

PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작

김영일, 노용래

Fabrication of pyroelectric infrared sensors using PLT thin plates

Young Eil Kim, Yong Rae Roh

요 약

고감도 초전형 적외선 센서를 La이 첨가된 PbTiO_3 (PLT) 박편을 이용하여 제작하였다. 재료의 조성비는 $(\text{Pb}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{Ti}_{0.75}\text{O}_3)_{0.75}(\text{PbO})_{0.25}$ 이고 PLT 박편의 두께는 $100 \mu\text{m}$ 로 제작하였다. 수광전극은 니켈-크롬을, 그리고 하부 전극으로는 은을 각각 $1 \times 2 \text{ mm}^2$ 크기로 진공 증착 하였다. PLT 박편의 전기적 특성은 341 정도의 유전상수와 $6.41 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 매우 큰 비저항 값을 얻었다. c-축으로 쌍극자가 형성된 PLT 박편은 높은 초전 특성을 나타내었으며, $4.45 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\text{K}$ 의 초전계수에 기인하여 $4.0 \times 10^{-11} \text{ Ccm/J}$ 의 큰 전압 성능지수를 얻을 수 있었다. PLT 박편으로 제작된 센서는 2501 V/W의 높은 전압감도를 가지는 것으로 보아 초전형 적외선 센서의 응용이 가능하리라고 본다.

ABSTRACT

High-sensitive pyroelectric infrared sensors have been fabricated with La-modified PbTiO_3 (PLT) thin plates. The PLT thin plates have the composition of $(\text{Pb}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{Ti}_{0.75}\text{O}_3)_{0.75}(\text{PbO})_{0.25}$. Thickness of the thin plates is $100 \mu\text{m}$. Top side electrodes exposed to IR are vacuum evaporated Ni-Cr, and bottom side electrodes are Ag. Each one takes the area of $1 \times 2 \text{ mm}^2$. The thin plates have a large resistivity of $6.41 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ and a relative dielectric constant of 341. They have a high figure of merit of $4.0 \times 10^{-11} \text{ Ccm/J}$ due to its high pyroelectric coefficient of $4.45 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\text{K}$. The sensors show such a large voltage responsivity as 2501 V/W. That they can find practical applications like the pyroelectric infrared detectors.

1. 서 론

초전형 적외선 센서는 외부의 온도 변화에 따라 발생하는 적외선에 의해 초전 재료의 표면에 전하가 발생하는 효과를 이용하는 것으로써, 발생하는 전압 또는

전류로써 적외선을 검출하게 된다. 초전형 적외선 센서는 상온에서의 동작 및 여기원의 파장에 무관한 감도를 가지는 장점이 있다. 현재 초전형 적외선 센서로 사용되고 있는 재료로는 InSb, HgCdTe, Ge, Si, LiTaO₃, TGS 단결정과 PbTiO_3 , PZT, PLZT 세라믹 및 PVDF 유기막 등이 있다^[1-4].

최근에 PbTiO_3 세라믹 및 박막을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다^[5]. PbTiO_3 는 perovskite 구조를 가지며 큰 tetragonality 및 자발 분극을 가지는 강유전체이다^[6].

경북대학교 센서기술연구소
(Sensor Technology Research Center, Kyungpook
National University)
<접수일자 : 1995년 9월 30일>

La이 첨가된 $PbTiO_3$ 세라믹은 초전형 적외선 센서로 이용할 때 상온에서의 동작이 가능하고, 높은 초전계수와 적당히 작은 유전상수 그리고 작은 열용량계수를 가지는 장점이 있다. 따라서 최근에 PLT 세라믹을 이용한 박편 및 박막 소자에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정인데 고주파 마그네트론 스파터링으로 제조한 박막의 경우는 박편의 경우와는 달리 분극 처리가 필요 없고, 미소 pattern 제작이 가능하지만, Pb 결핍에 의해 화학 양론적 조성비를 가지기 어렵고, 전극처리등 제작상의 문제점들을 내포하고 있다⁽⁸⁻¹⁰⁾. 그러나 PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서는 박막형 초전형 적외선 센서에 비해 제작시 Pb 결핍 및 화학양론적 조성비의 변화없이 초전형 적외선 센서를 제작할 수 있다.

