

# 세라믹 재료를 이용한 MEMS 센서

양상식  
아주대학교 전자공학과  
ssyang@madang.ajou.ac.kr

## 1. 서 론

MEMS(MicroElectroMechanical Systems)는 초소형 구조물의 제작 기술인 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작되는 초소형 전자기계 시스템을 말한다. 최근 10여 년간 MEMS 기술이 상당히 진척되었고 다양한 마이크로머시닝 기술이 개발되었다. 이에 따라 이를 이용하여 다양한 MEMS 소자의 개발이 이루어지고 있다. 그 중에서도 MEMS 센서는 비교적 간단한 제작 공정과 작은 크기, 그리고 저비용으로 인하여 상품화가 쉽게 이루어지고 있다.

MEMS 센서에는 가속도센서,<sup>1,2,3)</sup> 각속도센서,<sup>4,5)</sup> 압력센서,<sup>6,7)</sup> 초음파센서,<sup>8,9)</sup> 온도센서,<sup>10,11)</sup> 적외선센서,<sup>13,14)</sup> 질량센서,<sup>15,16)</sup> 가스센서,<sup>17,18)</sup> 습도센서<sup>19)</sup> 등 많은 종류가 있다. 이와 같은 여러 가지 센서는 다양한 재료와 구조로 개발되고 있다. 특히 세라믹 재료를 이용함으로써 MEMS 센서 소자의 성능을 향상시키려는 다각적인 시도가 이루어지고 있다. 이 글에서는 세라믹 재료를 이용한 MEMS 센서에 관한 연구 동향을 살펴보자 한다.

## 2. 가속도센서

가속도센서는 관성센서의 하나로서 가운데 있는 질량체에 의한 관성을 이용하여 가속도를 측정한다. Fig. 1은 PZT의 압전효과를 이용한 가속도센서이다.<sup>1,2)</sup> 센서가 가속되면 질량체의 관성력에 의해 PZT의 변형이 일어나면서 발생하는 전위차를 이용하여 가속도를 측정하는 방식이다. Fig. 2는 제작 공정을 보여주는 그림이다. 실리콘 기판을 습식 식각액인 KOH를 이용하여 질량체

를 제작하고 전극과 PZT를 형성하여 완성한다. Fig. 3은 제작된 가속도센서의 SEM사진이다. 질량체가 4개의

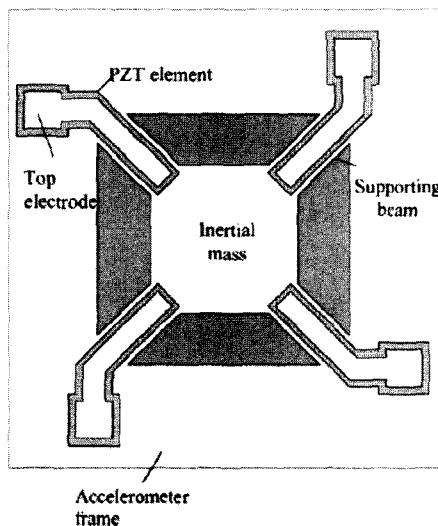


Fig. 1. 가속도센서의 구조

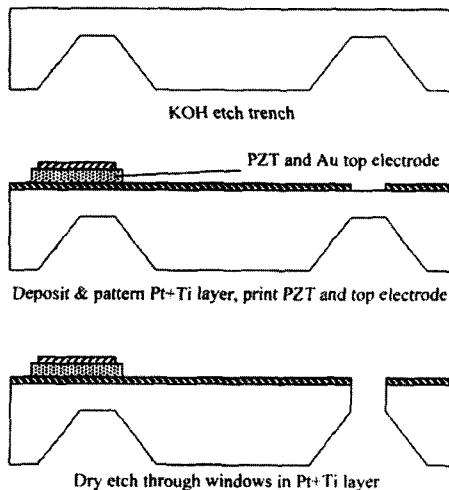
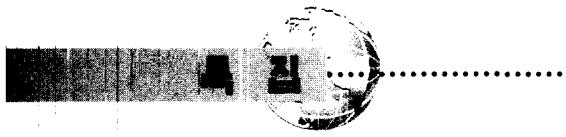


Fig. 2. 제작 공정도



브리지에 연결된 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 또 다른 가속도센서이다.<sup>3)</sup> 모양은 다소 차이를 보이고 있으나 압전체를 이용한 가속도 측정 방식과 구조는 유사하다. Fig. 5는 제작된 센서와 동전의 비교 사진이다. MEMS의 장점인 초소형임을 알 수 있다.

