

論文2001-38SD-3-9

유전체 멤브레인에 의해 열차단된 비냉각 초전형 박막 (Ba,Sr)TiO₃ 적외선 검지기

(Uncooled Pyroelectric Thin-film (Ba,Sr)TiO₃ Infrared Detector Thermally Isolated by Dielectric Membrane)

高 誠 庸 *, 張 徹 榮 *, 金 東 煥 *, 金 鎮 燮 **, 李 在 一 ***
李 正 熙 *, 韓 錫 龍 ****, 李 龍 鉉 *

(Sung-Yong Ko, Cheol-Yeong Jang, Dong-jin Kim, Jin-Sup Kim, Jae-Shin Lee, Jung-Hee Lee, Suk-Ryong Hahn, and Yong-Hyung Lee)

요 약

Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 멤브레인에 의해 실리콘 기판으로부터 열차단된 비냉각 초전형 박막 (Ba,Sr)TiO₃ 적외선 검지기를 제작하고, 적외선 검지기의 특성을 논의하였다. 25℃의 공기중에서 초핑주파수가 1 Hz일 때 적외선 검지기는 약 168.8 V/W의 비교적 높은 전압 감응도를 나타내었으나, 매우 작은 신호대잡음비 때문에 약 2.6×10⁴cm·Hz^{1/2}/W의 낮은 비검지도를 나타내었다. 또한 출력파형의 초핑주파수 및 온도 의존성에 대한 정성적인 해석으로부터 적외선 검지기의 열잡음전압 및 열시정수가 모두 상당히 크다는 것을 알 수 있었다.

Abstract

Uncooled pyroelectric thin-film (Ba,Sr)TiO₃ infrared detectors thermally isolated from Si-substrate by Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄-membrane have been fabricated, and figures of merit for detectors were examined. The detector at 25℃ in air showed relatively high voltage responsivity of about 168.8 V/W and low specific detectivity of about 2.6×10⁴ cm·Hz^{1/2}/W at 1 Hz-chopping frequency because of very small signal-to-noise voltage ratio. It could be found that both thermal noise voltage and thermal time constant of the detector were very large by analyzing dependences of output waveforms on chopping frequency and temperature.

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

** 正會員, 仁濟大學校 電子情報通信工學部
(School of Electronic and Telecommunication Engineering, Inje University)

*** 正會員, 蔚山大學校 材料金屬工學部
(School of Materials and Metallurgical Engineering, University of Ulsan)

**** 正會員, 韓國電子(株) 綜合研究所
(R & D Center, Korea Electronics Co., Ltd.)

※ 본 연구는 1998년 한국전자(주)의 위탁연구비에 의해 수행되었음.

接受日字:2000年11月1日, 수정완료일:2001年3月5日

I. 서 론

강유전체의 초전특성을 이용하는 열 검지형 박막 적외선 검지기는 3~5 μm 또는 8~12 μm의 초핑된 적외선의 흡수를 통해 적외선으로부터 생기는 열을 수집하는 적외선 흡수체, 열 또는 온도변화에 의한 분극전류를 발생시키는 초전재료, 적외선 흡수체에 수집된 열의 기판을 통한 손실을 방지하기 위한 열차단막 및 열차단막을 지지하는 기판 등으로 구성되고, 적외선 흡수체, 초전재료 및 열차단막 등의 구성요소가 적외선 검지기의 성능지수에 큰 영향을 미친다^[1].

적외선 흡수체는 검지기와 기판 사이의 열차단과 더불어 열 검지형 적외선 검지기의 분광응답 특성을 결

정하는 중요한 요소이다. 적외선 흡수체의 흡수도는 파장에 따라 변하고, 따라서 복사된 적외선에 의해 적외선 흡수체에 수집되는 열량도 파장에 의존하게 되므로, 적외선 분광응답 특성은 적외선 흡수체의 흡수도에 크게 좌우된다^[2]. 적외선 흡수체로서 주로 Cr 또는 NiCr 등의 금속박막이 사용되었으나, 근래에 와서는 근적외선에서부터 원적외선까지의 광범위한 적외선 파장영역에 걸쳐 굉장히 높은 적외선 흡수도를 갖는 Au-black 또는 Pt-black이 채용되고 있다^[1,3].