이에 본 연구에서는 PLT 세라믹을 박편화하여 박막형 초전형 적외선 센서와 비교하여 동등 이상의 성능을 가지며 제작공정이 훨씬 간단한 장점을 가지는 초전형 적외선 센서를 제작하고자 한다. 이러한 박편형 적외선 센서는 박막형에 비해 제작공정의 단순화와 용이한 가공성으로 인해 실제 제품화 및 실장화에 있어 많은 장점들을 제공할 것으로 기대된다.

II. 실험

a. 시편 제작

초전형 적외선 센서의 제작을 위하여 사용한 박편은 Mitsubishi materials Co.의 제품이며, $(Pb_{0.9}La_{0.1}Ti_{0.975}O_3)_{0.75}(PbO)_{0.25}$ 의 조성을 갖는 2 inch, 5 mm의 두께를 가지는 세라믹으로 되어 있다. 여기서 박편 제작용 PLT 타겟의 조성비에서 PbO가 과잉인 이유는 본 타겟이 고주파 마그네트론 스파터용으로 사용되는 타겟을 사용했기 때문이다. 초전형 적외선 센서의 시편은 slicer(HS3, Sony, Japan)를 이용하여 3×3 mm의 크기에 100 μm의 두께로 제작하였다.

b. 쉘도우 마스크 제작

제작된 초전형 적외선 센서용 시편에 c-축으로의 쌍극자의 재배열과 수광 및 하부 전극 형성을 위하여 먼저 두께가 50 μm 이고 몰리브덴이 재질인 판으로 소자 제조용 마스크를 제작하였다. 그림 1은 마스크 제작 공정을 나타내며 소자의 수광 및 하부전극의

pattern은 그림 2에서 나타내었다.

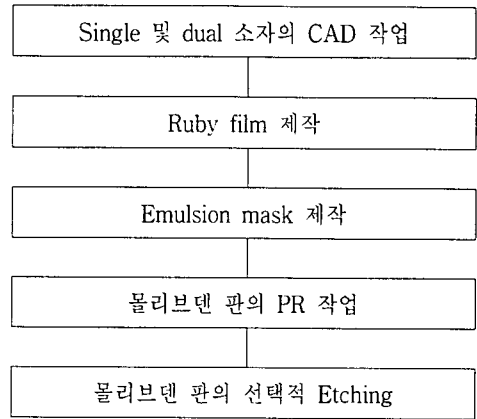


그림 1. 마스크 제작 공정도.

Fig. 1. Fabrication process of the mask.

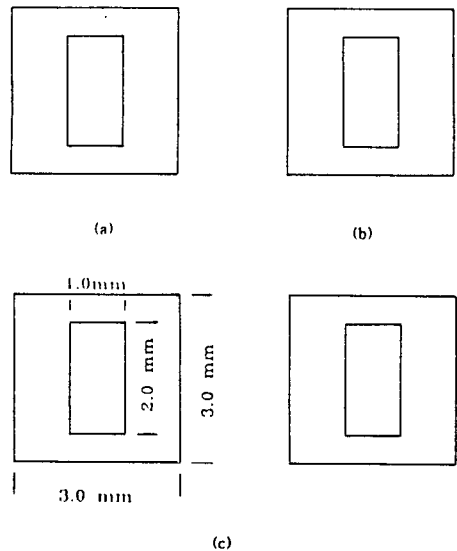


그림 2. 전극 및 마스크 layout.

(a) 상부전극 (b) 하부전극
(c) 마스크layout

Fig. 2. Layout of the electrode and the mask.