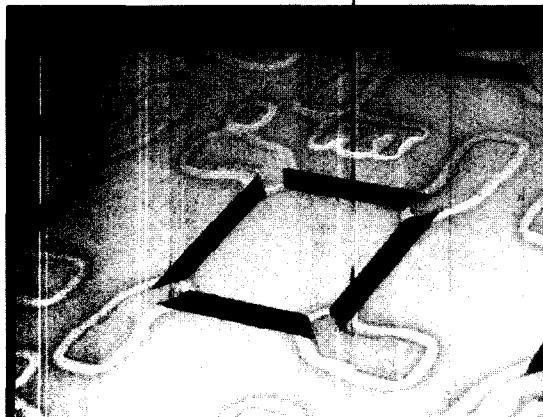


Fig. 3. 제작된 가속도센서의 SEM사진.

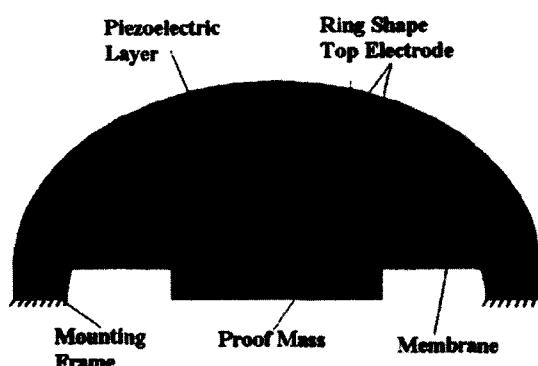


Fig. 4. 가속도센서의 구조

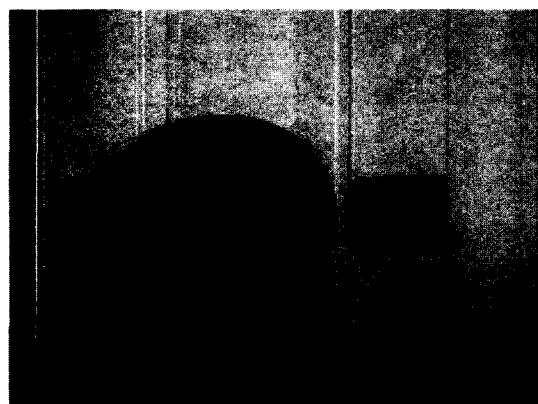


Fig. 5. 가속도센서의 사진.

### 3. 각속도센서

각속도센서도 관성센서의 일종으로 코리올리의 힘을 이용하여 회전각속도를 측정한다. MEMS 각속도센서는 빗살구조 형태의 진동형 자이로스코프가 대부분이지만 압전재료를 이용한 것도 있다. Fig. 6은 압전 세라믹인 PZT를 이용한 각속도센서의 구조도이다.<sup>4)</sup> 유리와 전극층 사이에 질량체가 있다. 작동전극 아래의 PZT에 의해 질량체가 z축 방향으로 진동한다. x축 방향으로 회전이 생기면 y축 방향으로 질량체가 진동하게 된다. 이 진동으로 발생하는 PZT 박막 내의 전하를 감지전극을 통해 측정한다. Fig. 7은 제작 공정도이다. 실리콘 기판 위에 하부 전극을 형성하고 즐겔 방법으로 1 μm 두께의 PZT박막을 형성한다. 그 위에 산화막을 증착하고 패터닝한 후 스퍼터링 방법으로 작동전극과 감지전극을 제작한다. 건식식각 방법으로 실리콘 기판을 식각하여 질량체를 형성한 후 유리와

