이지에 사용되는 정전용량식 압력센서는 압저항형 압력센서에 비해 높은 감도와 작은 온도계수의 장점을 가지고 있고 전력손실도 낮아 선진국에서는 이미 상용화시키고 있다 [3-5]. 이에 선박이나 심해 등의 가혹환경에서 사용되는 압력센서는 높은 감도와 작은 온도계수, 그리고 강한 내구성 및 빠른 응답속도 요구를 충족해야 한다. 이를 위해 강한 내구성을 가진 세라믹스 소재를 이용한 압력센서 개발이 절대적으로 필요하다.

외부 압력에 노출되는 멤브레인(membrane)을 가진 세라믹압력센서는 액체, 가스 및 증기 등의 압력을 측

a. Corresponding author; parksh98@deu.ac.kr

정하는 레벨게이지용의 용도에 적용할 경우 높은 감도와 뛰어난 안정성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 압력센서의 신호변환은 커패시터의 정전용량(capacitance)에 의존하는 방식을 채택하고 있고, 멤브레인 소재의 응용에 있어서는 높은 전기기계결합계수, 높은 품질계수, 높은 유전율, 낮은 유전손실 등이 요구되며 온도안정성 또한 커야 한다.

본 논문은 선박내 밸러스터 탱크의 해수압을 측정하는 세라믹소재의 해수압센서를 제작하여 그 전기적 특성을 연구하고자 한다. 선박 내 밸러스터 탱크의 가혹환경에서 고감도 및 우수한 내구성을 가진 정전용량식 해수압센서를 제작하기 위해서는 외부압력을 받는 적합한 멤브레인 재료는 사파이어 웨이퍼이고, 전극이 형성된 모재는 알루미늄 세라믹소재를 이용하였고 [3-5], 브레이징공정법으로 세라믹구조물과 멤브레인을 상호 접합하여 센서를 제작한 후 정전용량값 및 출력전압값을 측정하였다.

2. 실험 방법

2.1 정전용량형 압력센서의 메카니즘

2.1.1 동작원리

본 논문에서 제안하는 정전용량식 압력센서의 동작 원리는 일반적인 축전기의 정전용량 메카니즘으로 이해할 수 있다. 그림 1에서와 같이 축전기에 있어서, 각각 면적 A를 가진 두 전극판은 거리 d만큼 떨어져 있고, 전극판 사이에 비유전율 ϵ_r 의 유전체가 삽입되어 있다. 그림 1에 의하면, 전원이 인가되는 두 전극판의 d의 간격에 따라 축전기의 전체 정전용량이 달라지며, 이는 전체 축전기에 미치는 전기에너지의 증감을 유발하게 된다.

- Distance between the electrodes (d)
- Dimensions of the electrodes (A)
- Dielectric between the electrodes (ϵ_r)

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

ϵ_0 : electrical field constant
: $8.854 \cdot 10^{-12}$ C/(Vm)

ϵ_r : permittivity, dielectric constant

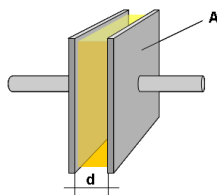


Fig. 1. The principle of operation for capacitance pressure sensor.

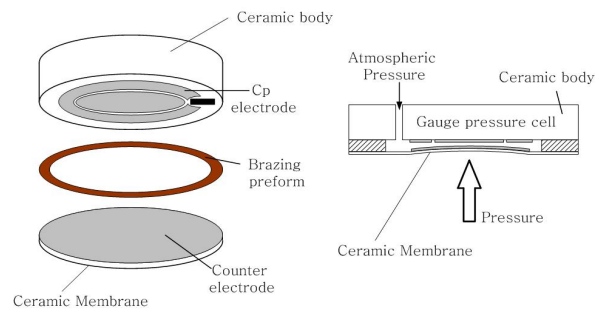


Fig. 2. Capacitance pressure sensor.