(a) top electrode (b) bottom electrode
(c) mask layout

c. 분극 재배열

제작된 시편과 마스크를 이용하여 분극 재배열을

위해 수광 및 하부 전극을 진공 증착하였다. 수광전극은 광흡수율이 좋은 니켈-크롬을 약 200 Å 정도 진공 증착하였으며, 하부 전극은 전기 전도도가 우수한 은을 약 2000 Å 진공 증착하였다. 제작된 시편의 단면 구조는 그림 3에 나타내었다.

PLT 박편의 양면에 수광 및 하부 전극을 진공 증착한 후 박편의 c-축으로의 쌍극자의 재배열을 위하여 실리콘 오일 속에서 행하였다. 그림 4는 분극 재배열 장치의 개략도이다. 먼저 PLT 시편을 jig에 고정시킨 후 약 120°C의 실리콘 오일속에 담근 후 250 V의 전압을 가한 채 30분간 행하였다.

d. 제작된 소자의 특성 측정

초전형 적외선 센서로 제작된 PLT 박편의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다. 전기적 특성은 먼저 Impedance analyzer(HP4192)를 이용하여 1 kHz의 주

파수에서 정전 용량 및 저항을 측정하여 유전상수 및 비저항, 그리고 전기 시상수를 구하였다. 광학적 특성은 별도로 제작된 암상자 내에서 행하였다. 박편을 이용한 초전형 적외선 센서는 박막소자에 비해 큰 열용량으로 인하여 열시상수가 지연되기 때문에 이를 해결하기 위하여 그림 5에서와 같이 일반적인 광전도도 측정회로와 MOSFET를 사용한 회로에 대하여 비교하여 측정하였다. 바이어스 전압은 두 경우 모두 직류 5 V를 사용하였으며 인가 저항은 그림 5의 (a)에서는 10 MΩ, 그림 5의 (b)에서는 R₁ = 47 KΩ, R₂ = 10 MΩ을 사용하였다. 이 두 측정 회로에 대해 모두 광전도도를 측정하여 각각에 대하여 전압감도, 신호대 잡음비, noise equivalent power(NEP), specific detectivity, 그리고 열시상수를 구하였다. 그리고 초전 센서로서의 중요한 인자인 초전 계수는 광전도도와 열전대를 이용한 온도 변화를 이용하여 구하였다. 열전대는 제작된 소자의 상부에 부착하여 광이 조사될 때와 광이 차단될 때의

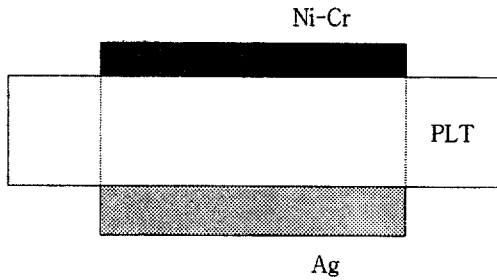


그림 3. 제작된 적외선 센서의 단면도.
Fig. 3. Cross sectional view of fabricated IR sensor.

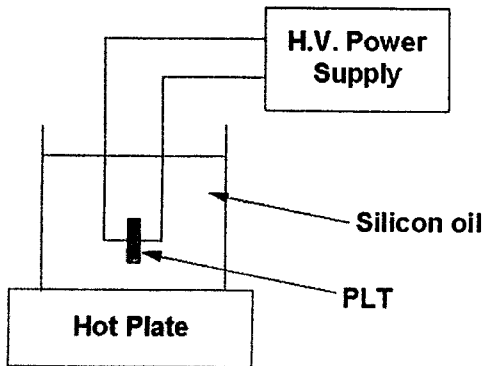


그림 4. 분극재배열 장치
Fig. 4. Schematic diagram of poling equipment.