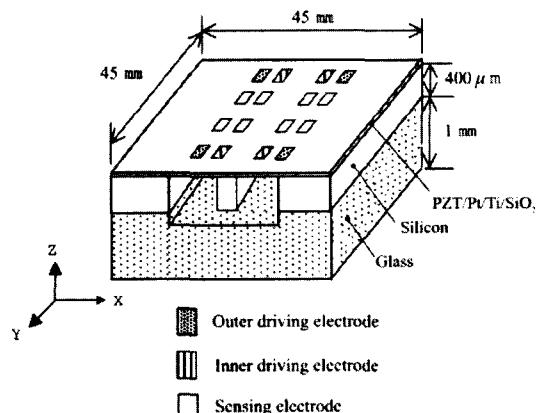


Fig. 6. 각속도센서의 구조

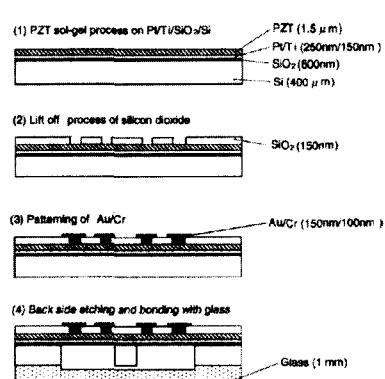


Fig. 7. 제작 공정도

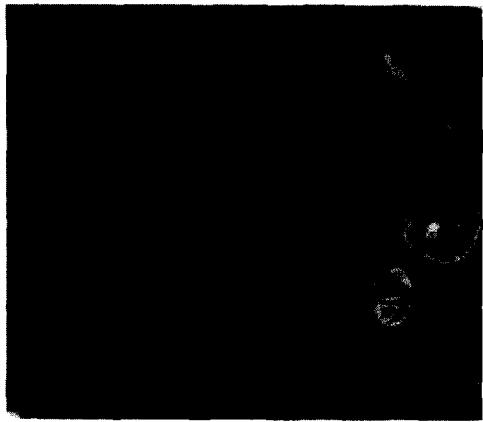


Fig. 8. 제작된 센서의 사진.

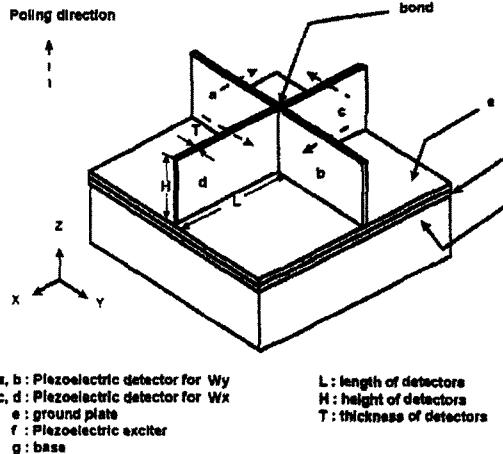


Fig. 9. 2축 각속도센서의 구조

접합하여 완성한다. Fig. 8은 제작된 각속도센서의 사진이다. 형성된 전극 부분을 볼 수 있다.

Fig. 9는 PZT를 이용한 2축 각속도센서의 구조도이다.<sup>5)</sup> 진동을 발생시키기 위한 PZT막이 있는 기판 위에 십자형태의 PZT 감지부가 있다. x축으로 회전하면 c면의 진동으로, y축으로 회전하면 a와 b면의 진동으로 각속도를 측정할 수 있다.

#### 4. 압력센서

압력센서는 크게 압저항형과 용량형으로 나뉜다. 압저항형은 압력에 따라 저항이 변하는 것을 이용한 것이고, 용량형은 정전용량이 변하는 것을 이용한 것이다. 고온에서의 응용을 위해 세라믹을 재료로 압력센서를 제작하



Fig. 10. 압저항형 압력센서.

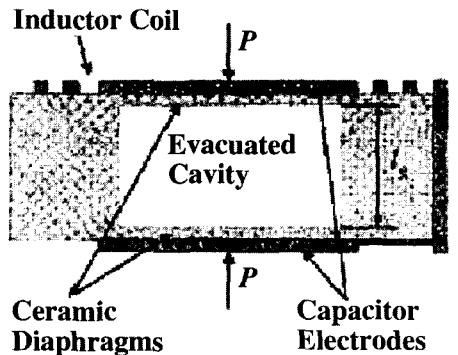


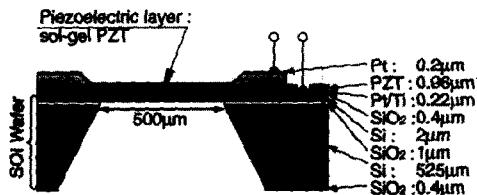
Fig. 11. 정전용량형 압력센서.

