

論文2002-39SD-10-5

PLT 박막에서 조성에 따른 동적 초전특성의 주파수 의존성에 관한 연구

(A Study on the Effects of the La Concentration on the Frequency Dependence of Dynamic Pyroelectric Properties of PLT Thin Films)

車 玳 垠 * , 張 東 勳 * , 姜 聲 俊 ** , 尹 英 燮 *

(Dae Eun Cha, Dong Hoon Chang, Seong Jun Kang, and Yung Sup Yoon)

요 약

La 농도가 5, 10, 15mol% 인 PLT ($Pb_{1-x}La_xTi_{1-x}O_3$) 박막의 초전특성에 대한 변조 주파수 의존성을 dynamic 방법을 이용하여 조사하였다. 그 결과, La 농도가 10mol% 인 PLT 박막이 가장 우수한 초전특성을 보였다. 이때 초전계수는 주파수 의존성이 없이 최대값 $6.6 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 을 나타내었으며, 전압감도와 비검출능에 대한 재료평가지수도 각각 $1.03 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 과 $1.46 \times 10^9 \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 로 가장 우수한 값을 나타내었다. 초전전압에 상응하는 전압감도는 저주파 영역에서 거의 일정하고 고주파 영역에서 주파수에 반비례하는 특성을 가지고 주파수 8 Hz 일 때 기준으로 최대값 5.15 V/W 로 나타났고, 잡음등가전력과 비검출능은 같은 주파수 100 Hz 에서 각각 $9.93 \times 10^8 \text{ W/Hz}^{1/2}$ 와 $1.81 \times 10^6 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 의 최소값과 최대값을 나타내었다. 이는 La 농도가 10mol% 인 PLT 박막이 초전형 적외선 센서에 적용하기에 가장 적합하다는 사실을 나타낸 것이다.

Abstract

Modulation frequency dependences of the pyroelectric properties of PLT ($Pb_{1-x}La_xTi_{1-x}O_3$) thin films with La concentrations of 5, 10 and 15 mol% have been investigated by using the dynamic method. The PLT thin film with 10 mol% of the La concentration (PLT(10) thin film) shows the most excellent pyroelectric properties among the films. For PLT(10) thin film, the pyroelectric coefficient shows the maximum value of $6.6 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ without frequency dependence. The figure of merits for the voltage responsivity and specific detectivity are $1.03 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ and $1.46 \times 10^9 \text{ C} \cdot \text{cm/J}$, respectively. Voltage responsivity corresponding to the pyroelectric voltage is almost constant at low modulation frequency and decreases in proportional to frequency at high modulation frequency. Voltage responsivity is 5.15 V/W at 8 Hz. Noise equivalent power (NEP) and specific detectivity (D^*) of the PLT(10) thin film are $9.93 \times 10^8 \text{ W/Hz}^{1/2}$ and $1.81 \times 10^6 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ at the frequency of 100 Hz, respectively. The results indicate that PLT(10) thin film is very suitable for pyroelectric IR sensors.

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

** 正會員, 麗水大學校 半導體·應用物理學科

(Dept. of Semiconductor and Applied Physics, Yosu National Univ.)

接受日字:2002年3月12日, 수정완료일:2002年10月10日

I. 서 론

ABO₃ 페로브스카이트 형태 (perovskite-type) 의 구조를 갖는 강유전체는 1940 년대 부터 연구가 시작되어, 현재는 이들 재료의 유전 (dielectric), 압전 (piezoelectric), 초전 (pyroelectric), 전기광학 (electrooptic) 특성에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 광범위한 분

야에 응용되고 있다.^[1] 이 중, $PbTiO_3$ 는 정방정 페로브스카이트 (tetragonal perovskite) 구조의 강유전체로서 490°C 의 높은 큐리온도를 갖고 있어 상온에서 매우 안정된 특성을 갖고 있다. 또한 $BaTiO_3$ 나 PZT 보다 낮은 유전상수 값과 큰 초전 계수 값을 가지고 있어 초전형 적외선 센서로 유용하게 사용되어 지고 있다.^[2~5] 그러나, 다결정 $PbTiO_3$ 박막은 a 축과 c 축 사이의 큰 열팽창 이방성 때문에 crack 이 발생하기 쉬워 제작하기 힘든 단점을 가지고 있다.^[6] 이를 개선시키기 위하여 dopant 를 첨가하여 박막 제작을 용이하게 하려는 연구가 진행되고 있다.^[7] 특히, dopant 로서 La 의 첨가는 정방성을 감소시키는 역할을 하므로 박막을 제작하기가 용이할 뿐만 아니라, 조성에 따라 매우 우수한 초전특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.^[8]