이에 본 논문에서 그림 2에서와 같이 정전용량형 압력센서의 각 전극판은 압력센서의 상부기판 멤브레인(사파이어 웨이퍼)과 하부기판 세라믹구조물 표면의 전극 패턴으로 대응시켰고, 외부압력에 노출된 멤브레인은 압력에 의해 휘어짐에 따라 간격 d의 크기가 달라져 정전용량값을 얻어내는 방법으로 제작하였다. 또한 검출되는 정전용량값이 전압신호로 변환하는 회로를 구현하여 최종 출력전압값을 얻어내는 해수압센서를 완성하였다.

2.2 유한요소해석

본 논문에서는 정전용량형 압력센서 제작에 앞서 그림 3에서와 같이 일정하게 가해지는 압력에 관한 해수압센서 구조물의 유한요소해석을 실시하였다. 압력센서의 직경은 39.4 mm이며, 하부기판인 세라믹구조물의 두께는 5 mm이고, 상부기판인 멤브레인과의 간격 d는 표 1에서처럼 70 μ m, 100 μ m, 150 μ m 세 가지로 실시하였다. 이때 멤브레인의 두께는 1.0 mm와 1.5 mm 두 가지 경우로 하여 해석을 시도하였다.

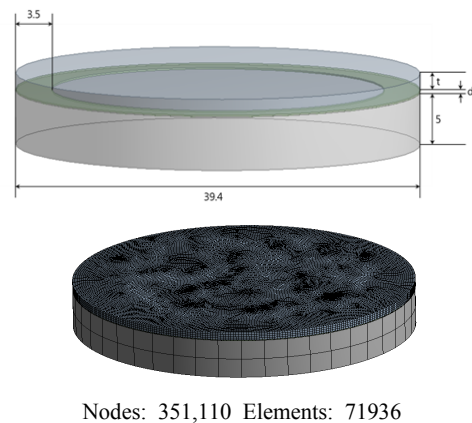


Fig. 3. FEM analysis of ceramic pressure sensor.

Table 1. Thickness & distance condition.

Design point	t(mm)	d(mm)
DP1	1	0.07
DP2	1	0.1
DP3	1	0.15
DP4	1.5	0.07
DP5	1.5	0.1
DP6	1.5	0.15

Table 2. Properties of matter for FEM.

	Material	Density [kg/m ³]	Elastic modulus [GPa]	Poisson's ratio
Membrane	Alumina	3,960	370	0.22
Brazed metal	Steel	7,850	200	0.3
Body	Alumina	3,960	370	0.22

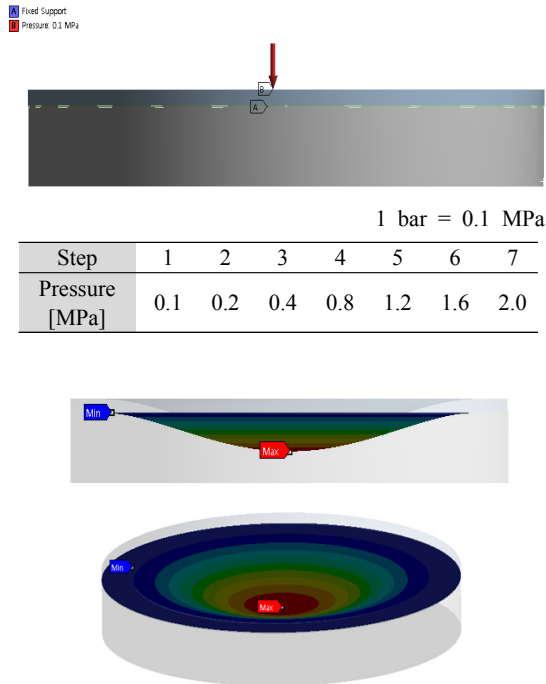


Fig. 4. FEM of pressure sensor according to the capacitance pressure confining conditions.

표 2는 압력센서의 각 요소에 대한 물성치를 나타낸 것이다.

그림 4는 압력센서의 FEM 구속 조건을 나타낸 것이며, 압력 변화는 1 bar에서 20 bar까지 변화를 주었다.