기도 한다. Fig. 10은 압저항 재료로 TaN를 사용한 압저항형 압력센서의 구조이다.<sup>6)</sup> 압력에 의해 막이 쉽게 변형되도록 실리콘 기판을 식각한 후 압저항인 TaN와 전극을 스퍼터링을 통하여 형성하고 패터닝하여 제작한다. 압력에 의해 막이 변형되면 압저항의 저항이 변하게 되므로 이것을 이용하여 압력을 측정한다.

Fig. 11은 세라믹(Dupont 951AT)을 박막 구조물의 재료로 이용한 정전용량형 압력센서이다.<sup>7)</sup> 3층의 세라믹을 이용하여 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 방법으로 공동을 형성하고 캐패시터 전극과 인터터 코일을 제작한다. 세라믹 공동과 코일이 LC 공진회로를 이루게 되고, 압력에 의해 공동의 간격이 변하면 정전용량이 달라지므로 공진주파수가 변하게 된다. 이것을 이용하여 압력을 측정한다. 그리고 코일과 외부안테나를 통해 무선 측정이 가능하며, 400 °C에서도 작동하는 것이 확인되었다.

#### 5. 초음파센서

압전 세라믹을 이용한 기존의 초음파 센서를 소형으로



(a) 단위 센서 구조



(b) 센서 어레이 구조

Fig. 12. 초음파센서의 구조

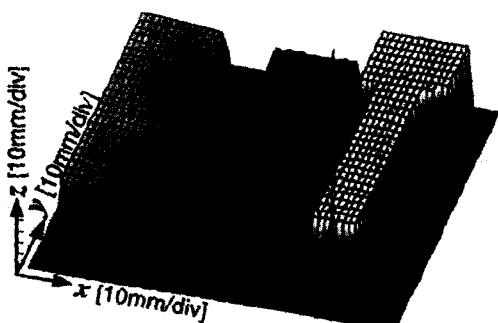


Fig. 13. 초음파센서를 이용한 3차원 이미지.

제작하여 3차원 표면형상 측정에 응용하기도 한다. Fig. 12는 PZT를 이용하여 마이크로머시닝 기술로 제작한 초음파센서이다.<sup>8,9)</sup> 초음파에 대한 감도를 높이기 위해 SOI 웨이퍼를 식각하여 실리콘 박막을 형성한 후 졸겔 방법으로 PZT 박막을 제작한다. 초음파에 의해 PZT에 힘이 가해지면 발생하는 전위를 이용하여 초음파를 측정할 수 있다. 또한 전압을 가해주면 초음파를 발생시킬 수도 있다. Fig. 13은 금속으로 만들어진 ‘PZT’라는 돌출문자를 초음파센서 어레이를 이용하여 형상을 측정한 후 3차원 영상으로 재현한 것이다.

## 6. 온도센서

세라믹을 이용하면 고온에서 이용 가능한 온도센서를

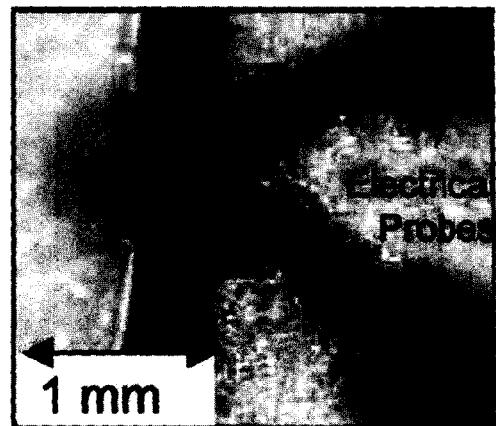


Fig. 14. SiCN 온도센서.

제작할 수 있다. Fig. 14는 SiCN을 이용한 온도센서이다.<sup>10)</sup> 온도에 따른 SiCN의 저항 변화를 이용하여 온도를 측정하는 방식으로 높은 내열성을 갖는다. 광중합 방법으로 제작하는데, 일반적인 포토리소그래피와 유사한 과정을 거친다.<sup>12)</sup>

