

강유전체 박막과 마이크로 가공 기술을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작

최준림*, 이돈희, 남효진, 조성문, 이주행, 김광영, 김성태
금성중앙연구소 소재재료 2실
*금성중앙연구소 ASIC 센터

Pyroelectric Infrared Microsensors Made by Micromachining Technology

J.R. Choi*, D.H. Lee, S.M. Cho, H.J. Nam, J.H. Lee, K.Y. Kim, and S.T. Kim
GoldStar Central Research Laboratory, Materials and Devices 2nd Lab.
*GoldStar Central Research Laboratory, ASIC Center

강유전체 박막과 마이크로 가공기술을 이용하여 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 초전형 적외선 센서는 $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ ($x=0.05$) (PLT) 강유전체 박막 커패시터를 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 백금 전극이 증착된 MgO 기판상에 결정 성장시킨 구조를 갖고 있다. 스퍼터링된 PLT 박막은 높은 c-축 결정 구조를 가지므로 센서로 사용하기 위한 poling 처리 과정이 불필요하다. 이는 적외선 이미지 센서를 구현함에 있어서 수율 향상에 필수적인 요소이다. 마이크로 가공 기술을 사용하여 센서의 열용량을 극소화 함으로써 센서의 효율을 최대화하였다. 제작된 센서의 상부에 폴리이미드를 코팅하고 MgO 기판을 선택적으로 식각하여 코팅된 폴리이미드가 강유전체 박막 커패시터를 지지하고 있는 구조를 구현하였다. 이렇게 제작된 센서의 감도는 상온에서 $8.5 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \sqrt{\text{Hz/W}}$ 로 측정되었으며 이는 마이크로 가공 기술을 사용하지 않은 경우보다 약 100 배의 감도 향상을 가져왔다.

서론

焦電 현상이란 고체에서 온도 변화에 의한 자발 분극의 변화로 표면 전하의 차이를 유발시키는 현상을 말한다. 강유전체의 이 焦電형 특성을 이용하여 상온 동작용 적외선 이미지 센서를 구현하려는 시도는 주로 8-12 μm 파장의 적외선을 방출하는 인체의 감지를 위한 목적으로 사용되어왔다. 이는 액체 질소 온도로 냉각할 필요가 없으며 적외선 파장에 대한 의존도가 적은 이점으로 인하여 주로 민수용으로 사용되고 있다. 또한 강유전체를 실리콘 CCD 와 결합하여 적외선 CCD 를 구현한 실례도 발표되었다.^[1] 이러한 센서는 강유전체 단결정 또는 세라믹으로 제조되었으나 적외선 이미지를 구현하기에는 부족한 감도와 신호처리의 어려움 등으로 인하여 실용화되지 못하였다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 강유전체 박막을 이용한 적외선 센서가 제작되었으며 이는 poling 처리 없이도 높은 c-축 배향성을 지닌 박막과 마이크로

로머시닝 기술을 이용하여 센서의 열용량을 현저히 줄인 구조를 갖고 있다.^[2] 또한 실리콘 표면 마이크로 가공기술을 이용한 높은 감도의 적외선 센서를 제작하였다.^[3] 본 연구에서는 높은 c-축 배향성을 갖는 강유전체 박막과 마이크로 가공기술을 이용한 적외선 센서 어레이의 제작과 특성을 평가하였다.

焦電형 적외선 마이크로 센서의 제작

본 연구에서 제작한 어레이 센서는 고감도의 센서를 제작하기 위하여 단결정 MgO 기판에 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 5% 의 La가 도핑된 $PbTiO_3$ (PLT)박막을 증착한 후 MgO 기판을 식각하여 제작하였다. 제작 공정은 그림 1에 나타난 바와 같이 (100) 방향의 MgO 기판에 (100) 방향의 Pt 를 수백 Å 증착하여 하부 전극으로 사용하고 c-축 배향성이 높은 (100) 방향의 PLT 박막을 증착한 후 적외선 흡