초전형 적외선 검지체료로서 PZT, PLT, PST 및 BST 등의 다양한 세라믹 재료와 PVDF 중합체 및 VDF/TrFE 중합체 등의 고분자 재료가 있고, 현재 벌크 형태의 강유전체 세라믹을 검지체료로 하여 제작된 초전형 적외선 검지기를 화소로 사용하는 비냉각 열영상 검출기가 군사용 및 민수용으로 실용화 되어 있으나, 세라믹 재료의 균일한 조성유지 및 식각에 상당히 어려운 문제점이 있는 것으로 알려져 있다^[4]. 최근에는 화소 어레이와 신호처리 회로를 동일 칩에 집적하기 위해 MOCVD 또는 스퍼터링 방법 등에 의한 박막 초전체료의 개발에도 많은 노력이 기울여지고 있다. 박막 검지체료를 사용하면, 검지체료와 기판사이의 열차단이 비교적 용이하고, 검지체료의 열용량이 작게 되므로 적외선 검지기의 성능이 향상될 뿐만 아니라, 초전형 벌크 세라믹 검지체료에서 필수적인 분극화 공정이 불필요하게 된다^[5,6].

적외선 검지기와 기판 사이의 열차단막으로서 비교적 열전도도가 크고 두꺼운 SiO₂/Si 멤브레인이 열 검지형 박막 적외선 검지기에서 처음으로 사용되었다. 그 후 열차단을 개선하기 위해 실리콘보다 열전도도가 훨씬 작은 SiO₂, SiO₂/Si₃N₄ 또는 SiO₂/Si₃N₄/SiO₂ 멤브레인이 열차단막으로 사용되었으나, 이 경우에는 실리콘 기판에 의해 이들 각각의 유전체막에 나타나는 스트레스들 사이의 불균형 때문에 멤브레인이 평탄하지 못하거나 깨어지는 문제점이 있었다. 우수한 열차단 특성 및 스트레스 안정성을 동시에 얻을 수 있는 열차단막으로서 저온 및 고온으로 각각 저압화학기상증착된 SiO₂ 및 Si₃N₄ 박막의 조합과 실리콘 기판의 미세가공으로 제조되는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 멤브레인이 제안되어, 열차단이 요구되는 여러 가지 열 검지기에서 응용되고 있다^[7,8].

본 연구에서는 하이브리드 비냉각 적외선 검지기에서 초전형 적외선 검지체료로 사용되어 온 세라믹 벌

크 (Ba,Sr)TiO₃(BST)를 박막화 하여, 박막 BST를 적외선 검지체료로 하는 모노리딕 비냉각 적외선 검지기를 제작하고자 하였다. 질소가스 분위기의 저진공 증착으로 만들어진 Au-black^[9]을 적외선 흡수체로 하고, 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 BST 박막^[10]을 적외선 검지체료로 하며, 또한 고온 및 저온에서 각각 저압화학기상증착된 Si₃N₄막 및 SiO₂막의 조합과 실리콘 기판의 이방성 식각으로 얻어지는 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(N/O/N) 멤브레인^[11]에 의해 실리콘 기판으로부터 열차단된 비냉각 초전형 박막 적외선 검지기의 제작 및 특성에 대해 논의하였다.

II. 적외선 검지기의 제작

비냉각 초전형 박막 적외선 검지기를 제작하기 위한 기판으로는 비저항이 5~20 Ω·cm이고, 양면이 평면으로 연마되었으며, 직경 5인치의 n형 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 적외선 검지기의 제작공정 순서를 그림 1에 나타내었다.