## 7. 적외선센서

세라믹을 이용한 적외선센서는 열에 의한 저항의 변화를 이용하여 측정하는 블로미터가 대부분이다. Fig. 15는 적외선 감지 재료로서 YBaCuO를 사용한 블로미터이다.<sup>13)</sup> 열적 고립을 위해 등방성 식각액으로 실리콘 기판을 식각하여 공동을 형성하고 MgO층과 YBaCuO층을 스퍼터링 방법으로 각각 400 Å과 2000 Å 두께로 증착하고 전극을 제작한다. MgO층은 YBaCuO층이 잘 증착되도록 하기 위한 것이다. 적외선에 의한 YBaCuO층의 저항 변화로 적외선을 측정하게 된다. Fig. 16은 제작된 적외선센서 어레이의 사진이다. 각 픽셀의 크기는 40

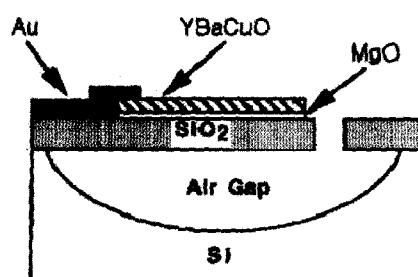


Fig. 15. 적외선센서의 구조



Fig. 16. 적외선센서 어레이의 사진.

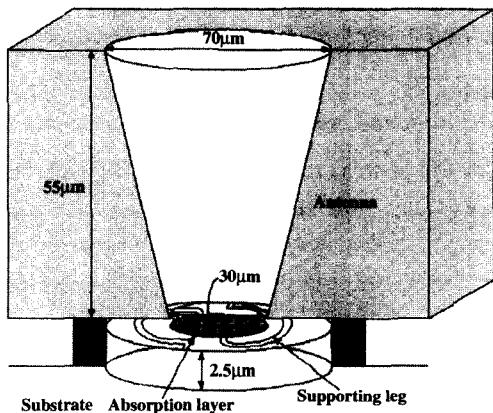


Fig. 17. 혼 안테나 적외선센서의 구조

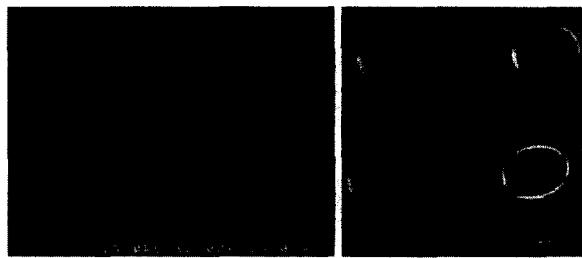


Fig. 18. 적외선센서의 SEM사진.

$\mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$  이다.

Fig. 17은 산화바나듐을 이용한 볼로미터이다.<sup>14)</sup> 적외선 흡수층이 아래쪽에 있고 혼 형태의 안테나가 위쪽에 위치해 있다. 흡수층의 지름은  $30 \mu\text{m}$ 이다. 혼 안테나는 주변에서 들어오는 적외선을 차단해 주는 역할을 하여 감도를 향상시킨다. Fig. 18은 제작된 적외선센서 어레이와 안테나의 SEM사진이다. 센서부와 안테나를 접합하면 볼로미터가 완성된다.

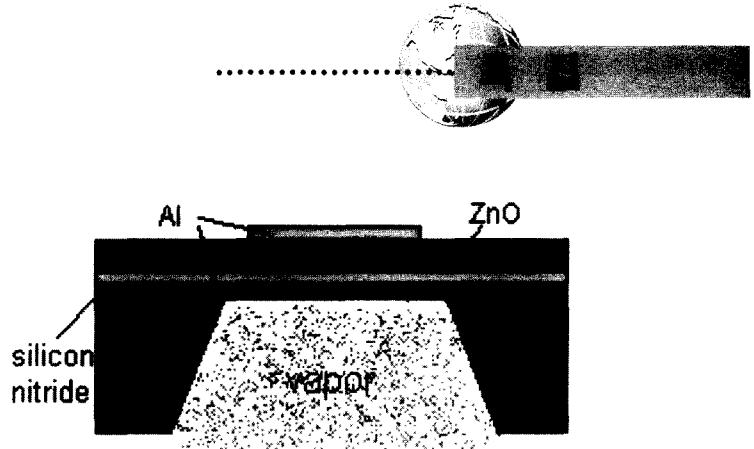


Fig. 19. 질량센서의 구조.