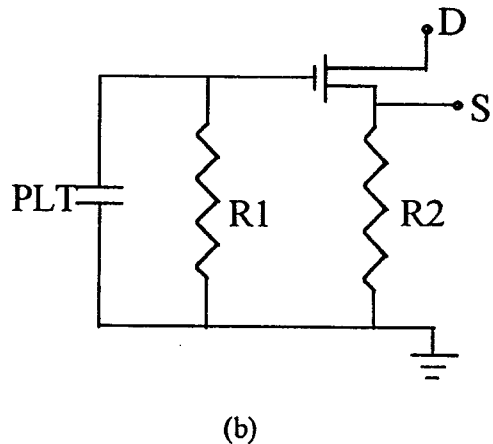
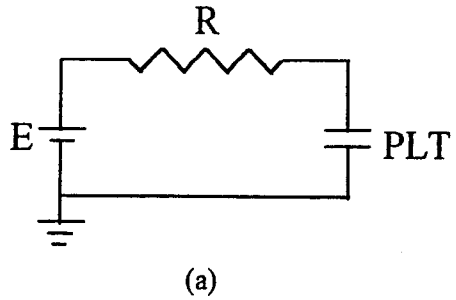


그림 5. 광전도도 측정회로.
Fig. 5. A circuit for photoconductivity measurement.

온도변화를 측정한 후 다시 광전도도를 측정하는 방법을 사용하였다. 그림 6은 광전도도 측정 장치의 개략도이다. 실험에 사용된 적외선원은 150 W 텅스텐 램프이며, 증폭기는 charge amplifier (B&K, 2610)를 사용했다.

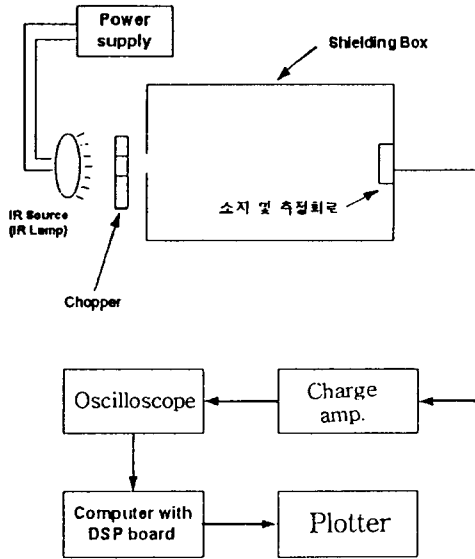


그림 6. 광전도도 측정 장치의 개략도.
Fig. 6. Schematic diagram of photoconductivity measurement equipment.

III. 결과 및 고찰

a. 전기적 특성

표 1은 제작된 PLT 소자의 전기적인 특성을 나타낸다. 비저항은 $6.41 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 매우 큰 값을 나타내었다. 높은 비저항 값을 가지는 PbTiO_3 단결정 성장의 경우는 매우 어려운데, PbTiO_3 단결정 성장의 경우에는 비저항이 산소의 결핍과 관계가 있어 작은 양의 Fe_2O_3 의 첨가로 상온에서의 비저항을 증가시킨다고 보고되고 있다^[3]. 한편 PbTiO_3 세라믹의 경우에는 Pb의 결핍이 비저항 감소의 원인이라고 사료되는데 여기에 소량의 우라늄 또는 La 등의 첨가로 PbTiO_3 단결정 ($\sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$)의 경우와 비교하여 매우 큰 ($\sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$) 비저항을 얻을 수 있다고 보고하고 있다^[3]. 여기서 c-축으로의 쌍극자가 재배열된 PLT 박편 소자는 비저항이 $6.41 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 정도의 높은 값을 가지므로 화상소자 등의 array 소자로서의 제작도 가능하리라

고 본다. 또한 유전상수는 341 로 나타나는데 이는 제작된 소자의 모물질 target이 원래 박막 증착용 target으로 제작되어 소자 내에 과잉된 PbO가 그대로 존재하기 때문이라 사료된다.

표 1 PLT 박편의 전기적 특성.

Table 1. Electrical properties of the PLT thin plate.