본 연구에서는 조성 제어가 용이하며 박막의 조성을 변화시켜가며 특성을 조사하는 데 편리하고 경제적이며, 박막 제작시의 열처리 온도가 기존의 반도체 공정과 부합되는 여러 가지 장점을 가지는 sol-gel 법^[9]을 채택하여, La 농도가 5, 10, 15mol% 인 PLT (La-modified lead titanate, $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$) 박막을 제작하였다. 제작된 PLT 박막들을 초전형 적외선 센서에 적용하기 위해, La 농도에 따른 초전 특성 파라미터들을 분석하여 초전형 적외선 센서를 위한 최적의 La 농도를 갖는 PLT 박막을 선정하고자 하였다. 초전 특성의 주파수 의존성에 대한 연구는 기존에 초전 특성을 분석하기 위한 방법으로 초전 물질에 직접 온도를 가하여 온도 변화에 따른 초전 전류를 감지하는 것으로서, 가해지는 온도에 의해 초전 물질의 분극상태가 파괴되어 재현성이 떨어지는 단점을 가진 static 방법 대신에, dynamic 방법에 의해 조사되어졌다. Dynamic 방법은 초전형 적외선 센서가 온도 변화 없는 열적 평형 상태에서는 작동하지 않으며 변화하는 입력에 대해서만 작동하는 미분형 센서라는 점에 주안을 둔 것이며, black-body 로 부터 입사되는 적외선의 입력을 초퍼 (chopper) 로 단속함으로써 발생하는 변조된 주파수 의존성을 초전 특성 분석에 이용하는 것이다. 이 방법은 static 방법과는 달리 비파괴적이라는 큰 장점을 갖는다.^[10] 본 논문에서는 dynamic 방법을 이용하여, La 농도에 따른 PLT 박막의 전압감도, 잡음전압, 잡음등가전력, 비검출능 등의 초전특성을 측정하였다.

II. 실험방법

PLT 박막을 sol-gel 법으로 제작하기 위해, 용액 제조 방법중 한가지인 acetic-acid system 을 이용 PLT 혼합용액을 제조하였다. 용액 제조 방법은 Fig. 1 에 나타내었다. Pb 용액의 경우, drying 이나 annealing 같은 열처리 과정 중 Pb 휘발로 인한 Pb 부족 때문에 pyrochlore 상이 생기는 것을 막기 위해 과량의 Pb (12.5%) 을 첨가하였다. 또한, La 농도별 박막 제작을 위해, La 농도를 5, 10, 15mol% 로 변화시켜 가며 용액을 제작하여 최종적으로 0.4M 의 coating solution 을 만들었다.

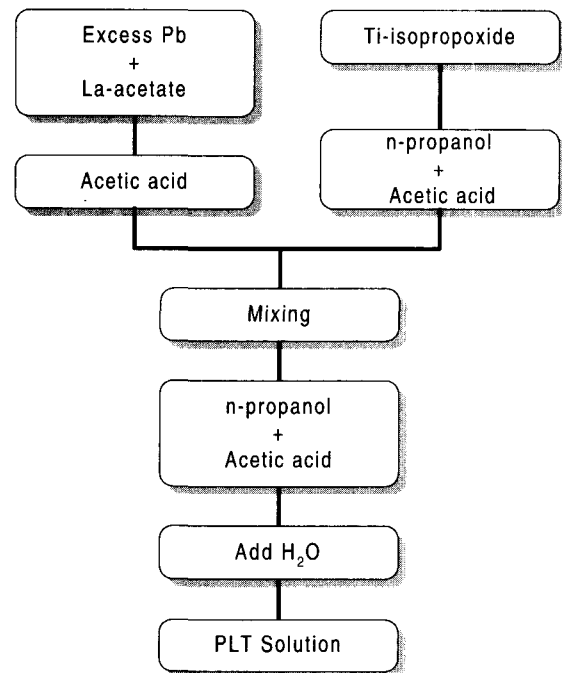


그림 1. PLT 용액의 제작 과정

Fig. 1. Fabrication process for PLT solutions with different La concentrations.

제작된 coating solution 은 $Pt/TiO_x/SiO_2/Si$ 기판 위에 spin coating 법을 이용하여 증착시켰다. 이와 같이 제작된 PLT 박막들 위에 초전특성을 측정하기 위해, 특별한 모양으로 패터닝된 metal mask 을 이용, 제작된 박막의 표면에 Ni-Cr 을 sputtering 하여 상부전극을 제작하였다. 또한 Pt 하부전극은 박막의 끝 부분을 불산 (ammonium fluoride/hydrofluoric acid) 을 이용하여

etching 하였다. 전기적 접촉을 위해 상부전극과 etching 된 하부전극에 silver paste 을 하여 PLT(5), PLT(10), PLT(15) 박막들의 초전특성 측정을 위한 소자를 완성하였다.

완성된 박막들의 초전특성은 Fig. 2 에 나타난 것과 같은 시스템에 의해 측정되었다.