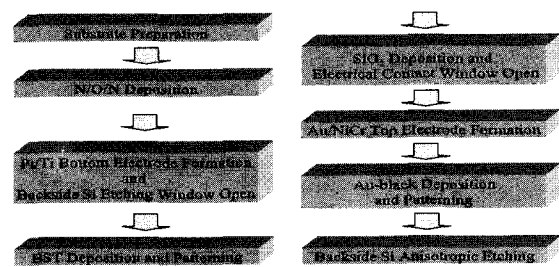


그림 1. 적외선 검지기의 제작공정 순서

Fig. 1. Process sequence for the fabrication of infrared detectors.

실리콘 기판을 초기 세척한 후, 저압화학기상증착 공정으로 열차단막으로 사용될 N/O/N 박막을 기판 위에 증착하였다^[11]. 그 다음 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 300 °C로 가열된 기판의 앞면 및 뒷면에 Ti 및 Pt를 각각 약 20 nm 및 약 200 nm의 두께로 증착하였다. 기판의 앞면 및 뒷면에 각각 아랫전극 패터닝 마스크 및 기판식각 마스크를 양면 정렬하여 Pt/Ti 박막 위에 각각의 감광액 패터를 형성한 후, 약 80°C의 HNO₃ : HCl : H₂O = 1 : 7 : 8의 용액으로 Pt/Ti 박막을 식각하여 기판 앞면 및 뒷면에 각각 아랫전극 패터 및 N/O/N 식각용 마스크 패터를 형성하였고, 기판 뒷면의

N/O/N 박막은 건식식각하였다. 이때 아랫전극의 선폭은 약 80 μm 이었다. 약 600 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열된 Pt/Ti 아랫전극 위에 Sr이 4 m/o 과잉으로 함유된 $(\text{Ba}_{0.66}\text{Sr}_{0.34})\text{TiO}_3$ 세라믹 타겟을 고주파 마그네트론 스퍼터링하여 약 1 μm 의 두께로 BST 박막을 증착하였고^[10], HF : H₂O = 1 : 10의 용액으로 식각하여 실온에서 초전특성이 우수한 적외선 검지재료로서 사용될 BST 박막의 패턴을 형성하였다. 이때 BST 박막의 패턴 크기는 약 100 μm × 100 μm 였다.

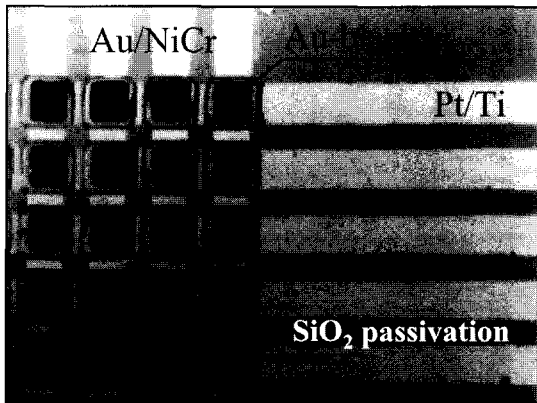


그림 2. 적외선 검지기의 평면 어레이
Fig. 2. Planar array of infrared detectors.

아랫전극과 윗전극 사이의 전기적 절연을 위해 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 약 300 nm의 두께로 SiO₂를 증착하였고, BST 박막과 윗전극 사이의 전기적 접촉을 위한 창은 Al 박막을 마스크로 하여 SiO₂ 층을 건식식각하여 형성하였다. 여기서 SiO₂ 층에 만들어진 전기적 접촉창의 크기는 약 60 μm × 60 μm 였다. 다음은 윗전극 제작공정으로서 진공을 깨트리지 않고 NiCr과 Au를 각각 차례대로 증착하여 전체두께가 약 300 nm인 Au/NiCr 박막을 얻은 후, KI : I₂ : H₂O = 4 g : 1 g : 40 ml 용액으로 Au 박막을 먼저 식각하고, 40 $^{\circ}\text{C}$ 의 HNO₃ : CH₃COOH : H₂SO₄ : H₂O = 5 : 5 : 2 : 1 용액으로 NiCr 박막을 식각하여, 아랫전극과 동일한 선폭의 Au/NiCr 윗전극을 만들었다.

