

$Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ ($x=0.1$) (PLT(10)) 강유전체 박막에서 동적 초전특성의 주파수의존성에 관한 연구

(A study on the Frequency Dependence of Dynamic Pyroelectric Properties for $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ ($x=0.1$) (PLT(10)) Ferroelectric Thin Film)

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

분극처리 없이 제작한 lanthanum-modified lead titanate (PLT) 박막의 초전특성에 대한 변조 주파수의존성을 dynamic method 를 이용하여 조사하였다. La이 10 mol% 첨가된 $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ ($x=0.1$) (PLT(10)) 박막을 Pt/TiO₂/SiO₂/Si 기판위에 acetate 계 precursor 을 이용한 sol-gel 법으로 제작하였다. 제작된 PLT(10) 박막은 비교적 우수한 유전특성을 보였다. 초전계수 (p) 는 주파수 의존성이 없이 $6.6 \times 10^{-9} C/cm^2 \cdot K$ 을 나타내었다. 이를 이용하여 구한 전압감도와 비검출능을 위한 재료평가지수는 각각 $1.03 \times 10^{-11} C \cdot cm/J$ 과 $1.46 \times 10^{-9} C \cdot cm/J$ 로 나타났다. 제작된 PLT(10) 박막 초전형 적외선 센서는 주파수 8 Hz 에서 5.15 V/W 의 전압감도 (RV)를 가지며, 잡음등가전력 (NEP) 과 비검출능 (D^*) 은 동일한 주파수 100 Hz 에서 각각 $9.93 \times 10^{-8} W/Hz^{1/2}$ 와 $1.81 \times 10^6 cm \cdot Hz^{1/2}/W$ 의 최소값과 최대값을 나타내었다. 이와 같은 특성들은 PLT(10) 박막이 초전형 적외선 센서의 감지물질로 매우 적합함을 나타낸 것이다.

Abstract

The fabricated La-modified lead titanate (PLT) thin film without poling treatment was investigated for modulation frequency dependence of pyroelectric properties by the dynamic method. $Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O_3$ ($x=0.1$) (PLT(10)) thin film having 10 mol% La content was deposited on a Pt/TiO₂/SiO₂/Si substrate by sol-gel method. The PLT(10) thin film exhibits a relatively excellent dielectric property. The pyroelectric coefficient (p) of the PLT(10) thin film is $6.6 \times 10^{-9} C/cm^2 \cdot K$ without frequency dependence. The figure of merits for the voltage responsivity and specific detectivity are $1.03 \times 10^{-11} C \cdot cm/J$ and $1.46 \times 10^{-9} C \cdot cm/J$, respectively. The PLT(10) thin film has voltage responsivity (RV) of 5.15 V/W at 8 Hz. Noise equivalent power (NEP) and specific detectivity (D^*) of the PLT(10) thin film are $9.93 \times 10^{-8} W/Hz^{1/2}$ and $1.81 \times 10^6 cm \cdot Hz^{1/2}/W$ at the same frequency of 100 Hz, respectively. The results means that PLT thin film having 10 mol% La content is suitable for the sensing materials of pyroelectric IR sensors.

Keyword : PLT, pyroelectric, NEP, detectivity, 동적측정방법

* 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: 2001年10月22日, 수정완료일: 2002年12月2日

I. 서 론

21세기의 정보산업사회에서는 보다 많은 정보를 정확하게 인지할 수 있는 기술의 확보가 가장 중요하며, 이는 주변에서 일어나는 모든 물리적 변화를 전기적 신호로 변환시킬 수 있는 다양한 센서의 개발이 핵심이 되고 있다. 최근에는 인간의 두뇌를 모방한 컴퓨터

기술의 비약적인 발달로 전기신호의 처리기술이 향상되어 단순한 자동화 기술에서 성능이 우수하고 기능이 다양한 지능형 센서 개발로의 기술 수요는 날이 증가하고 있다. 측정대상물로부터 정보를 검출하여 측정량을 전기적 신호로 변환하는 센서소자는 자동화, 정밀화, 고속화 등 전자, 통신산업 및 여러 응용분야의 기술에 필요한 핵심부품으로 자리잡고 있으며, 센서의 제작 및 응용기술과 우수한 센서재료를 연구하는 것은 중요한 첨단기술의 하나로 부상되고 있다.