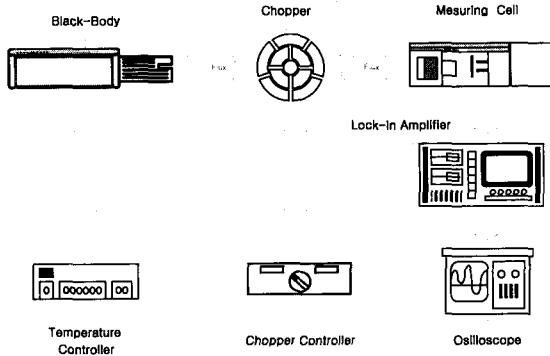


그림 2. 초전 성 측정 장치의 개략도 (Dynamic method)

Fig. 2. Schematic diagram of the pyroelectric measurement system (Dynamic method).

이 시스템을 이용한 측정방법을 dynamic 방법이라 하며, 이 측정 시스템은 크게 black body, temperature controller, optical chopper (SR 540) 로 구성된 heat source 부분과 cell box 내의 초전소재 및 주변회로부분, 그리고 lock-in amplifier (EG & G 124A) 및 오실로스코프 (Tektronix 2445A) 와 같은 측정 부분으로 구성되어 있다.

III. 결과 및 논의

Fig. 3 은 PLT 박막의 La 농도에 따른 유전 특성을 나타낸 것이다. Fig. 3 에서 보듯이, La 농도가 5mol% 에서 15mol% 로 증가함에 따라 1kHz 에서 측정된 유전상수는 183 에서 232 로 증가하였다. 이는 La 농도가 증가할수록 T_c (curie temperature) 가 상온쪽으로 이동하게 됨으로써 같은 온도에서 유전상수가 증가하기 때문이다. 또, 유전손실값은 La 농도가 5mol% 에서 15mol% 로 증가함에 따라 0.008 에서 0.026 으로 변화하는 추세를 나타내었다.

Fig. 4 는 $5.26 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ 의 복사 열 선속이 black body 에서 나와, 기계적으로 2Hz 에서 1kHz 까

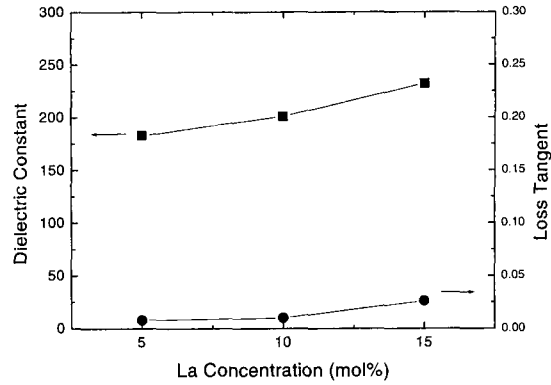


그림 3. La 농도에 따른 PLT 박막의 유전특성

Fig. 3. Dielectric properties of PLT thin films with the various La concentration.

지의 주파수로 chop 된 후 전극 표면에 창 (window) 없이 직접적으로 입사된 경우, La 농도에 따른 PLT 박막의 주파수에 대한 초전전압을 측정된 결과이다. 입사한 적외선 열에너지는 PLT 박막에 미세한 온도 변화를 유발하므로 분극 변화에 따른 전기적 신호가 발생한다. 이를 lock-in amplifier 를 사용하여 초전전압으로 나타낸 것이다. Fig. 4 에서 보듯이, La 농도가 10mol% 인 PLT 박막이 가장 큰 초전전압을 나타내고 있다.

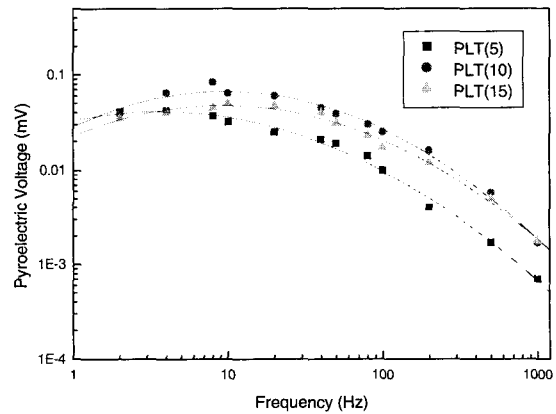


그림 4. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 초전전압

Fig. 4. Pyroelectric voltage vs. modulation frequency for PLT thin films with the various La concentrations.

Fig. 5 에 La 농도에 따른 PLT 박막의 초전계수를 나타내었다. Fig. 5 에서 보듯이, La 농도에 따른 PLT 박막의 초전계수는 세 가지 조성 모두 주파수에 따라 급격한 변화 없이 비교적 일정하게 나타났으며, 초전계

수는 10Hz 일 때 PLT(10) 에서 제일 큰 약 $6.6 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 로 나타났다.