질소를 잔류기체로 하는 약 1 Torr의 저진공 챔버 속에서 Au를 증발시켜 약 600 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 면밀도를 갖는 Au-black을 윗전극 위에 증착하고, 감광액 lift-off 방법으로 Au-black의 패턴을 형성하여 3~14 μm 의 파장 범위에서 90%이상의 높은 적외선 흡수도를 갖는 적외

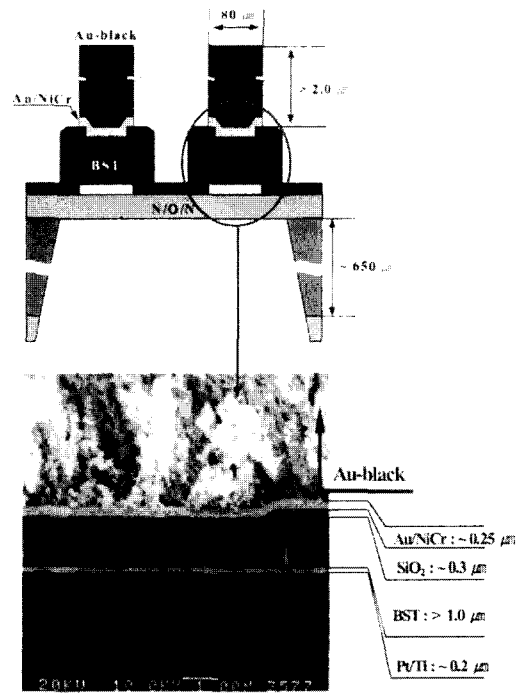


그림 3. 적외선 검지기의 단면형상
Fig. 3. Cross-sectional morphology of an infrared detector.

선 흡수체를 제작하였다^[9]. 기관 앞면에 이미 형성된 패턴들이 식각되지 않도록 특별히 제작된 지그를 사용하여 기관 뒷면의 실리콘을 85 $^{\circ}\text{C}$ 의 KOH 수용액으로 이방성 식각함으로써 적외선 검지기가 N/O/N 멤브레인 에 의해 실리콘 기관으로부터 열차단되는 구조를 완성하였다. 상기한 일련의 공정으로 제작된 적외선 검지기의 평면 어레이를 그림 2에 나타내었고, 적외선 검지기의 단면 SEM 사진을 그림 3에 나타내었다.

III. 적외선 검지기의 특성

적외선 검지기의 출력신호 측정시 검지기의 출력 임피던스와 증폭기의 입력 임피던스 사이의 정합을 위해 우선 반도체 파라미터 분석기(HP-4145B) 및 임피던스 분석기(HP-4192)로 적외선 검지기의 저항 및 용량을 각각 측정하였다. 그림 4에 나타낸 바와 같이, BST 박막의 유효 감지면적이 약 60 μm × 60 μm 인 적외선 검지기의 경우 인가전압이 40 V일 때 BST 박막의 누설전류는 약 6.0 nA로서 적외선 검지기의 저항은 약 6,700 M Ω 이었다. 그리고 30 Hz이하의 초평주파수로 검지기의

출력신호가 측정됨을 고려하여 100 Hz에서 측정한 검지기의 용량은 약 17.2 pF이었다. 저항 및 용량으로부터 검지기의 출력 임피던스는 100 Hz에서 약 100 MΩ임을 알 수 있고 그림 5에 나타난 적외선 검지기의 출력 신호 측정장치에 있는 전치증폭기의 입력 임피던스 결정에 검지기의 출력 임피던스를 고려하였다.