전기적특성	시료
정전용량 (pF)	61.7
유전상수	348
비저항 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	6.41×10^{10}
전기 시상수 (msec)	0.790

b. 광학적 특성

제작된 소자의 광학적 특성을 조사하기 위하여 전자파와 광을 차단할 수 있는 암상자에 초전형 적외선 센서를 장착한 후 광전도도를 각각의 회로에 대하여 측정하였다. c-축으로의 쌍극자가 재배열된 박편 소자는 적외선에 따라 매우 큰 초전 전압을 유기하였다. 그림 7과 8은 측정회로에 따른 광전도도 스펙트럼을 나타낸다. 그림 7과 8에서 두 개의 peak 중 전자는 적외선이 조사될 때를 후자는 적외선이 차단 될 때를 나타낸 것이다. 인가 저항만 연결하여 측정한 것보다 측정 회로에서 MOSFET를 사용했을 때가 훨씬 더 큰 감도 및 빠른 응답특성을 얻을 수 있었다. Peak 대 peak 전압이 MOSFET를 사용하지 않은 경우에는 약 1.5 V, FET를 사용한 경우는 약 19 V의 전압이 유기 되었다. 표 2는 두 경우에 대한 PLT 박편 소자의 광학적 특성을 나타낸 것이다. 암상자에서의 잡음 level은 약 0.07 V 정도로 나타났는데 이는 유전상수가 커진 것과 같이 c-축으로의 쌍극자 재배열이 PbO 과잉에 의하여 교란되어 이것이 잡음원으로 작용한 것으로 사료된다. 한편 초전계수는 $4.45 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\text{K}$ 로 높은 초전 특성을 얻었으며 noise equivalent power 값이 이상의 두가지 측정회로에 따라 각각 3.647×10^{-6} 과 $6.40 \times 10^{-7} \text{ W}$ 으로 나타났다. 이는 적외선에 의한 초전전압치와 비교해 볼 때 월등히 작은 값이므로 PLT 박편을 이용하여 초전형 적외선 센서로의 제작이 충분히 가능함을 보여주는 것이라 할 수 있다.

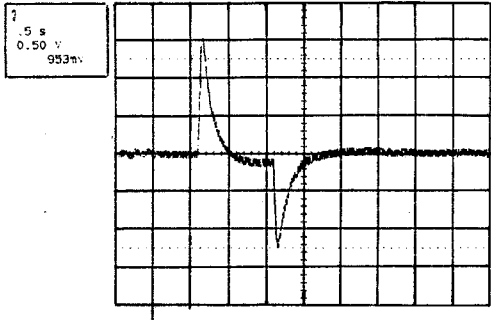


그림 7. PLT 박편의 광전도도.(단순저항 사용)
Fig. 7. Photoconductivity of the PLT thin plate (using a simple resistor element).

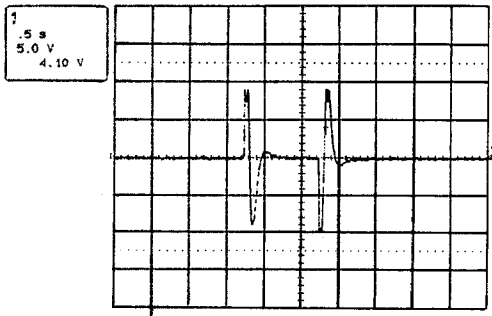


그림 8. PLT 박편의 광전도도(MOSFET 사용).
Fig. 8. Photoconductivity of the PLT thin plate (using MOSFET).

표 2. PLT 박편의 광학적 특성.

Table 2. Optical properties of the PLT thin plate.

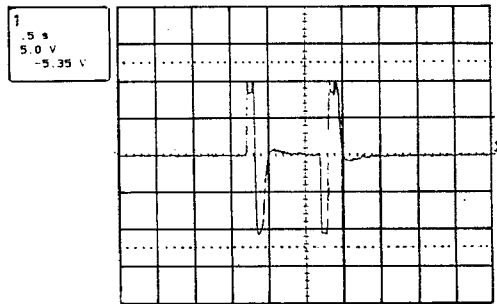
측정회로 구분 광학적특성	MOSFET 비사용	MOSFET 사용
전압감도 (V/W)	192.3	2501
열 시상수 (msec)	108.6	8.9
신호대 잡음비	20.6	117.6
Noise equivalent power (W)	3.647×10^{-6}	6.40×10^{-7}
Specific detectivity (cm/W)	3.88×10^4	2.21×10^5
초전계수 (C/cm ² K)	4.45×10^{-8}	4.45×10^{-8}
전압 성능지수 (Ccm/J)	4.0×10^{-11}	4.0×10^{-11}