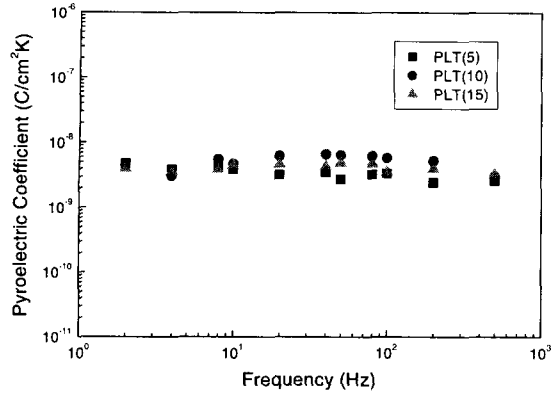


그림 5. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 초전계수

Fig. 5. Pyroelectric coefficient vs. modulation frequency for PLT thin films with the various La concentrations.

Fig. 6 에 La 농도에 따른 PLT 박막의 재료평가지수를 나타내었다. 초전계수를 이용해 구하는 재료평가지수 (figure of merit) 들은 초전소재 자체를 평가하는 매우 중요한 요소로서 식 (1) 과 (2) 로서 표현된다.^[11]

$$F_V = \frac{p}{c_v \epsilon_r} \left[\frac{\text{C} \cdot \text{cm}}{\text{J}} \right] \quad (1)$$

$$F_D = \frac{p}{c_v \sqrt{\epsilon_r \tan \delta}} \left[\frac{\text{C} \cdot \text{cm}}{\text{J}} \right] \quad (2)$$

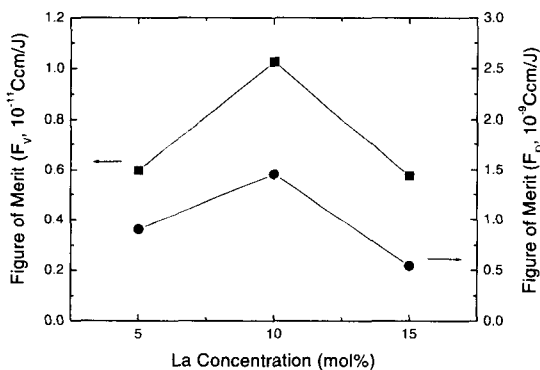


그림 6. La 농도에 따른 PLT 박막의 재료평가지수
Fig. 6. Figure of merits of PLT thin films with the various La concentrations.

여기서, F_V 는 전압감도를 위한 재료평가지수, F_D 는 비검출능을 위한 재료평가지수이며, p 는 초전계수,

C_v 는 박막의 체적비열, ϵ_r 은 박막의 비유전율, $\tan \delta$ 는 박막의 유전손실이다.

Fig. 6 에서 보듯이, 전압감도와 비검출능을 위한 재료평가지수는 PLT(10) 에서 각각 $1.03 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 과 $1.46 \times 10^{-9} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 으로 가장 큰 값을 나타내었으나, Takayama 등^[11]이 보고한 $0.83 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 과 $1.2 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 의 값들과는 약간의 차이를 나타내었다.

Fig. 7a 는 La 농도에 따른 PLT 박막의 전압감도 (R_V) 를 구한 것으로 식 (3) 과 같이 표현된다.

$$R_V = \frac{V_f}{F_0 A_0} \left[\frac{V}{W} \right] \quad (3)$$

여기서, V_f 는 주파수에 따른 초전전압, F_0 는 입사 복사 열 선속, A_0 는 수광 면적이다.

식 (3) 에서 보듯이 전압감도는 입사 열 선속과 감지 물질의 면적 (적외선을 흡수하는 상부전극 면적) 으로 초전전압을 나누는 것으로 정의된다. 전압감도는 상대적으로 낮은 변조 주파수 (50Hz 이하) 에서 변화량이 작았으나, 50 Hz 이상의 주파수에서는 거의 주파수에 반비례하여 급격히 감소하였다. 이는 전압감도의 이론적 수식인 식 (4) 에 의해 설명되어 질 수 있다.^[12,13]

$$R_V = \frac{p \eta A_0 R_g R_l \omega}{(1 + \omega^2 \tau_c^2)^{1/2} (1 + \omega^2 \tau_l^2)^{1/2}} \left[\frac{V}{W} \right] \quad (4)$$

여기서, η 는 흡수율, R_g 와 R_l 는 전기적 저항과 열적 저항, ω 는 각변조 주파수, τ_c 와 τ_l 는 각각 전기적 시상수와 열적 시상수이다.