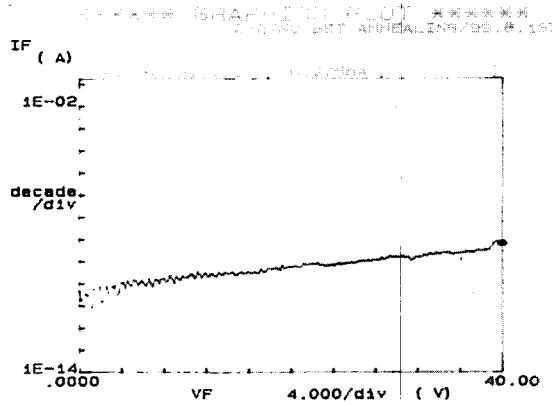
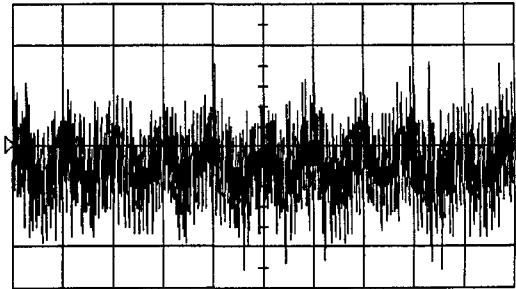
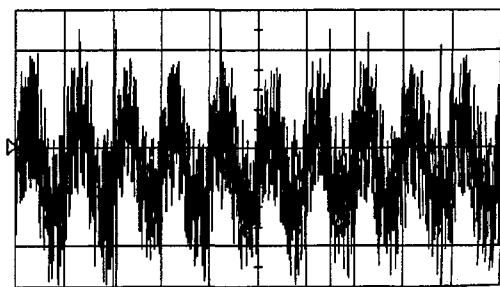


그림 4. 적외선 검지기의 암전류-전압 특성
Fig. 4. Dark I-V characteristics of an infrared detector.

그림 5의 측정장치에서 적외선 원으로서 파장이 0.94 μm이고, 단위면적당 복사에너지가 약 500 mW/cm²인 적외선 방출 다이오드를 사용하였다. 열 검지형 적외선 검지기는 일반적으로 1~15 μm의 파장범위에서 거의 동일한 검지도를 나타내는 것으로 알려져 있기 때문에



(a)



(b)

그림 6. 적외선 검지기의 출력파형 : (a) 실리콘 기판의 식각전, (b) 실리콘 기판의 식각후(X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.)
Fig. 6. Output waveforms of the detector : (a) before Si-substrate etching, (b) after Si-substrate etching(X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.).

출력신호의 파형측정 및 정성적인 해석을 위해 적합하

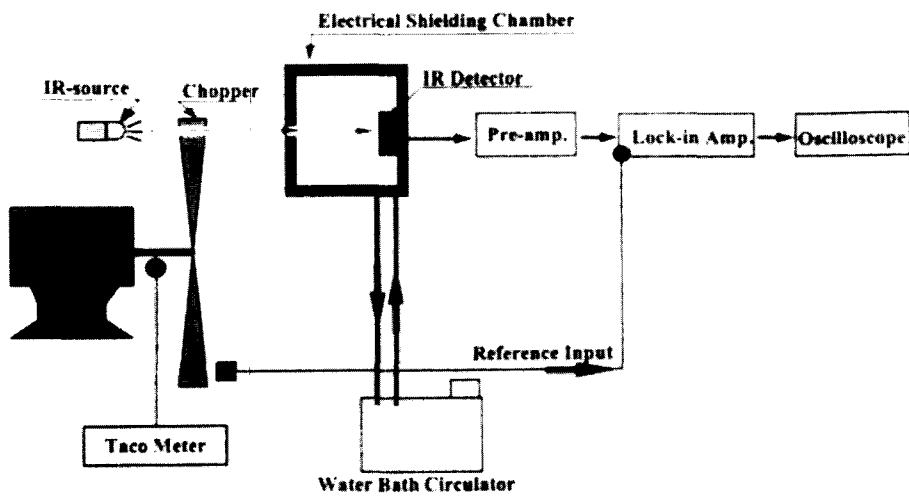


그림 5. 적외선 검지기의 출력파형 측정장치
Fig. 5. Set-up to measure output waveforms of infrared detectors.

고 손쉽게 구할 수 있는 적외선 방출 다이오드를 적외선 원으로 하였다.