그림 9와 10은 측정 회로에서 MOSFET를 사용하였을 경우에 거리에 대한 광전도도 스펙트럼을 나타낸다. 그림 9는 증폭기 이득값이 316 인 경우이며, 그림 10은 이득값이 1000 일 경우를 나타낸다. 3 m 이내에서의 적외선에 대한 응답 성능은 매우 크게 나타났으나 3 m 가 넘어서면서부터 상당히 감소함을 알 수 있었다. 적외선원이 8 m로 멀어지자 신호대 잡음비는 2.3으로 감소하였다. 따라서 본 연구에서 제작한 PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서는 감지 거리가 최대 7~8 m 정도임을 알 수 있었다. 표 3은 PLT 박편 및 박막으로 제작된 초전형 적외선 센서를 비교한 것이다. 표 3에서 비교 자료로 사용된 박막형 적외선 센서의 특성은 K. Iijima 등^[1]의 연구결과를 인용하였다. PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서가 박막형 초전형 센서에 비하여 전압감도 및 응답특성은 우수하나 반면에 초전 계수 및 전압 성능지수는 약간 낮은 값을 보였고, 따라서 전체적인 성능은 같다고 판단되었다.

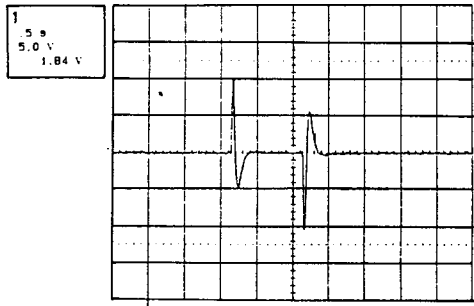
표 3. PLT 박편 및 박막의 광학적 특성비교.

Table 3. Comparison of the optical properties between the PLT thin plate and the thin film.

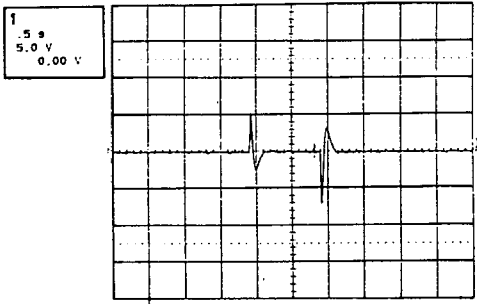
소자 구분 광학적특성	박편소자	박막소자
감지면적 (mm ²)	1×2	0.3
전압감도 (V/W)	2501	2400
열 시상수 (msec)	8.9	10
초전계수 (C/cm ² K)	4.45×10^{-8}	5.3×10^{-8}
전압 성능지수 (Ccm/J)	4.0×10^{-11}	8.3×10^{-11}



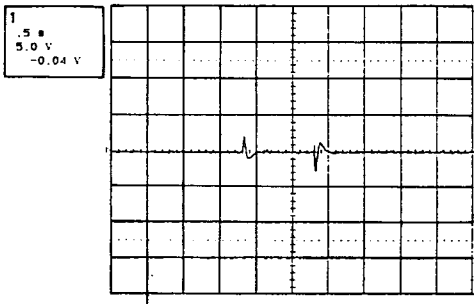
(a)



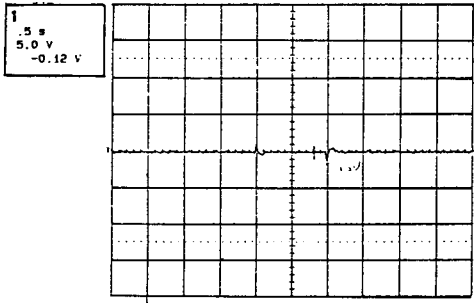
(b)



(c)



(d)