식 (4) 에서 보듯이, 주파수가 $1/\tau_c$ 의 경계를 넘어서 고주파수로 갈수록 전압감도가 주파수에 반비례하여 변화하게 됨을 알 수 있다. 또한, La 농도에 따른 전압감도를 비교해보면, La 농도가 증가할수록 주파수에 따른 감소 경향이 우측으로 이동함을 알 수 있다.^[14] 이는 RC 로 정의되는 전기적 시상수 τ_c 가 La 농도가 증가할수록 C 값이 커지므로 증가하기 때문이다. Fig. 3 에 나타난 것처럼 PLT 박막의 유전상수는 La 농도가 증가함에 따라 증가하였으며 다른 보고들에서도 이와 유사한 경향이 나타났다.^[15,16] 따라서, 그에 상응하는 PLT 박막의 캐패시턴스가 La 농도에 따라 증가하므로, 시상수가 증가하게 된다. Fig. 7b 는 8 Hz 의 주파수에서 La 농도에 따른 PLT 박막의 전압감도를 나타낸 것이다. Fig. 7b 에서 보듯이, 전압감도는 PLT(10) 에서

5.15 V/W 로 가장 큰 값을 나타내었다.

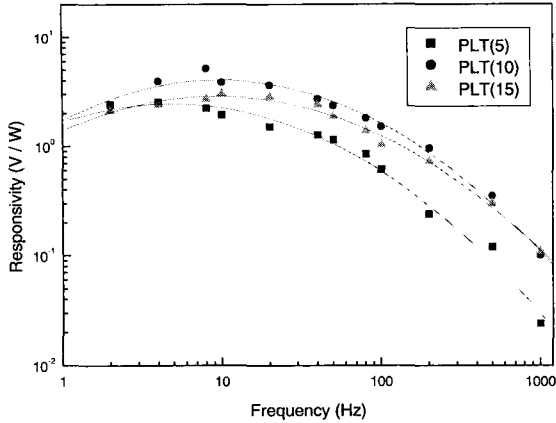


그림 7a. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 전압감도 (Rv)
 Fig. 7a. Voltage responsivity vs. modulation frequency for PLT thin films with different La concentrations.

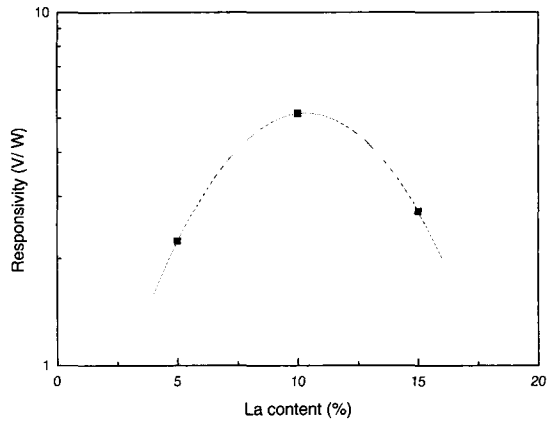


그림 7b. 주파수 8 Hz 일 때 La 농도에 따른 전압감도의 차이
 Fig. 7b. Voltage responsivity vs. La concentrations at 8 Hz.

초전형 적외선 센서의 잡음측정전압 (V_{meas}) 이 변조 주파수에서 측정되었다. 잡음전압 (V_N) 은 센서의 출력 단에서 잡음전압이며 일반적으로 실험치와 다음과 같은 관계를 가지고 있다.

$$V_N = V_{meas} / \sqrt{\Delta F_N} \quad (5)$$

$$\Delta F_N = \frac{\pi}{2} \frac{f}{Q} \quad (6)$$

여기서, ΔF_N 은 잡음전압의 중심주파수 편차이고

Q 는 측정시의 f 와 ΔF_N 의 비이다.

Fig. 8 은 La 농도에 따른 PLT 박막의 잡음전압의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. Fig. 8 에서 보듯이, 주파수에 따른 잡음전압은 세가지 농도변화 모두 거의 비례적인 관계를 나타낸다. 이는 식 (7) 에 나타낸 잡음전압에 대한 이론적인 수식에 의해 설명되어 질 수 있다.

$$V_N = \sqrt{\frac{4 k_B T R_0 (1 + \omega C_0 R_0 \tan \delta)}{1 + (2\pi f R_0 C_0)^2}} \quad [V] \quad (7)$$

여기서, k_B 는 볼츠만 상수, T 는 온도이다.