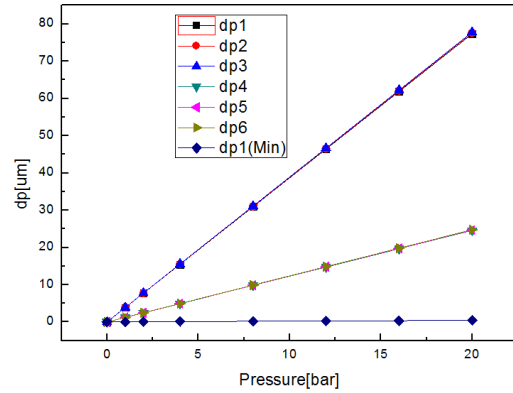


Fig. 5. FEM analysis of capacitance pressure sensor.

그림 5는 압력에 따른 간격 d의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5에서와 같이 두께가 1.0 mm인 멤브레인이 받는 압력이 16 bar일 때 d의 길이는 약 65 μm , 20 bar일 때 약 78 μm 까지 이르고, 두께가 1.5 mm인 멤브레인이 받는 압력이 16 bar일 때 d의 길이는 약 20 μm , 20 bar일 때 약 25 μm 까지 이르는 것을 알 수 있다. 이는 실제 센서제작 시 두께가 1.0 mm 멤브레인을 사용하는 센서는 기판과의 간격이 약 80 μm 이상이 되도록 설계하고, 두께가 1.5 mm인 경우는 기판과의 간격이 30 μm 이상이 되도록 설계하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

2.3 세라믹재료 선정

본 논문은 정전용량식 해수압센서용으로 상부기판인 멤브레인(ceramic membrane)의 재료는 단결정 사파이어 웨이퍼로 정하였으며, 하부기판인 세라믹구조물(ceramic body)은 순도 96%의 Al₂O₃ 알루미나(alumina)의 재료를 선정하였다.

2.4 시편제조 및 가공

본 논문의 해수압센서에 있어서, 멤브레인은 외부 압력을 받는 부분이며, 직경 32.4 mm로 가공하였다. 또한 정전용량값을 얻기 위한 금속전극패턴은 DC마그네트론스퍼터링 증착공정을 통해 성장하였고, 기판시료인 사파이어 웨이퍼는 polishing 또는 non-polishing한 시료를 사용하였고, 두께는 1 mm이다.

또한, 세라믹구조물은 습기를 제거한 알루미나(99%, Al₂O₃)을 8 g 정도 칭량하여 직경이 30 mm인 실린더형태의 스테인레스 스틸 몰드(stainless-steel metal mold)에

소량의 바운딩재료와 혼합하여 부어넣은 후 1,000 kgf/cm³의 압력을 가하여 원하는 원형 모양으로 성형하였다. 성형한 알루미늄 시편들은 전기로에 1,500°C 온도로 하루 정도 소결하였으며, 연마와 정밀가공을 통해 알루미늄 시편의 두께는 5 mm, 직경 32.4 mm로 세라믹 구조물로서의 용도에 맞도록 제작하였다.

2.5 접합공정 및 조립

그림 6은 정전용량형 해수압센서를 구성하는 각 요소부품들을 나타낸 것이다. 그림 6에서와 같이 해수압센서의 동작을 위해 사파이어 웨이퍼 및 세라믹구조물 표면에 Ta금속 전극패턴을 형성하였다. 센서소자의 각 구성부품은 사파이어 웨이퍼의 시편인 멤브레인(membrane)과 세라믹구조물(ceramic body), 그 사이에 정전용량 측정용 Ta 전극패턴(Cp electrode)과 브레이징용 합금형 용가재(brazing metal ring)으로 구성되어 있음을 보여준다.