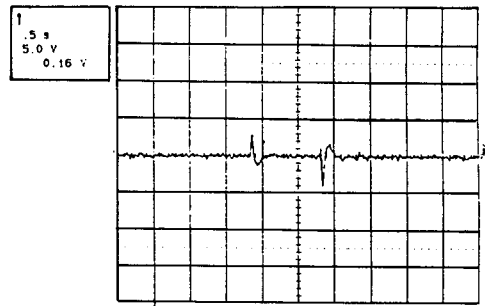
(e)

그림 9. 증폭기 이득값이 316일 때의 적외선으로부터의 거리에 따른 PLT 박편의 광전도도 변화.

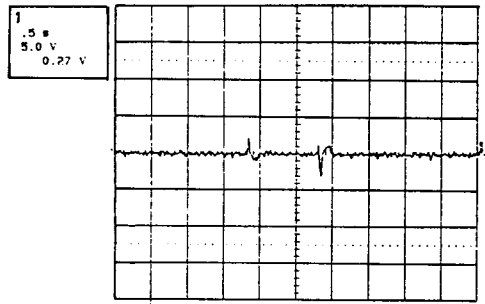
(a) 1m (b) 2m (c) 3m (d) 4m (e) 5m

Fig. 9. Change of the photoconductivity of the PLT thin plate with distance in IR source at change amplifier gain of 316.

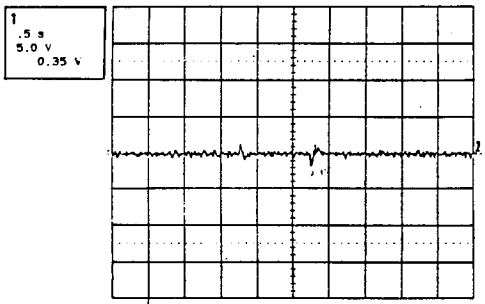
(a) 1m (b) 2m (c) 3m (d) 4m (e) 5m



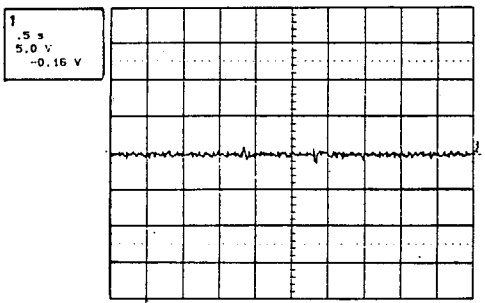
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 증폭기 이득값이 1000일 때의 적외선으로부터의 거리에 따른 PLT 박편의 광전도도 변화.

(a) 5m (b) 6m (c) 7m (d) 8m

Fig. 10. Change of the photoconductivity of the PLT thin plate with distance in IR source at amplifier gain of 1000.

(a) 5m (b) 6m (c) 7m (d) 8m

IV. 결 론

PLT 세라믹을 박편화하여 박막소자와 비교하여 비교적 간단한 제작공정으로 비슷한 성능을 가지는 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 센서소자는 PbO가 과잉인 PLT 타겟을 두께 100 μm 로 박편화한 후 이를 c-축으로 쌍극자를 재배열시켜 제작하였다. 초전형 적외선 센서로서의 제작을 위해 수광 전극은 광 투과율이 좋은 Ni-Cr을 사용하였고, 하부 전극은 전기 전도도가 좋은 은을 사용 하였으며, 전극의 크기는 두 경우 모두 $1 \times 2 \text{ mm}^2$ 로 하였다.

