

표면 마이크로 가공기술을 이용한 비냉각 초전형 적외선 검출소자 제작

장철영, 고성용, 이석현, 김동진, *김진섭, **이재신, 이정희, ***한석룡, 이용현
경북대학교, *인제대학교, **울산대학교, ***한국전자
전화 : (053) 950-5520 / 팩스 : (053) 950-5520

Fabrication of Uncooled Pyroelectric Infrared Detector using Surface Micromachining Technology

Chel-Young Jang, Sung-Yong Ko, Suk-Hun Lee, Dong-Jin Kim, *Jin-Sup Kim,
Jae-Shin Lee, Jung-Hee Lee, *Suk-Yong Han and Yong-Hyun Lee
Kyungpook National University, *Inje University, **University of Ulsan,
***Korea Electronics Co. Ltd
E-mail : yhlee@ee.knu.ac.kr

Abstract

Uncooled pyroelectric infrared detectors based on BST($\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$) thin films have been fabricated by RF magnetron sputtering and surface micromachining technology. The detectors form BST thin film ferroelectric capacitors grown by RF magnetron sputtering on N/O/N($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) membrane. The sputtered BST thin film exhibits highly c-axis oriented crystal structure that no poling treatment for sensing applications is required. This is an essential factor to increase the yield for realization of an infrared image sensor. surface-micromachining technology is used to lower the thermal mass of the detector by giving maximum sensor efficiency. Gold-black is evaporated on top of the sensing elements used the thermal evaporator. fabricated uncooled pyroelectric infrared detectors is highly output voltage at the low temperature(1 °C).

I. 서 론

초전 특성을 이용한 열 검지형 적외선 센서는 일반 적으로 복사체로부터 방사된 적외선을 초평시키고 초 평된 적외선을 흡수하여 열로 변환시키는 적외선 흡수 체, 변환된 열에 의해 저항, 커패시턴스 및 열기전력 등 검지변수의 변화를 발생시키는 검지재료, 적외선 흡수체에 수집된 열의 기판을 통한 손실을 방지하기 위한 열차단막 및 열차단막을 지지하는 기판 등으로 구성된다[1,2]

검지재료와 함께 적외선 흡수체 및 열차단막의 특성 이 검지도, 분광 응답도, 열 감응도 및 응답속도 등 열 검지형 적외선 센서의 성능을 결정하는 핵심 요소가 된다. 그러므로 열차단막의 열전도도 및 스트레스 문 제를 개선하기 위하여 LPCVD 공정을 이용하여 Si_3N_4 와 SiO_2 를 샌드위치 형태로 증착하여 내재 스트레스가 상쇄되도록 하여야 한다[1,3,4].

적외선 흡수체는 적외선 센서에서 열차단과 더불어 센서의 분광응답 특성을 결정하는 중요한 요소이다. 흡수체의 적외선 흡수도 또는 방출도는 파장에 따라 달라지게 되므로 입사된 적외선에 의해 흡수체에서 변 환되는 열량도 파장에 의존하게 되므로, 센서의 적외 선 분광응답 특성은 센서에서 사용된 흡수체의 적외선 흡수도 또는 방출도에 의해 크게 좌우된다[5,6].

강자성체의 초전특성을 이용한 상온 동작용 적외선 검지 소자는 주로 8~12 μm 파장의 적외선을 방출하는 인체의 감지를 위한 목적으로 사용되어 왔다. 이는 액체 질소 온도로 냉각할 필요가 없으며 적외선 파장에 대한 의존도가 적은 이점으로 인하여 주로 민수용으로 사용되고 있다[7].

본 연구에서는 높은 적외선 흡수도를 가지는 Au-black 과 상온에서 동작이 가능하도록 조성을 맞춘 BST($(\text{Ba}_{0.66}\text{Sr}_{0.34})\text{TiO}_3$) 박막을 표면 마이크로 가공 기술을 이용하여 열 차단을 시킨 적외선 검지 소자를 제작하고, 그 특성을 측정하였다.