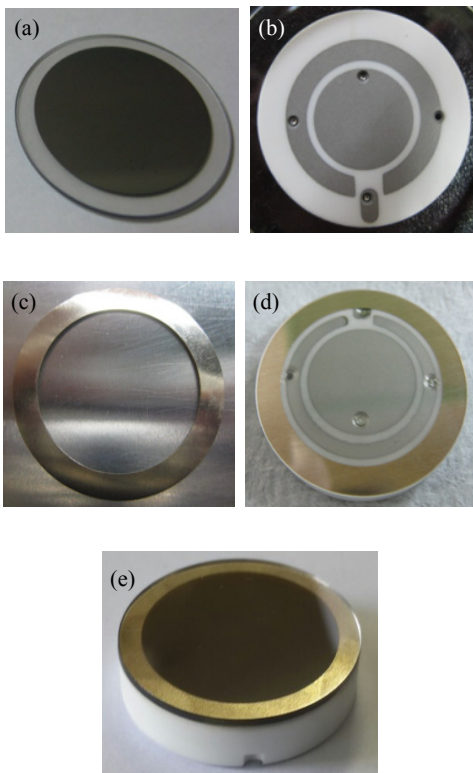


Fig. 6. Parts of capacitance pressure sensor. (a) sapphire wafer(membrane), (b) ceramic body, (c) brazing metal ring, (d) brazing metal ring on the ceramic body, and (e) capacitance pressure sensor brazing with the membrane and body.

또한 세라믹구조물과 사파이어 웨이퍼간의 접합소재는 Ag-Cu-Ti 합금형 용가재이며, 얇은 박편형태로 되어있다. 접합 시에는 멤브레인과 Ag-Cu-Ti 합금형 용가재와 세라믹구조물 순으로 구성되며, 진공브레이징 장치로 아르곤(Ar)분위기에서 810°C, 5분 정도 가열하여 접합하였다. 사파이어 웨이퍼의 세라믹소재인 멤브레인(membrane)과 세라믹구조물(ceramic body) 사이에 100 μm 정도의 두께를 가진 브레이징용 합금형 용가재 금속링이 배치되어 멤브레인과 세라믹구조물을 단단하게 접합되도록 하였다. 그림 6의 (e)는 세라믹구조물과 멤브레인이 브레이징 접합된 정전용량형 압력센서소자를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정전용량 특성

본 논문은 해수압센서의 정전용량값을 측정하기 위해 그림 7과 같이 압력캘리브레이터(7690 Druck DPI610), 정밀급LCR 미터를 구성하여 시험하였으며, 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 센서의 고정용량값 대비 가변용량값을 측정하여 증가하는 최대 5 bar압력에 대해 선형적인 특성을 얻어내었다.



Fig. 7. Measurement environment.

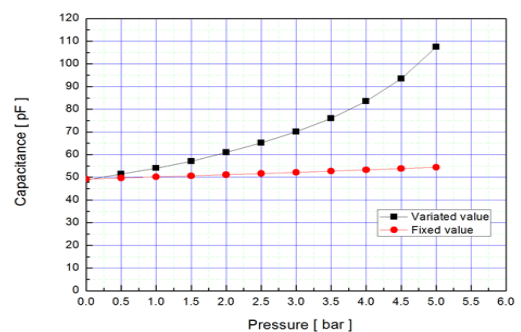


Fig. 8. Capacitance data vs. pressure.

그림 8에서와 같이 0 bar일 때 정전용량값은 50 pF이며, 5 bar일 때 약 110 pF의 정전용량값을 가지고 있음을 알 수 있었다.

3.2 출력전압 특성

본 논문은 해수압센서에서의 정전용량값을 용도에 맞는 전압출력값으로 변환하기 위해 그림 9(a)에서와 같이 회로를 구현하였으며, 제작된 회로보드는 그림 9(b)에 나타내었다. 용도에 맞는 해수압센서의 출력 특성을 얻기 위하여 가하는 압력에 따른 정전용량값과 출력전압값의 관계를 정의하였으며, 이러한 관계를 토대로 출력 특성을 확인하였다. 이에 센서에서 획득되는 정전용량값을 유효한 전압신호로 변환하기 위한 신호처리회로이며, 센서 상부면에 회로보드를 부착하였다.

그림 10은 제작된 정전용량형 해수압센서이다.

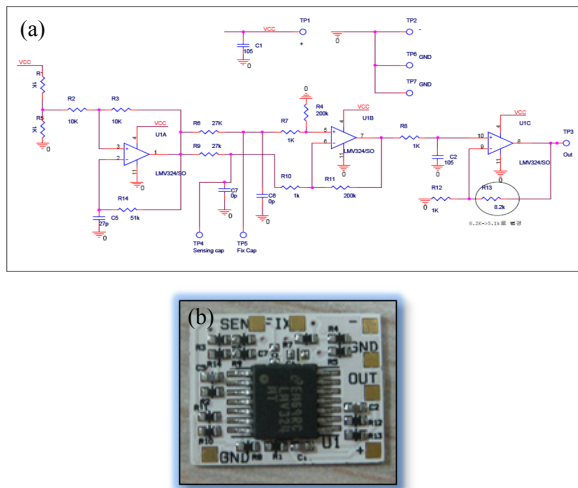


Fig. 9. Voltage circuit of hydraulic pressure sensor. (a) voltage circuit schematic and (b) circuit board.