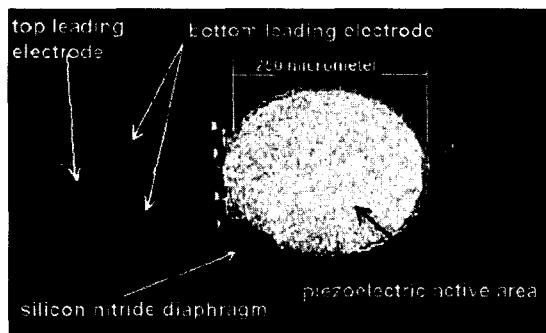


Fig. 20. 제작된 질량센서 사진.

## 8. 질량센서

압전 박막을 이용한 음파로 질량을 측정할 수 있다. 공진기를 제작하여 공진기 박막의 질량 변화에 의한 공진주파수 변화를 측정함으로써 질량 측정이 가능하다. Fig. 19는 TFBAR(Thin Film Bulk Acoustic Resonator) 형태의 센서 구조이다.<sup>15)</sup> TFBAR 센서는 SAW(Surface Acoustic Wave) 센서보다 감도가 좋고, 크기가 작다. 실리콘 기판을 식각하여 질화막 다이아프램을 형성한다. 그 위에 전극인 알루미늄과 압전체인 ZnO를 증착하여 센서를 제작한다. 박막에 흡착되는 증기 혹은 액체의 질량 측정이 가능하다. Fig. 20은 제작된 센서의 사진이다. 질화막 다이아프램 위에 있는 압전 박막의 지름은  $250 \mu\text{m}$ 이다.

## 9. 가스센서

세라믹 재료 중에는 특정 가스에 반응하는 것이 있다.  $\text{SnO}_2$ 는 고온에서 특정 가스에 민감하다. Fig. 21은 가스 센서의 구조를 보여준다.<sup>17)</sup> 실리콘 기판 위에 LPCVD로 폴리실리콘을 증착하여 히터와 온도센서를 제작한다. 그

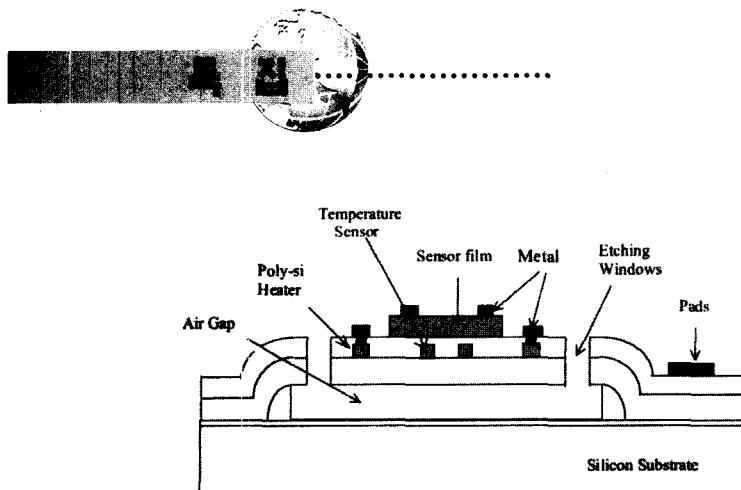


Fig. 21. 가스센서의 구조

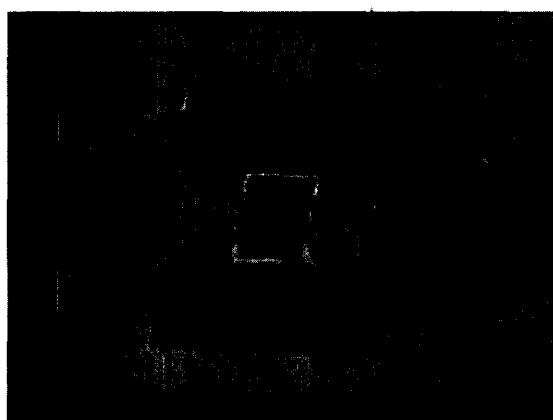


Fig. 22. 가스센서의 SEM사진.