II. 적외선 검지 소자 제작

비저항이 5-10 $\Omega \cdot \text{cm}$ 이고 (100) 면의 n형 실리콘 웨이퍼에 Ion Implantation을 사용하여 공극(Air-gap)이 형성 될 부분만 선택적으로 n^+ 영역을 형성하였다.

검지 소자의 지지를 위해 먼저 poly-Si를 약 700 nm 증착하고 그 위에 150 nm-Si₃N₄ / 300 nm-SiO₂ / 150 nm-Si₃N₄ (N/O/N) 박막을 증착하였다. Si₃N₄ 박막은 780 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온 LPCVD 장비를 이용하여 290 mTorr의 압력으로 SiH₂Cl₂ 와 NH₃ 의 혼합가스를 사용하여 증착하였고, SiO₂ 박막은 440 $^{\circ}\text{C}$ 의 저온 LPCVD 방법으로 20 mTorr 의 압력하에서 SiH₄, N₂ 및 O₂ 의 혼합가스를 사용하여 증착하였다.

N/O/N 박막을 RIE를 사용하여 양극반응에 필요한 window를 형성하였다.

하부전극으로는 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 Pt/Ti를 각각 200 nm / 20 nm 의 두께로 증착하였으며, Ti는 Pt와 N/O/N 박막 사이의 접착력 개선을 위하여 사용하였다. 증착된 Pt/Ti를 습식식각을 이용하여 패터를 형성한 후, 양극반응을 위한 뒷면전극으로 Thermal Evaporator를 이용하여 300 nm 의 두께로 Aluminum을 증착하였다.

양극 반응은 자체 제작한 장치를 이용하여 2.5 V의 정전압을 15분 동안 인가하여 n^+ 부분을 PSL (Porus Silicon Layer) 형태로 만든 후 5 %wt 의 NaOH 용액을 이용하여 공극(Air-gap)을 형성하였다. 이 때 전류 밀도는 약 30 mA/cm² 이다.

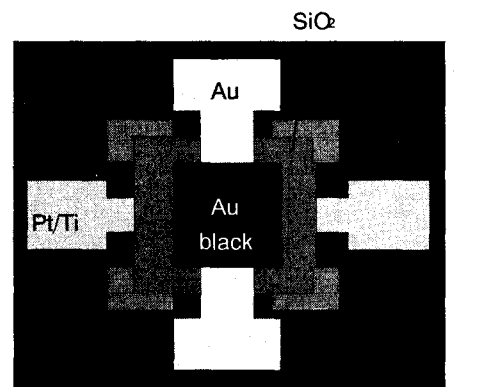
BST 박막은 Sr 과잉함량이 4 m/o 인 $(\text{Ba}_{0.66}\text{Sr}_{0.34})\text{TiO}_3$ 타겟을 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 하부전극 위에 600 $^{\circ}\text{C}$ 의 기판온도로 약 1 μm 의 두께로 증착하였고, HF:H₂O=1:10 식각 용액으로 습식 식각하여 패터를 형성하였다.

상하부 전극사이의 전기적 절연을 위해 SiO₂를 고주

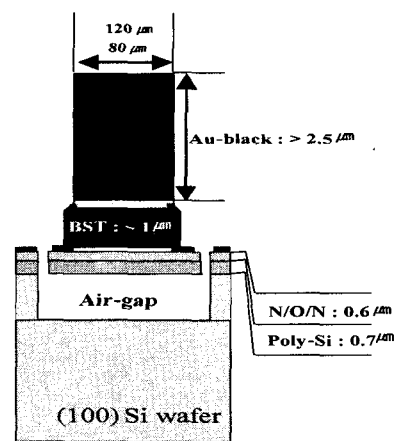
파 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 300 nm 증착하였다.

상부전극은 진공 증착기를 사용하여 진공을 깨트리 지 않고 약 300 nm 두께로 Au/NiCr을 증착하고, 감광액 lift-off 방법으로 패터를 형성하였다.