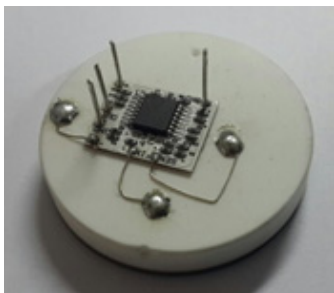


Fig. 10. Hydraulic pressure sensor of capacitance type.

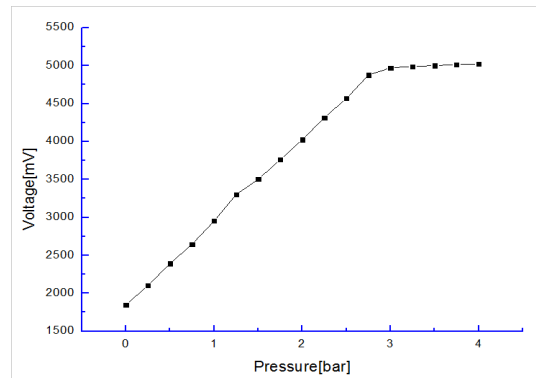


Fig. 11. Voltage data vs. pressure.

본 논문은 해수압센서의 전기적인 출력 특성을 확인하였으며, 압력에 따른 출력전압값을 그림 11에 나타내었다.

그림 11에서와 같이 0 bar에서 5 bar이르는 압력에 대한 출력전압을 측정된 결과 1 bar에서 3 bar까지 1.7 V에서 5 V에 이르는 선형적인 특성을 보였고, 5 bar까지는 5 V를 유지하는 전압 특성을 보였다.

4. 결론

본 논문은 선박 내 밸러스터 탱크의 해수압을 계측하기 위한 압력센서 소자로서 정전용량식 해수압센서를 제작하여 그 전기적인 특성을 연구하였다. 해수압센서의 기본 재료는 사파이어 웨이퍼와 알루미늄산화물의 세라믹구조물이며, 정밀가공에 의해 각각 센서의 응력을 받는 멤브레인과 세라믹구조물을 가공하였고, 브레이징접합에 의해 해수압센서를 완성하였다.

특히 유한요소해석을 통해 센서에 가해지는 압력에 대해서 정전용량값의 선형성을 확보하였으며, 이를 통해 해수압센서로서의 산업상 이용 가능성을 확인하였다. 또한 전기적인 특성을 조사하기 위해 센서에서 획득되는 정전용량값을 유효한 전압신호로 변환하기 위한 신호처리회로보드를 제작하여 센서 상부면에 부착하였다. 이에 제작한 해수압센서의 초기 정전용량값은 0 bar에서 50 pF정도이며, 가변용량의 경우 5 bar에서 110 pF의 값을 나타내었다. 또한 센서에 가해지는 5 bar 정도의 압력에 대해서는 약 5 V의 출력전압값을 나타내었다.

본 논문에서 제안한 해수압센서는 선박 내 밸러스터

탱크의 해수압 측정용 레벨계측기기에 활용이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부에서 시행한 과학기술 분야 연구개발사업 (2014년 기술이전사업화(특구기술사업)) 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] Y. J. Kim, Y. C. Lee, D. H. Kwon, and B. K. Sohn, *J. of the Korean Sensors Society*, **10**, 26 (2001).
- [2] J. D. Lee, *J. of the Korean Sensors Society*, **13**, 152 (2004).
- [3] M. Yamada and K. Watanabe, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, **46**, 2 (1997).
- [4] S. Som, *Capacitive Differential Pressure Detector*, Patent of USA. No. 5,925,824
- [5] Y. Yamashita, Y. Hosono, and N. Ichinose, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, **37**, 5288 (1998).