잡음전압은 온도잡음 (temperature noise V_t) 과 유전손실잡음 ($\tan \delta$ noise V_d) 및 입력저항잡음 (input resistance noise V_r) 으로 이루어진 Johnson noise 의 총합으로 표현된다. 초전형 적외선 센서에서는 Johnson noise 중 유전손실잡음이 매우 우세하기 때문에 잡음전압이 $f^{1/2}$ 에 비례하여 변화하게 된다.^[11,17]

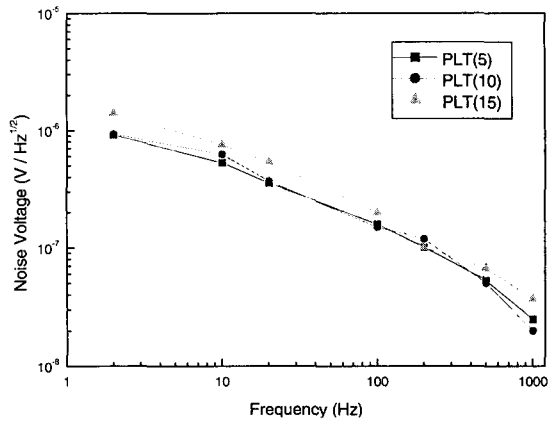


그림 8. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 잡음전압 (V_n)
 Fig. 8. Noise voltage vs. modulation frequency for PLT thin films with different La concentrations.

다른 센서 회로의 잡음과 비교하기 위해 주어진 대역폭에 대한 equivalent detectable optical input power 인 출력잡음을 구하였으며, 이를 잡음등가전력 (NEP) [$WHz^{-1/2}$] 이라고 정의한다. La 농도에 따른 PLT 박막의 잡음등가전력에 대한 변조주파수 의존성을 Fig. 9 에 나타내었다. 잡음등가전력은 식 (8) 과 같이 정의어진다

$$NEP = \frac{V_N}{R_V} \left[\frac{W}{\text{Hz}} \right] \quad (8)$$

잡음등가전력은 잡음전압을 전압감도로 나눈 값으로서 센서에서의 최소 복사 선속 (radiant flux) 을 제시한다. 잡음등가전력의 값이 작을수록 센서의 성능은 우수한 것이며 100 Hz 의 주파수에서 PLT(10) 이 $9.93 \times 10^{-8} \text{ W/Hz}^{1/2}$ 으로 가장 작은값을 나타내었다. 또한, 다른 조성과 비교했을 때 PLT(5) 의 경향성이 상이한 것은 전압감도의 빠른 감소 때문이라고 생각된다.

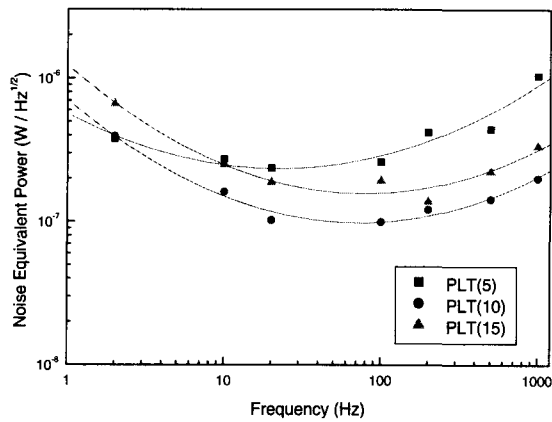


그림 9. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 잡음등가전력 (NEP)

Fig. 9. Noise equivalent power vs. modulation frequency for PLT thin films with different La concentrations.

비검출능 (specific detectivity) 은 1 cm^2 의 면적을 가진 센서에 대한 입사 power 가 1W 이고 잡음을 1 Hz 의 electrical bandwidth 을 가지고 측정했을 때 신호 대 잡음비로서, 식 (9) 와 같이 표현된다.

$$D^* = \frac{\sqrt{A_0}}{NEP} \left[\frac{\text{cm}\sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}} \right] \quad (9)$$

센서의 성능은 수광면적이나 측정계에 따라 다르기 때문에 규격화하여 정의한 비검출능을 이용하여 평가하여야 한다. Fig. 10a 에 La 농도에 따른 PLT 박막의 비검출능을 나타내었다. PLT(10) 과 PLT(15) 에서 비검출능은 $f > 100 \text{ Hz}$ 일 때, 제곱근 주파수에 반비례하는데, 이는 전압감도가 주파수에 반비례적으로 변화하고 잡음전압이 제곱근 주파수로 반비례 변화하기 때문이다. 또한, PLT(5) 에서의 상이한 경향성은 잡음등가

전력에서 언급한대로 전압감도의 빠른 감소 때문이라고 생각된다. Fig. 10b 는 100 Hz 의 주파수에서 La 농도에 따른 비검출능의 값을 나타낸 것이다. 비검출능은 PLT(10) 에서 $1.81 \times 10^6 \text{ cm}\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$ 로 가장 우수한 값을 나타내었다.