적외선 흡수체로는 넓은 파장범위에 걸쳐 높은 흡수도를 갖는 Au-black를 선택하였다. Au-black은 진공 증착기를 사용하여 N₂ 가스를 잔류기체로 Au를 1 Torr에서 900 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 면밀도를 갖도록 증착하여 감광액 lift-off 방법으로 패터를 형성하였다. 그림 1에 제작된 검지 소자를 나타내었다.



a. 정면도



b. 단면도

그림 1. 제작된 적외선 검지 소자

III. 적외선 검지 소자의 측정 및 결과

그림 2에는 인가전압이 2.5 V이고, HF:H₂O=1:1의 반응용액으로 15 분 동안 양극 반응을 했을 때의 공극 (Air-gap)이 형성된 SEM 사진을 나타내었다. 최소한의 열 차단이 되기 위해서는 15분 정도의 반응 시간이 필요하다.

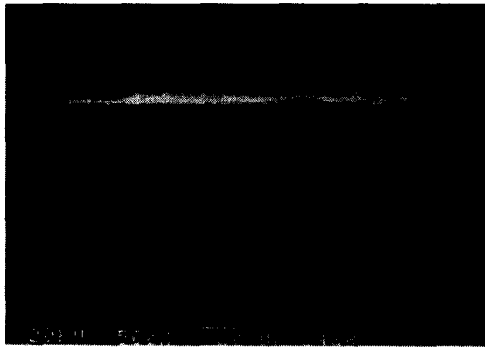


그림 2. 양극반응 후의 단면 SEM 사진

그림 3에는 제작된 검지 소자의 단면 SEM 사진을 나타내었다. 그림 3으로부터 소자 제작공정이 잘 수행되었음을 알 수 있다.

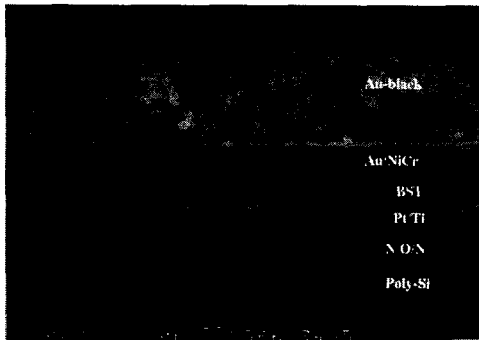


그림 3. 제작된 소자의 단면 SEM 사진

실리콘 표면 마이크로머시닝 방법으로 열차단 된 검지 소자의 누설전류 및 적외선 검지 성능지수를 측정하였다. HP-4145B 반도체 파라미터 분석기를 이용하여 인가전압을 40 V 로 하였을 경우, BST 막막의 누설전류는 약 6.0 nA로 우수한 절연특성을 나타내었다. 또 HP-4192 임피던스 분석기를 이용하여 측정한 정전용량은 17.2 pF 였다.

제작된 적외선 검지 소자를 그림 4와 같이 자체 제

작한 측정장치를 이용하여 출력 파형을 측정하였다. IR source는 파장이 0.94 μm 이고, 단위 면적당 방사 에너지가 약 500 mW/cm^2 인 적외선 방출 다이오드이다. 측정 온도의 범위는 30 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1 $^{\circ}\text{C}$ 이며, 초핑 주파수의 범위는 10 Hz ~ 1 Hz 까지로 하였다. 각 초핑 주파수별로 측정온도가 1 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 큰 출력을 나타내었다. 그림 5에 측정온도 1 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각 초핑 주파수에 따른 출력을 나타내었다.