이러한 센서들 중에서 강유전체의 온도 변화에 따른 자발분극의 변화 때문에 발생하는 초전효과(pyroelectric effect)를 이용하는 초전형 적외선 센서는 감도의 파장의존성이 적고 상온에서도 사용이 가능하며, 특히 발광소자가 필요 없이 온도를 갖는 모든 물체를 검지할 수 있고, 높은 신뢰성, 저가격, 저잡음 및 전원전압을 필요로 하지 않는다는 장점으로 인하여 가정용에서부터 군사용, 의료용으로까지 그 수요가 급증하고 있다.^[1] 이러한 센서는 과거에는 강유전체 단결정 또는 세라믹으로 제조되었으나, 최근 전자 소자의 소형화와 박막화 추세로 인해 강유전체 박막을 이용한 적외선 센서가 제작되고 있다. 초전형 적외선 센서의 감지물질로 PZT, PLT, PT, LT 등 다양한 강유전체 박막이 연구되고 있으며,^[2~4] 그 중 PLT 박막의 경우, dopant 로서 La 의 첨가는 정방성을 감소시키는 역할을 하므로 박막을 제작하기가 용이할 뿐만 아니라, 조성에 따라 매우 우수한 초전특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.^[5] 특히, La 이 10 mol% 첨가된 PLT(10) 박막은 강유전상을 가지며, 다른 La 농도에 비해 상대적으로 작은 유전상수와 비교적 큰 분극값을 가지고 있어 초전형 적외선 센서에 유망한 재료로 인정되어지고 있다.^[6~8]

본 연구에서는 강유전체 박막 재료들 중 PLT(10) 박막을 초전형 적외선 센서에 적용하기 위해, 이 박막의 초전 특성의 주파수 의존성에 대해 연구하였다. 초전형 적외선 센서는 온도변화가 없는 열적 평형상태에서는 작동하지 않고, 변화하는 입력이 있어야만 작동하는 미분형 센서이기 때문에, 측정 대상물 자체가 이동하거나 초퍼를 이용하여 입력 적외선을 단속시켜 주어야만 동작이 가능하다. 따라서, 초전형 적외선 센서의 특성은 측정 대상물의 이동 또는 초퍼의 회전에 연관된 주파수와 밀접하게 연관되어 있으므로, 초전 특성의 주파수 특성을 조사하는 것이 매우 중요하다. 초전형 적외선

센서의 주파수 특성은 비파괴적인 dynamic method^[9]에 의해서만 조사될 수 있지만, 현재까지의 연구는 시료에 직접 열을 가하여 초전 특성을 측정하는 단순하고 파괴적인 방법인 static method 에 의존하여, 주파수에 따른 초전형 적외선 센서의 전압감도나 비검출능 등에 대한 연구가 크게 미흡한 실정이었다.

따라서 본 논문에서는 PLT(10) 박막의 전압감도, 잡음전압, 잡음등가전력, 비검출능 등의 주파수에 따른 초전 특성을 dynamic method 를 이용하여 조사하였다.

II. 이론적 배경

변속된 복사 선속의 시간의존성 형태와 전체 power 는 <그림 1>에 나타난 것처럼, 초퍼창의 길이와 black body 적외선 방출구의 직경과의 관계에 의존한다. 일반적인 경우, 변조된 선속은 사다리꼴에 가까운 형태를 가진다. 만약, 방출구의 직경 d 가 초퍼창의 길이 l 보다 작다면 변조된 선속의 사다리꼴 변화는 <그림 2>에서 보듯이 4가지 상으로 구성된다.

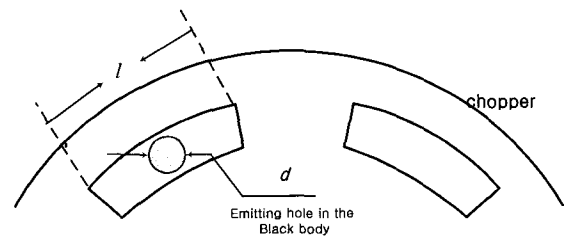


그림 1. Blackbody의 emitting hole과 chopper의 window 길이에 대한 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the relation between the diameter of the emitting hole and the length of the window in modulator.

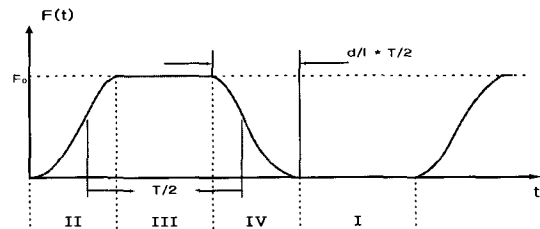


그림 2. 변조된 선속의 사다리꼴 변화의 4가지 상
Fig. 2. 4 phases of the temporal changes of the modulated flux.