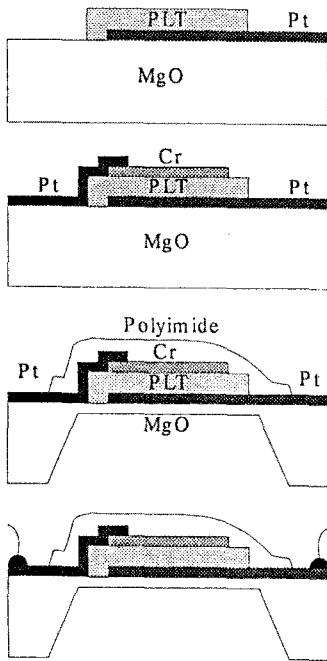
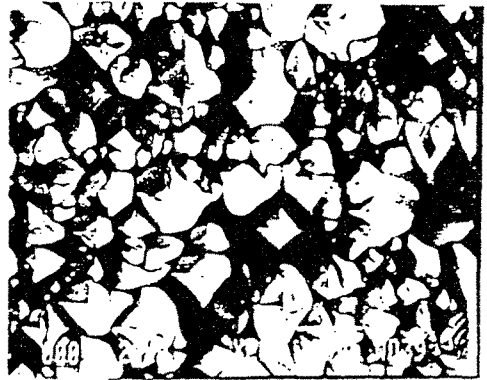
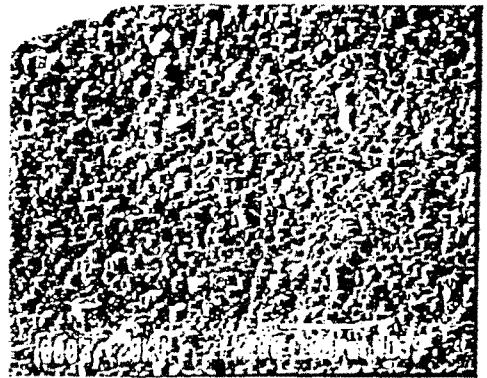


그림 1. 적외선 센서의 공정도

수율이 높은 Cr 상부 전극을 흡수 적외선의 skin depth 보다 얇게 증착하고 Al 본딩 패드를 연결한다. 이때 상하부 전극은 높은 적외선 흡수율과 낮은 비저항, 그리고 PLT 박막이 c-축으로 성장하기에 알맞은 상태의 두께로 증착되어야 한다.^[4] 센서의 보호를 위해 폴리이미드로 전면을 코팅하게 되는데 이는 감지막의 보호와 센싱부 후면의 식각 공정시 상대적으로 취약한 센싱부를 지탱하기 위함이다. 전면 공정이 완성된 후 센서의 감도를 높이기 위하여 기판의 후면을 식각하는데 이는 센싱부의 열손실을 극소화 함으로서 감도를 극대화하기 위함이다. MgO 기판의 식각을 위해서 물로 50% 희석된 인산 용액을 사용하였다. 그림 2 에 나타난 바와 같이 100% 인산과 50% 인산을 식각 용액으로 사용했을 때 MgO 기판의 표면 상태를 살펴보면 50% 인산 용액의 경우 100% 인산 용액보다 이방성 식각율은 떨어지나 균일한 표면과 식각율을 얻을 수 있으므로 실제 공정에서 채택되었다. 온도 변화에 따른 MgO 기판의 식각율은 그림 3에 나타나 있다. 식각시 용액의 온도 변화를 최소화하기 위하여 실리콘 오일의 중탕조를 사용하였으며 시편은 식각조 내에 수직으로 배치하고 마그네틱 스테어링을 행하여 용액의 공급이 원활히 이루어지도록 하였다. 센싱부의 안정성을 고려하여 기판의 두께가 약 20 μm 가 되도록 식각을 조절하여 공정이 완성된다. 기판의



(a)



(b)

그림 2. 인산에서 식각된 MgO 기판의 표면 상태
(a) 100% 인산 (b) 50% 인산

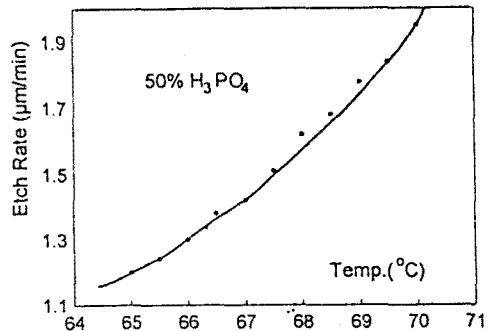


그림 3. 온도의 변화에 따른 50% 인산에서의 MgO 식각율

식각 후 남은 MgO 의 두께가 얇을수록 센서의 열손실은 감소하나 안정성의 문제가 발생하기 때문에 약간의 열손실을 감수하고서도 식각후 기판의 두께를

일정하게 유지하였다.^[5] 그림 4에 완성된 센서가 나타나 있으며 전후반 공정이 끝난 센서는 패키징되어 실리콘 필터로 sealing 하여 완성된다.