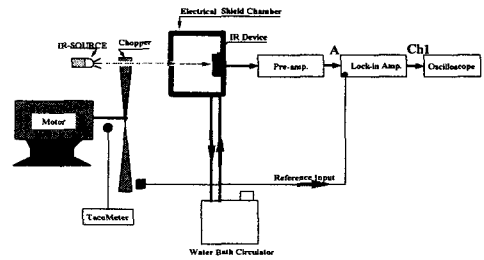


그림 4. 적외선 응답특성 측정 시스템

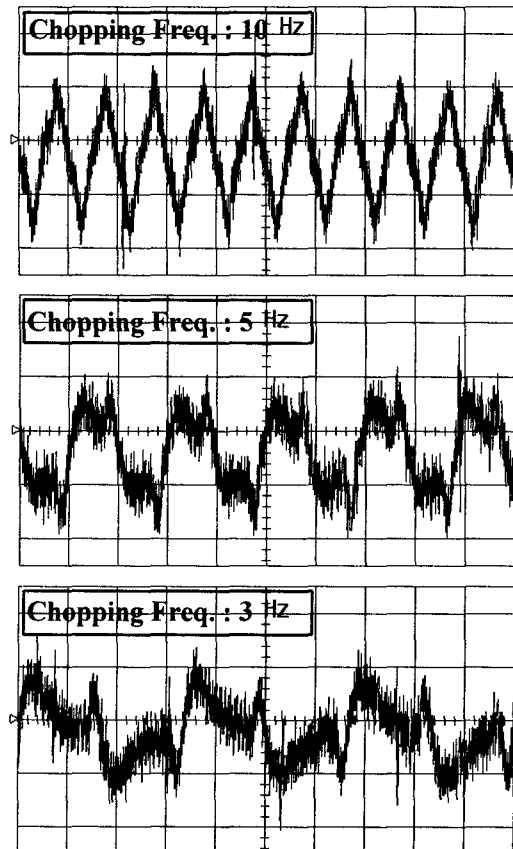


그림 5. 측정온도 1 $^{\circ}\text{C}$ 에서 초핑 주파수에 따른 출력 파형

IV. 결 론

표면 마이크로 머시닝 방법을 이용하여 초전형 적외선 검지 소자를 제작하고 그 특성을 측정 하였다.

N/O/N 박막의 경우 표면 마이크로 머시닝 후에도 박막이 무너지거나 크랙 발생이 전무하였다. 그러므로 강한 전류밀도를 가지고 표면 마이크로 머시닝을 할 경우에 지지대로 N/O/N 박막이 적합함을 알 수 있다.

적외선에 대한 응답특성 측정에서는 검지 소자의 측정 온도를 30 °C ~ 1 °C의 범위로 변화시키고, 초핑 주파수를 10 Hz, 5 Hz 및 3 Hz로 변화시켰을 때, 일정한 온도에서 초핑 주파수가 감소함에 따라 검지 소자의 출력전압 파형의 첨두치가 약간 증가하였으며, 온도가 감소함에 따라 초핑 주파수에 따른 출력 전압이 증가하는 변화가 나타났다. 특히 5 Hz 이하의 초핑 주파수에서 온도가 5 °C 이하로 내려감에 따라 출력 전압의 파형이 구형파와 같은 형태로 바뀌는 현상이 나타나는데 이런 현상은 열 잡음의 감소 및 검지 소자의 비교적 큰 열 시정수 때문인 것으로 판단된다. 또한 증착된 BST 박막의 조성이 변화하기 때문이다.

그러므로 본 연구에서 제작된 초전형 적외선 검지 소자를 열 영상 시스템에 적용하기 위해서는 열 시정수를 줄여서 동작속도를 증가시켜야 하고, BST 박막의 조성제어에 대한 연구가 있어야 한다.

감사의 글

본 연구는 민군겸용 기술 개발 사업의 일환으로 한국 전자(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] T. Elbel, "Miniaturized thermoelectric radiation sensors," *Sensors and Materials*, Vol. 3, No. 2, pp. 97-109, 1991.
- [2] B. Willing et al., "Gas spectrometry based on pyroelectric thin film arrays integrated on silicon," *Digest of Technical Papers of Transducers '97*, pp. 1245-1248, 1997.
- [3] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film SiO₂-Si₃N₄ sandwich system," *Thin Solid Films*, Vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [4] 김명규 등, "스트레스 균형이 이루어진 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 유전체 멤베레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995.

[5] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, *Infrared detectors and systems*, A Wiley-Interscience Publication, 1996.

[6] 오광식 등, "질소가스 분위기의 저진공으로 증착된 Au-black의 적외선 흡수도" *전자공학회논문지*, 제37권, 제2호, pp. 105-113, 2000.

[7] M. Okuyama et. al., "Basic Characteristics of an Infrared CCD with a Pyroelectric Gate," *Sensors and Actuators*, A21-A23, pp. 465-468, 1990.