적외선 검지기에 있어서 N/O/N 멤브레인의 열차단 효과를 알아보기 위해 적외선 검지기의 온도를 약 10 °C로 유지하고, 초핑주파수를 10 Hz로 하여 측정한 출력전압 파형을 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)는 실리콘 기판을 식각하지 않은 검지기의 출력파형이고, 그림 6(b)는 실리콘 기판을 식각한 검지기의 출력파형으로서, 그림 6으로부터 N/O/N 멤브레인의 열차단 효과를 확인할 수 있었다.

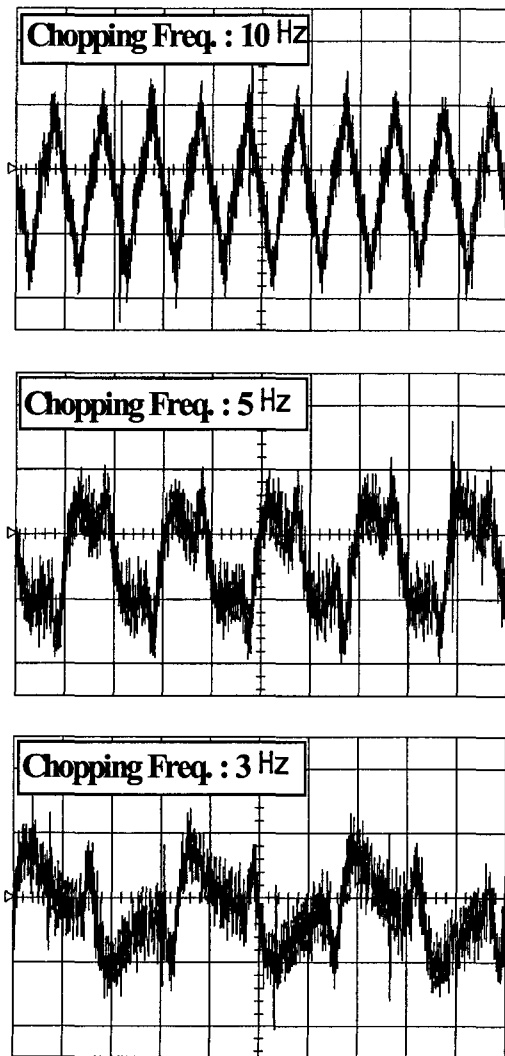


그림 7. 적외선 검지기의 초핑주파수에 따른 출력파형 (X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.)

Fig. 7. Dependence of output waveforms on chopping frequencies(X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.).