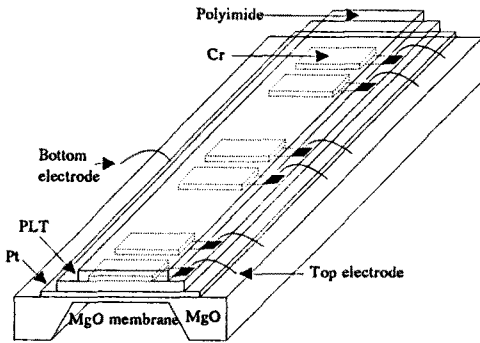


그림 4. 적외선 어레이 센서의 구조도

센서의 특성 측정

제작된 센서의 특성을 측정하기 위하여 500 °K의 흑체 furnace 에서 방사되는 적외선을 단락시켜 센서에 입사시켰다. 센서의 출력 신호를 얻기 위해 임피던스가 큰 전류 소스인 센서를 저잡음 JFET (2SK30A) 을 source follower 로 사용하여 임피던스가 낮은 전압 소스로 변환시켜 사용하였다. 센서와 JFET 간의 연결부는 노이즈에 무척 민감하므로 외부 전자장에 의한 간섭을 방지하기 위하여 실리콘 필터부를 제외하고는 도체로 만든 패키지에 sealing 하였다. 또한 JFET 의 입력 저항과 출력 전류, 그리고 노이즈 특성을 고려하여 소스 저항의 바이어스를 약 1V 가 되도록 조정하였다. 실제 응용을 위하여 증폭단을 설계할 때 센서의 출력이 증폭부로 전달될 수 있도록 증폭부의 이득과 임피던스, 커패시턴스를 matching 시켜 출력을 얻었다. 그림 5에 적외선 입력 펄스에 대한 센서의 출력 파형이 나타나 있다. 그

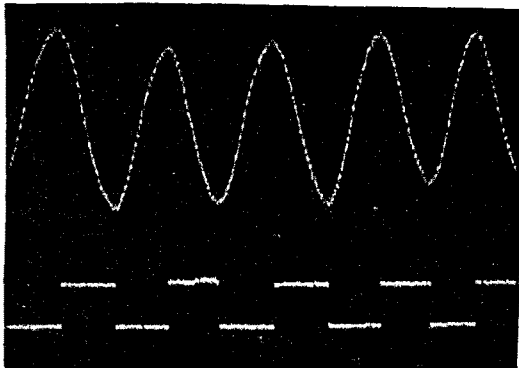


그림 5. 적외선 입력 펄스에 대한 센서의 출력 파형

림 6에 적외선 센서의 출력과 입사되는 적외선의 주파수에 따라 마이크로 가공기술을 사용하여 기판을 식각한 경우와 마이크로 가공 기술을 사용하지 않은 구조와의 감도 차이를 나타내었다. 마이크로 가공 기술을 사용하여 열손실을 최소화시킨 경우 약 100배 정도의 감도 향상을 가져왔으며 센서의 비검출능은 $8.5 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}/\text{W}}$ 로 측정되었다. 이와 같이 높은 감도는 주로 c-축 배향성을 갖는 PLT 막막의 성장과 센서의 열손실을 극소화 시킨 마이크로 가공 기술을 사용하여 얻을 수 있었다.

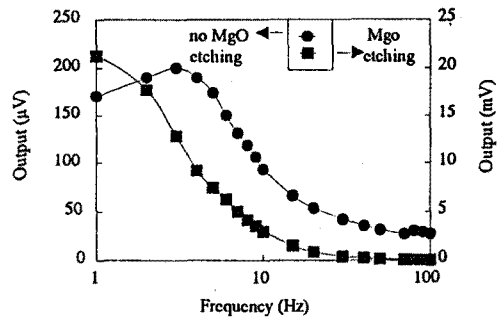


그림 6. 입사 적외선의 주파수에 따른 센서의 출력 비교

참고 문헌

- [1] M. Okuyama et. al., "Basic Characteristics of an Infrared CCD with a Pyroelectric Gate," Sensors and Actuators, A21-A23, pp465-468, 1990.
- [2] R. Takayama et. al., "Pyroelectric Infrared Array Sensors Made of C-axis Oriented La-modified PbTiO₃ Thin Films," Sensors and Actuators, A21-A23, pp508-512, 1990.
- [3] D. L. Polla, C. Ye, and T. Tamagawa, "Surface Micromachined PbTiO₃ Pyroelectric Detectors," Applied Physics Letters, 59 (27), pp3539-3541, 1991.
- [4] J. Lee and J. R. Choi, "Infrared Wave Model of a Pyroelectric Detector," 5th International Symposium on Integrated Ferroelectrics, Colorado Springs, 1993.
- [5] J. R. Choi et. al., "Epitaxially Grown Pyroelectric Sensor Array for Haman Body Detecton," 6th International Symposium on Integrated Ferroelectrics, Monterey, 1994.