제작된 초전형 적외선 센서의 전기적, 광학적 특성을 조사한 결과 전기적 특성으로 유전상수는 약 341, 비저항은 $6.41 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 얻었다. 유전상수가 높게 나타난 것은 PLT 소자내에 모폴질에 남아있던 PbO가 잔존해 있기 때문으로 사료된다. 광학적 특성은 측정회로에서 MOSFET를 사용한 것과 사용하지 않은 것을 비교해 보았을 때 MOSFET를 사용한 경우가 높은 전압감도 및 빠른 응답특성을 나타내었다. MOSFET를 사용한 박편형 적외선 센서는 신호대 잡음비 120, 2500 이상의 전압감도, $4.45 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\text{K}$ 의 초전상수 및 $4.0 \times 10^{-11} \text{ Ccm/J}$ 의 성능지수와 8.9 msec의 빠른 열시상수 등의 특성들을 보였고 7~8 m 정도의 감지거리를 가지는 것으로 나타났다. 이상의 박편형 초전형 적외선 센서의 성능과 박막형 초전형 적외선 센서의 특성을 비교해 본 결과 개별 특성면에서는 서로간에 어느 정도의 차이를 보였으나, 전체적인 성능면에서는 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 기존의 박막형 적외선 센서의 응용분야들은 본 연구에서 제작한 박편형 적외선 센서로 충분히 대체가 될 수 있을 것이다. 따라서 전체 센서의 제작공정면에서 보면 박편형은 박막형에 비하여 월등한 공정의 간단성 및 제작 시편의 가공의 용이성을 제공하므로 본 연구에서 제작된 박편형 적외선 센서는 실제 제품화 및 실용화면에서 많은 장점을 가질 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

- [1] K. Iijima, R. Takayama, Y. Tomita, and I. Ueda, "Epitaxial growth and the crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties of lanthanum-modified lead titanate thin films", J. Appl. Phys., Vol. 60, pp. 2914~2919, 1986.
- [2] R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima, and I. Ueda, "Preparation and characteristics of pyroelectric infrared sensors made of c-axis oriented La-modified PbTiO₃ thin films", J. Appl. Phys., Vol. 61, pp. 411~415, 1987.
- [3] R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima, and I. Ueda, "Pyroelectric linear array infrared sensors made of c-axis oriented La-modified PbTiO₃ thin films", J. Appl. Phys., Vol. 63, No. 12, pp. 5868~5872, 1987.
- [4] K. Komaki, T. Kamada, S. Hayashi, M. Kitagawa, R. Takayama, and T. Hirao, "Preparation of pyroelectric Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O₃ thin films from ceramic target by rf magnetron sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, pp. L443~L446, 1994.
- [5] M. Okuyama, and Y. Hamakawa, "Ferroelectric PbTiO₃ thin films and their application", Int. J. Engng. Sci. Vol. 29, No. 3, pp. 391~400, 1991.
- [6] B. Jaffe, W. R. Cook, and H. Jaffe, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press, London, pp. 115~123.
- [7] K. Iijima, R. Takayama, Y. Tomita, and I. Ueda, "Preparation of c-axis oriented PbTiO₃ thin films and their crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties", J. Appl. Phys., Vol. 60, pp. 361~367, 1986.
- [8] A. J. Moulson and J. M. Herbert, Electroceramics, Campman and Hall, New York, pp. 318~337.
- [9] J. D. Vincent, Fundamentals of infrared detector operating and testing, John Wiley & Sons, New York, pp. 10~23.
- [10] T. Ogawa, A. Senda, and T. Kasanami, "Controlling the crystal orientations of lead titanate thin films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, No. 4, pp. 2145~2148, 1991.

- [1] K. Iijima, R. Takayama, Y. Tomita, and I. Ueda, "Epitaxial growth and the crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties of lanthanum-modified lead titanate thin films", J.

 著 者 紹 介

김 영 일

『센서학회지 제4권 제1호』 논문95-4-1-02, p.14 참조
 현재 경북대학교 센서기술연구소 주임연구원.

**노 용 래**

1961년 11월 16일생. 1984년 서울대학교 자원공학과 졸업(공학사). 1986년 서울대학교 동대학원 졸업(공학석사). 1990년 미국 펜실베이니아주립대학교 응용역학과 졸업(공학박사). 1990년 5월~1994년 2월 산업과학기술연구소 무기재료분야 연구원. 1994년 3월~현재 경북대학교 센서기술연구소/전자공학과 조교수. 주관심분야 : 압전재료, 진동센서, SAW센서.