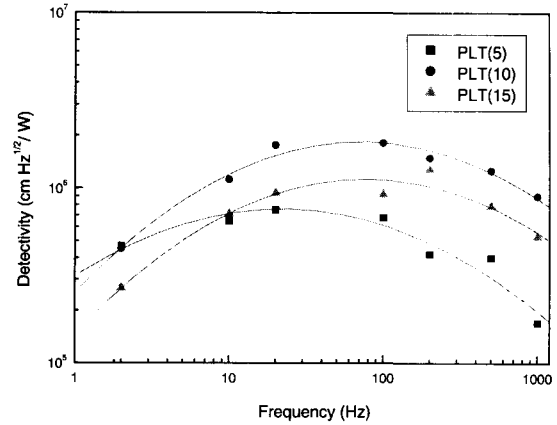


그림 10a. La 농도에 따른 PLT 박막의 변조 주파수에 대한 비검출능 (D^*)

Fig. 10a. Detectivity vs. modulation frequency for PLT thin films with different La concentrations.

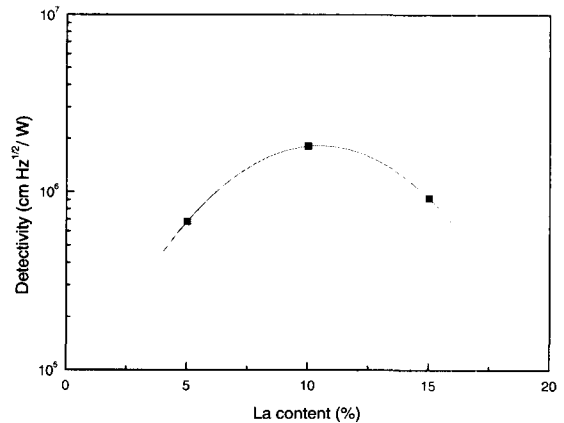


그림 10b. 주파수 100 Hz 일 때 La 조성에 따른 비검출능의 차이

Fig. 10b. Detectivity vs. La concentrations at 100 Hz.

IV. 결 론

La 농도가 5, 10, 15mol% 인 PLT (Lanthanum-modified lead titanate, $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$) 박막을 sol-gel 법으로 제작하였다. 제작된 PLT 박막들을 초전

형 적외선 센서에 적용하기 위해, La 농도에 따른 초전 특성 파라미터들을 분석하여 초전형 적외선 센서를 위한 최적의 La 농도를 갖는 PLT 박막을 선정하고자 하였다. 초전특성 파라미터들은 dynamic 방법을 이용하여 조사되었다. 초전계수는 세가지 조성 모두 주파수의존성 없이 일정한 모습으로 PLT(10) 박막에서 가장 큰 $6.6 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 을 나타내었고, 잡음전압은 세가지 조성 모두 Johnson noise 중 유전손실잡음의 우세함에 의해 기울기 $f^{1/2}$ 로 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한, 잡음등가전력은 초전형 적외선 센서에서 입력에너지의 최소 크기를 말해주는데 PLT(10) 에서 주파수 100 Hz 일 때 최소값 $9.93 \times 10^{-8} \text{ W/Hz}^{1/2}$ 을 나타내었다. 특히 PLT(10) 은 우수한 유전특성 ($\epsilon_r = 201$, $\tan \delta = 1\%$) 을 바탕으로 초전형 적외선 센서의 성능을 판가름하는 중요 요소인 재료평가지수들이나 전압감도, 그리고 비검출능이 다른 조성과 비교하여 상당히 우수한 값을 나타내었다. PLT(10) 박막의 1kHz 일 때 유전특성과 초전계수를 이용하여 구해진 전압감도와 비검출능을 위한 재료평가지수는 각각 최대값 $1.03 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 과 $1.46 \times 10^9 \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 로 나타났고, 초전전압에 상응하는 전압감도는 저주파 영역에서 거의 일정하고 고주파 영역에서 주파수에 반비례한다. La 농도에 따른 전압감도를 비교해보면, La 농도가 증가할수록 주파수에 따른 감소 경향이 우측으로 이동함을 알 수 있는데 이는 전기적 시상수에 의해 설명되어진다. 또한 주파수 8 Hz 일 때 기준으로 La 농도별로 비교하였을 때 PLT(10) 의 전압감도가 최대값 5.15 V/W 로 나타났다. 또한 잡음등가전력에 거의 반비례하는 관계로써 같은 주파수 100 Hz 에서 PLT(10) 의 비검출능은 $1.81 \times 10^6 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 로 가장 우수한 값을 나타내었다. 이는 La 농도가 10mol% 인 PLT 박막이 초전형 적외선 센서에 적용하기에 가장 적합하다는 사실을 나타낸 것이다.