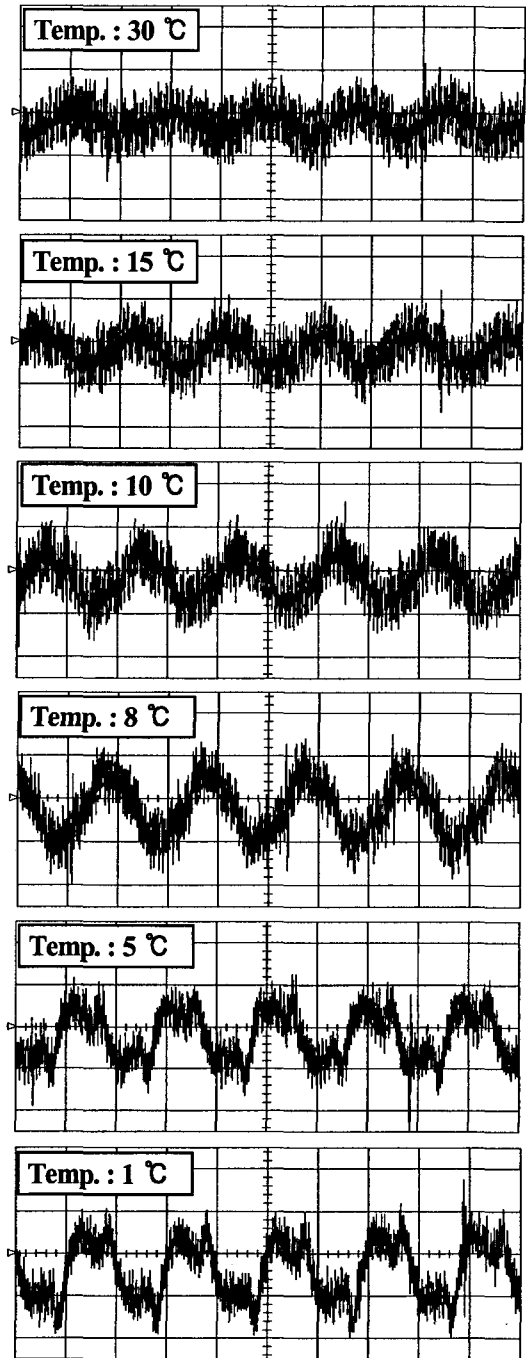


그림 8. 적외선 검지기의 온도에 따른 출력파형(X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.)

Fig. 8. Dependence of output waveforms on temperatures(X : 100 ms/div., Y : 100 mV/div.).

적외선 검지기의 온도를 실온에서부터 1 °C 근방까지 낮추었을 때 그림 7과 같은 비교적 분명한 적외선

검지기의 출력전압 파형을 얻을 수 있었다. 그림 7로부터 초핑주파수에 따른 출력전압 파형의 현저한 변화를 관찰할 수 있는데, 이것에 대한 주된 이유는 10 Hz에서부터 3 Hz까지 초핑주파수가 감소함에 따라 BST 박막 전체에 걸쳐 적외선 초핑에 의한 온도차이가 점차적으로 균일해지고, 따라서 검지재료에서의 불균일한 온도 차이로부터 생기는 열잡음이 다소 감소되기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 결과로부터 적외선 검지기의 열용량과 관련된 열시정수가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

초핑주파수를 5 Hz로 하고, 검지기의 온도를 30 °C에서부터 1 °C까지 변화시켰을 때의 출력전압 파형을 그림 8에 나타내었다. 그림 8로부터 온도가 낮아짐에 따라 출력전압 파형이 구형파와 유사하게 됨을 알 수 있는데, 이것은 주로 온도가 낮아짐에 따른 열잡음 감소 및 BST 박막의 초전특성 변화 때문인 것으로 추측된다.

표 1. 적외선 검지기의 성능지수
Table 1. Figures of merit for the infrared detector.

Signal Voltage [μV]	Noise Voltage [μV]	Voltage Responsivity [V/W]	Specific Detectivity [$cm \cdot Hz^{1/2}/W$]
0.079	39.1	168.8	2.6×10^4

8~14 μm 파장범위에서 적외선 투과도가 약 80%인 GaAs 필터를 부착하여 패키징한 적외선 검지기에 대해 25 °C의 공기중에서 측정된 성능지수를 표 1에 나타내었다. 여기서는 420 K의 흑체를 적외선 원으로 사용하였고, 초핑주파수는 1 Hz였다. 비교적 높은 전압 감응도에 비해 비검지도가 작은 것은 표 1에서 알 수 있듯이 큰 실효 잡음전압에 의한 매우 작은 신호대잡음비 때문이다.

적외선 검지기의 출력파형 및 성능지수에 대한 공통적인 주요 원인으로 될 수 있는 것으로서 20 °C 근방에서 약 $240 nC \cdot cm^{-2} \cdot K^{-1}$ 의 매우 큰 초전계수를 갖도록 증착된 BST 박막^[6,10]의 초전특성 변화를 들 수 있으나, 이 외에도 열잡음 및 열시정수 등 여러 가지 인자가 적외선 검지기의 특성에 영향을 미치기 때문에 현재로서는 어느 특정한 한가지를 그 원인으로 설명하