변조된 선속의 위쪽 점들과 아래쪽 점들 사이의 차이는 변조되지 않은 선속 (F_0)의 전력 밀도와 일치한

다. 이는 다음과 같은 식으로부터 결정되어 질 수 있다.^[10]

$$F_{\text{rad}} = \frac{A\sigma(T^4 - T_0^4)}{\pi L^2} \quad (1)$$

여기서, A 는 blackbody에서 방출되는 hole의 면적, σ 는 스테판-볼츠만 상수, T 는 blackbody의 온도, T_0 는 주위의 온도, L 은 감지물질과 blackbody 사이의 거리이다.

그리고 이것의 유효값은 다음 식과 같다.

$$F_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{rad}}}{\sqrt{2}} = \frac{F_{\text{rad}}}{2\sqrt{2}} = \frac{A\sigma(T^4 - T_0^4)}{2\sqrt{2}\pi L^2} \left[\frac{W}{cm^2} \right] \quad (2)$$

초전형 적외선 센서에서, 공기로 둘러 쌓인 얇은 기판 위에 박막의 초전 EMF (electromotive force)는 다음 식과 같이 나타내어 질 수 있다.^[11]

$$V = \frac{p\ell F_0}{\epsilon\epsilon_0\sqrt{i\omega}(\sqrt{K_1c_1} + \sqrt{K_uc_u})} \quad (3)$$

여기서, F_0 는 복사 열 선속 (radiation thermal flux), K_1 과 K_u 는 각각 공기와 기판의 열전도 상수, c_1 과 c_u 는 각각 공기와 기판의 단위체적 당 열 캐패시턴스이다.

수식 (3)에서 $K_1c_1 \ll K_uc_u$ 이기 때문에 다음과 같이 간략화 할 수 있다.

$$V = \frac{p\ell F_0}{\epsilon\epsilon_0\sqrt{i\omega}K_uc_u} \quad (4)$$

감지 물질의 출력 전압 U_L (부하 저항의 전압)은 다음 식과 같다

$$U_L = V \frac{R_L}{R_L + \frac{1}{i\omega C}} = \frac{i\omega R_L C V}{1 + i\omega R_L C} \quad (5)$$

여기서, R_L 은 부하 저항, C 는 센서 물질의 전기적 캐패시턴스이다.

출력 전압의 절대값은 다음 식과 같다.

$$|U_L| = pAF_0R_L \sqrt{\frac{\omega}{K_uc_u}} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_L^2}} \quad (6)$$

여기서, A 는 센서 물질의 면적이다.

식 (6)의 전압응답을 주파수의 변화에 따라 입사되

는 열 선속으로 나누면 전압감도를 구할 수 있다.

$$R_V = \frac{U_L}{F_0 A_0} \left[\frac{V}{W} \right] \quad (7)$$

여기서, F_0 는 $\frac{1}{Q} = \frac{\Delta F}{F_0}$ 에서 $F_0 \approx \Delta F Q$ 처럼 근사되어질 수 있다.

잡음등가전력 (noise equivalent power)은 센서잡음과 동일한 신호출력을 주기 위해 필요한 복사 선속 (radiant flux)을 의미한다. NEP는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

비검출능 (specific detectivity) D^* 은 초전형 적외선 센서의 성능을 결정하는 S/N 비를 나타내며 다음 식과 같이 표현된다.

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

즉, D^* 은 1 cm^2 의 면적을 가진 센서에 대한 입사 power가 1 W 이고 잡음을 1 Hz 의 전기적인 대역폭 (electrical bandwidth)을 가지고 측정했을 때 신호 대 잡음비이다.

III. 실험 방법

PLT precursor solution의 제조 방법중 한가지인 acetic-acid system을 이용하여 PLT 혼합용액을 제조하였다. 출발물질로는 alkoxide compound 들인 $Pb(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$, $La(OOCCH_3)_3 \cdot 1.5H_2O$, $Ti(O-iC_3H_7)_4$ 를 사용하였으며 acetic acid 을 metal alkoxide의 안정화제 (stabilizer)로 사용하였고, 점도의 조절과 기판에 대한 습윤성 (wettability)의 향상을 위해 n-propanol 을 이용하였다. 출발물질로 사용되는 alkoxide는 공기중의 수분에 매우 민감하므로 이를 방지하기 위해 질소 분위기의 glove box 내에서 조성에 해당하는 양을 측량 한 후, clean bench 내에서 stock solution을 제작하였다. Pb solution의 경우, drying이나 annealing 과정 중 Pb 휘발로 인한 Pb 부족 때문에 pyrochlore상이 생기는 것을 막기 위해 과량의 Pb ($12.5\text{mol}\%$)를 첨가하였다. Pb-La stock solution의 경