참 고 문 헌

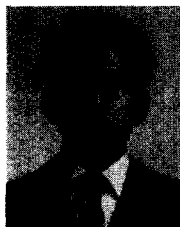
- [1] D. H. Chang, Y. S. Yoon and S. J. Kang, "Study of the Switching Characteristics of PLT(10) Thin Films", J. Kor. Phys. Soc., Vol. 38, No. 3, pp. 277~281, March 2001.
- [2] M. Okuyama and Y. Hamakawa, "PbTiO₃ Ferroelectric Thin Films and Their Pyroelectric Application", Ferroelectrics, Vol. 118, pp. 261~278, 1991.
- [3] N. Nagao, T. Takeuchi and K. Iijima, "Preparation and Properties of (Pb,La)TiO₃ Pyroelectric Thin Films by RF-Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, pp. 4065~4068, 1993.
- [4] C. M. Wang, Y. C. Chen, M. S. Lee and J. W. Wu, "The Properties of Lead Titanate Thin Films Derived from a Dio-Based Sol-Gel Processes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, pp. 951~957, 1998.
- [5] K. K. Kyaw Soe, M. Maeda and I. Suzuki, "Sol-Gel Processing of Pb_{1-x}La_xTiO₃ Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, pp. 205~209, 1996.
- [6] 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.
- [7] M. Kobune, S. Jujii, K. Akamatsu and R. Takayama, "Pyroelectric Properties of La- and Mg-Modified PbTiO₃ Thin Films", J. Ceram. Soc. Jap., Vol. 103, pp. 515~518, 1995.
- [8] R. Takayama, and Y. Tomita, "Pyroelectric Properties and Application to Infrared Sensors of PbTiO₃, PbLaTiO₃ and PbZrTiO₃ Ferroelectric Thin Films", Ferroelectrics, Vol. 118, pp. 325, 1991.
- [9] Y. Shimizu, K. R. Udayakumar and L. Eric Cross, "Preparation and Electrical Properties of Lanthanum-Doped Lead Titanate Thin Films by Sol-Gel Processing", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 74, pp. 3023~3027, 1991.
- [10] A. G. Chynoweth, "Dynamic Method for measuring the Pyroelectric of Effect with Special Reference to Barium Titanate", J. Appl. Phys., Vol. 27, pp. 78~84, 1956.
- [11] 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.
- [12] M. Kohli, C. Wuethrich, K. Brooks, B. Wiling, M. Forster, P. Murali, N. Setter and P. Ryser, Sens. & Actuat. A, Vol. 60, pp. 147, 1997.
- [13] C. M. Wang, Y. C. Chen, M. S. Lee and J. W. Wu, "Pyroelectric Properties of La-modified Lead Titanate Thin Film Detectors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, pp. 2831~2834, 1999.
- [14] K. No, C. G. Choi, D. S. Yoon, T. H. Sung, Y. C. Kim, I. S. Jeong and W. J. Lee, "Pyroelectric Properties of Sol-Gel Derived Lanthanum Modified Lead Titanate Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, pp. 2731~2733, 1996.
- [15] S. J. Kang, D. H. Chang and Y. S. Yoon, "Fatigue and Dielectric Properties of the (Pb,La)/TiO₃ Thin Films with Various La Concentrations", Thin Solid Films, Vol. 373, pp. 53~59, 2000.
- [16] G. Teowee, J. M. Boulton C. D. Baertlein, R. K. Wade and D. R. Uhlmann, "Electrical Properties of Sol-Gel Derived La-Doped PbTiO₃-Coating Films", Integrated Ferroelectrics, Vol. 4, pp. 231, 1994.
- [17] R. W. Whatmore, "Pyroelectric Ceramics and Devices for Thermal Infra-Red Detection and Imaging", Ferroelectrics, Vol. 118, pp. 241~259, 1991.

 저 자 소 개

車玳垠(正會員)

1973년 1월 6일생. 2000년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 2002년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 2002년 2월~현재, 삼성전자. <주관심분야 : Pyroelectric 센서 응용을 위한 강유전체 박막>



張東勳(正會員)

1971년 3월 13일생. 1995년 2월, 수원대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1997년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1997년 9월~현재, 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. <주관심분야 :

DRAM 및 NVRAM 응용을 위한 강유전체 박막 및 기능성 고분자 박막, Pyroelectric 센서>

姜 賢 俊(正會員) 第38卷 SD編 第8號 參照

1965년 7월 10일생. 1989년 2월, 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1999년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(Ph. D.). 1999년 3월~2000. 1. 인하대학교 전자재료공학과 연구원(Post Doc.). 2000년 2월~현재, 국립여수대학교 반도체·응용물리학과 조교수. <주관심분야 : DRAM 및 NVRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서>

尹 英 燮(正會員) 第37卷 SD編 第6號 參照

1952년 9월 7일생. 1975년 2월, 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월, 한국과학기술원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 12월, U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph.D.). 1987년 3월~1988년 5월, Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월~1989년 6월, UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월~1992년 2월, 삼성 전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1992년 3월~현재, 인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수. <주관심 분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device>