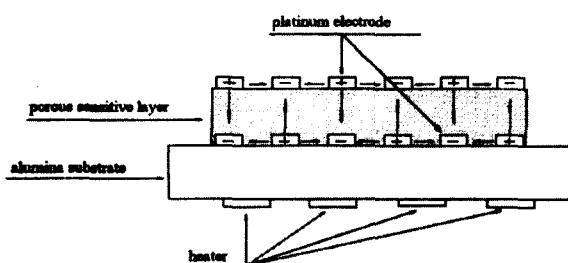


Fig. 23. 습도센서의 구조

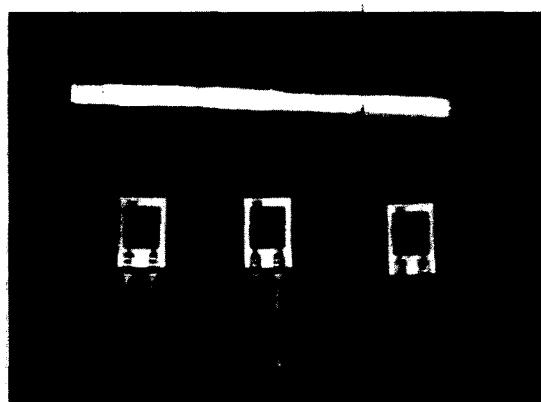


Fig. 24. 습도센서의 사진.

위에 감지부인  $\text{SnO}_2$ 층을 스퍼터링 방법으로 제작한다.  $\text{SnO}_2$ 가 고온에서 가스에 민감하기 때문에 히터를 내장한 구조를 갖는다. Fig. 22는 제작된 가스센서의 SEM사진이다. 제작된 센서는 일산화탄소를 검출하는데 이용된다. 일산화탄소에 의해  $\text{SnO}_2$ 가 환원되면서 감지부의 저항이 낮아지는 것으로 일산화탄소를 검출한다.

## 10. 습도센서

$\text{MnWO}_4$ ,  $\text{NiWO}_4$ ,  $\text{CoWO}_4$ ,  $\text{ZnCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  등은 습도에 민감한 세라믹 재료들로서 MEMS 습도센서에 이용된다. Fig. 23은  $\text{MnWO}_4$ 를 이용한 습도센서이다.<sup>19)</sup> 기판으로는 알루미나를 사용하고, 백금 전극 사이에 감지부인  $\text{MnWO}_4$ 층이 있다.  $\text{LiCl}$ 을 첨가하면 소결온도를 낮출 수 있다.  $\text{MnWO}_4$  층은 감도를 높이기 위해 다공성의 구조로 되어 있다. 따라서 습기가 쉽게 흡수된다. 습기에 의해 세라믹 층의 전도도가 커지게 된다. 습도가 높을수록 저항이 작아지는 것을 이용하여 습도를 측정한다. 알루미나 기판 아래에는 히터가 제작되어 있다. 히터는 수분을 증발시켜 센서를 초기화하는 역할을 한다. Fig. 24는 습도센서의 사진이다. 기판 위에 전극이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

## 11. 결 론

본문에서는 세라믹 재료를 이용한 가속도센서, 각속도센서, 압력센서, 초음파센서, 온도센서, 적외선센서, 질량센서, 가스센서, 습도센서 등에 대한 연구 사례를 살펴보았다. 이와 같이 MEMS 분야에서 세라믹 재료를 이용한 다양한 센서의 개발이 이루어지고 있다. 이 외에도 세라믹 재료는 MEMS의 다른 소자들이나 패키징에도 응용될 수 있다. 이와 같이 다양한 세라믹 재료들을 이용하여 마이크로머시닝 기술로 MEMS 센서를 설계하고 제작함으로써 소형화와 고성능화, 집적화 등을 이루게 되었다.

## 참고문헌

1. S.P. Beeby, N.J. Grabham, N.M. White, "Microprocessor implemented self-validation of thick-film PZT/silicon accelerometer," Sensors and Actuators,