기는 어렵다고 본다. 상기한 적외선 검지기의 특성을 종합해 볼 때 본 연구에서 BST 박막을 검지재료로 하여 제작한 적외선 검지기는 열잡음 및 열시정수 등의 개선해야 할 많은 특성을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 열 영상 시스템 등에서 모노리틱 열 검지형 적외선 검지기 개발의 필요성이 크게 증가됨에 따라 지금까지 사용되어 온 하이브리드 비냉각 초전형 세라믹 BST 적외선 검지기를 대신할 수 있는 비냉각 초전형 박막 BST 적외선 검지기를 제작하고자 하였다. 적외선 흡수체로서 Au-black을, 적외선 검지재료로서 BST 박막을, 그리고 적외선 검지기와 기판 사이의 열 차단막으로서 N/O/N 멤브레인을 사용하여 제작된 적외선 검지기는 25 °C의 공기중에서 420 K의 흑체로부터 복사되는 적외선을 1 Hz로 초핑시켰을 때 약 168.8 V/W의 비교적 높은 전압 감응도를 나타내었으나, 매우 큰 실효 잡음전압으로부터 기인된 매우 작은 신호대잡음비 때문에 약 $2.6 \times 10^4 cm \cdot Hz^{1/2}/W$ 의 작은 비검지도를 나타내었다. 또한 적외선 검지기의 초핑주파수 및 온도에 따른 출력파형으로부터 열용량과 관계되는 열시정수 및 검지재료의 온도차이 불균일성과 관련된 열잡음이 모두 상당히 크다는 것을 알 수 있었다. 열시정수 및 열잡음을 감소시킬 수 있는 적외선 검지기의 구조 및 제작공정에 대한 최적화 연구와 실온에서 균일한 초전전류의 생성을 위한 BST 박막의 조성제어 및 균일한 조성유지를 위한 연구도 병행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, *Infrared detectors and systems*, A Wiley-Interscience Publication, pp. 402-404, 1996.
- [3] N. Fujitsuka et al., "Monolithic pyroelectric infrared image sensor using PVDF thin film,"

Digest of Technical Papers of Transducers '97, pp. 1237-1240, 1997.

[4] P. W. Kruse and D. D. Skatrud, *Uncooled infrared imaging arrays and systems*, Academic Press, pp. 154-159, 1997.

[5] Jong-Guk Yoon et al., "Electrical properties of $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ thin films deposited by metalorganic chemical vapor deposition," *The Korea Journal of Ceramics*, vol. 1, no. 4, pp. 204-208, 1995.

[6] 박재석 등, "RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제조한 $(Ba,Sr)TiO_3$ 박막의 유전 및 초전특성," *요업학회지*, 제36권, 제4호, pp. 403-409, 1999.

[7] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film $SiO_2-Si_3N_4$ sandwich system," *Thin Solid Films*, vol. 188, pp. 27-33, 1990.

[8] H. Dintner et al., "AC-DC-mV-transfer with highly sensitive thin-film multijunction thermal converters," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 42, no. 2, pp. 612-614, 1993.

[9] 오광식 등, "질소가스 분위기의 저진공으로 증착된 Au-black의 적외선 흡수도," *전자공학회논문지*, 제37권, SD편, 제2호, pp. 13-21, 2000

[10] J. S. Lee et al., "Preparation of $(Ba,Sr)TiO_3$ thin films with high pyroelectric coefficients at ambient temperatures," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pt. 2, no. 5B, pp. L574-L576, 1999.

[11] 김명규 등, "스트레스 균형이 이루어진 $Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4$ 유전체 멤브레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, 51-59, 1995

저 자 소 개



高 誠 庸(正會員)
1973년 11월 26일생. 1998년 2월 제주대학교 전기전자공학부 졸업(공학사). 2000년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2000년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 재학중(박사과정). 주관심 분야는 적외선 검지기 및 RF 필터 등임



張 徹 榮(正會員)
1973년 8월 16일생. 1999년 2월 삼척대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 2001년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2001년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 재학중(박사과정). 주관심 분야는 적외선 검지기, SAW 필터 및 ALE 등임

金 東 煥(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 (주)컴텍스 영업팀·프로젝트지원담당 차장

金 鎮 燮(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 인제대학교 전자정보통신공학부 부교수

李 在 一(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 울산대학교 재료금속공학부 부교수

李 正 熙(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수

韓 錫 龍(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 한국전자주식회사 종합연구소 제2연구센터 책임연구원

李 龍 鉉(正會員) 第37卷 SD編 第2號 參照
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수