- A92, pp. 168-174, 2001.
2. S.P. Beeby, J.N. Ross, N.M. Whjte, "Design and fabrication of a micromachined silicon accelerometer with thick-film printed PZT sensors," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 10, pp. 322-28 (2000).
  3. L.-P. Wang, R. A. Wolf, Jr., Y. W., K. K. Deng, L. Zou, R. J. Davis, S. T.- McKinstry, " Design, Fabrication, and Measurement of High-Sensitivity Piezoelectric Microelectromechanical Systems Accelerometers," *Journal of Microelectro-mechanical Systems*, **12** [4] 433-39 (2003).
  4. S.-H. Lee, M. Esashi, " Characteristics on PZT ( $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ ) films for piezoelectric angular rate sensor," *Sensors and Actuators, A*, 2004(article in press).
  5. H. Ryoo, Y. J. Lee, Yongrae Roh, "Design and fabrication of a dual-axial gyroscope with piezoelectric ceramics," *Sensors and Actuators, A65*, pp. 54-60 (1998).
  6. I. Ayerdi, E. Castano, A. Garcia- Alonso, J. Garcia, "High-temperature ceramic pressure sensor," *Sensors and Actuators, A60*, pp. 72-75 (1997).
  7. M. A. Fonseca, J. M. English, M. von Arx, M. G. Allen, "Wireless Micromachined Ceramic Pressure Sensor for High-Temperature Applications," *Journal of Microelectromechanical Systems*, **11** [4] 337-43 (2002).
  8. K. Yamashita, H. Katata, M. Okuyama, H. Miyoshi, G. Kato, S. Aoyagi, Y. Suzuki, "Arrayed ultrasonic microsensors with high directivity for in-air use using PZT thin film on silicon diaphragms," *Sensors and Actuators, A97-98*, 302-07 (2002).
  9. Y. Mo, T. Tanaka, K. Inoue, K. Yamashita, Y. Suzuki, "Front-End Processor Using BBD Distribute Delay-Sum Architecture for Micromachined Ultrasonic Sensor Array," *Journal of Microelectromechanical Systems*, **12** [4] 506-12 (2003).
  10. J.S. Kong, K. Maute, D.M. Frangopol, L.-A. Liew, R.A. Saravanan, R. Raj, "A Real Time Human-machine Interface for an Ultrahigh Temperature MEMS Sensor-igniter," *Sensors and Actuators, A105*, pp. 23-30 (2003).
  11. L. Cheng, A. J. Steckl, J. D. Scofield, "Effect of Trimethylsilane Flow Rate on the Growth of SiC Thin-Films for Fiber-Optic Temperature Sensors," *Journal of Microelectromechanical Systems*, **12** [6] 797-803 (2003).
  12. L.-A. Liew, Y. Liu, R. Luo, T. Cross, L. An, V. M. Bright, M. L. Dunn, J. W. Daily, R. Raj, "Fabrication of SiCN MEMS by Photopolymerization of Pre-ceramic Polymer," *Sensors and Actuators, A95* 120-34 (2002).
  13. C. M. Travers, A. Jahanzeb, D. P. Butler, Z. Celik- Butler, "Fabrication of Semiconducting YBACuO Surface-Micromachined Bolometer Arrays," *Journal of Microelectromechanical Systems*, **6** [3] 271-76 (1997).
  14. K. Kim, J.-Y. Park, Y.-H. Han, H.-K. Kang, H.-J. Shin, S. Moon, J.-H. Park, "3D-feed Horn Antenna-Coupled Microbolometer," *Sensors and Actuators, A110*, 196-205 (2004).
  15. H. Zhang, E. S. Kim, "Vapor and Liquid Mass Sensing by Micromachined Acoustic Resonator," *Proc. IEEE MEMS 2003*, 470-73 (2003).
  16. H. Zhang, M. S. Marra, E. S. Kim, C. E. McKenna, M. E. Thompson, "Implantable Resonant Mass Sensor for Liquid Biochemical Sensing," *Proc. IEEE MEMS 2004*, 347-50 (2004).
  17. P. C. H. Chan, G.-Z. Yan, L.-Y. Sheng, R. K. Sharma, Z. Tang, J. K. O. Sin, I-M. Hsing, Y. Wang, "An Integrated Gas Sensor Technology using Surface Micro-machining," *Proc. IEEE MEMS 2001* 543-46 (2001).
  18. M. Graf, S. Taschini, P. Kaser, C. Hagleitner, A. Hieriemann, H. Baltes, "Digital MOS-transistor-based Microhotplate Array for Simultaneous Detection of Environmentally Relevant Gases," *Proc. IEEE MEMS 2004*, 351-54 (2004).
  19. W. Qu, J.-U. Meyer, "Thick-film Humidity Sensor Based on Porous  $MnWO_4$  Material," *Measurement Science and Technology*, **8** 593-600 (1997).

### 양상식

- 1980년 서울대 공대 기계공학과
- 1983년 동 대학원 기계공학과(석사)
- 1988년 U. C. Berkeley 졸업(박사)
- New jersey Institute of Technology 연구 조교수
- 현재 아주대 공대 전자공학부 교수