우, Pb acetate 와 La acetate 을 acetic acid 와 섞은 다음, 90 °C 에서 15 분 정도 stirring 하여 stock solution 을 만들었다. 그 다음 Ti-isopropoxide 에 acetic acid 와 n-propanol 을 섞은 후, 상온에서 stirring 하여 Ti stock solution 을 제작하였다. 그 후, Pb-La stock solution 과 Ti stock solution 을 섞은 다음 5 분간 stirring 하였다. 이 solution 에 다시 acetic acid 와 n-propanol 을 첨가한 후, 80 °C 에서 30 분간 stirring 하였다. 가수분해를 일으키기 위해 상온으로 냉각된 solution 에 증류수를 첨가하고, 2~4 시간동안 stirring 하여 최종적으로 0.4M 의 coating solution 을 만들었다.

제작된 coating solution 은 spin coating 시 0.2 μ m filter 을 사용하여 precursor solution 의 particle 오염 등을 제거한 다음 Pt/TiO_x/SiO₂/Si 기판 위에 spin coater 을 이용 500rpm-5 초, 3500rpm-35 초간 회전 증착 시켰다. 형성된 박막은 110 °C 에서 15분간, 400 °C 에서 10분간, 2번에 나누어서 drying 을 실시하였다.

Coating/Drying 작업이 원하는 두께를 얻을 때까지 반복되었다. 그 후 5 °C/min 의 승온속도로 650 °C 에서 30 분 동안 공기 중에서 annealing 되었다. 이와 같이 제작된 PLT 박막 위에 초전 특성을 측정하기 위해, 특별히 제작된 metal mask 을 이용, 제작된 박막의 표면에 Ni-Cr 을 sputtering 하여 상부전극을 제작하였다. 또한 Pt 하부전극의 전기적인 접촉을 위해, 박막의 끝부분을 불산(ammonium fluoride/hydrofluoric acid) 을 이용하여 식각 하였다. 전기적 접촉을 위해 상부전극과 식각된 하부전극에 silver paste 을 하여 PLT⁽¹⁰⁾ 박막의 초전 특성 측정을 위한 소자를 완성하였다.

IV. 결과 및 논의

제작된 PLT 박막의 초전 특성은 Fig. 3에 나타난 것과 같은 측정 시스템을 이용하여 dynamic 방법으로 측정하였다.

측정 시스템은 blackbody, temperature controller, optical chopper (SR 540), cell box, lock-in amplifier (EG & G 124A) 및 오실로스코프 (Tektronix 2445A) 등으로 구성되어 있으며, 크게 black-body radiation of heat source 부분과 초전 소재 및 주변회로와 같은 신호화 부분, 그리고 lock-in amplifier 및 oscilloscope 와 같은 측정 부분의 세 부분으로 이루어져 있다. Black body의 동작온도는 307 °C 이며 temperature controller

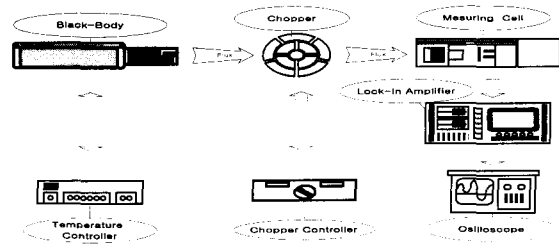


그림 3. 초전특성 측정 장치의 개략도 (Dynamic method)

Fig. 3. Schematic diagram of pyroelectric properties measuring system (Dynamic method).

에 의해 제어된다. Blackbody로 부터 복사되는 열선속은 optical chopper 을 통해 제작된 cell 상자 안의 측정 시료에 입사된다. 초전 특성을 측정하기 위한 cell 상자 내의 회로 구성은 <그림 4> 와 같다. 이는 초전전압을 측정하기 위해 기본적으로 제시되어 왔던 회로도이며,

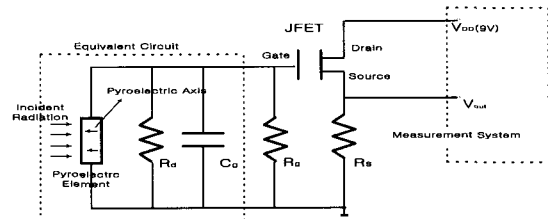


그림 4. 증폭기를 포함한 초전형 적외선 센서의 전극 구성과 등가회로

Fig. 4. Face electrodes configuration and equivalent electrical circuit of a pyroelectric infrared sensor with an amplifier.

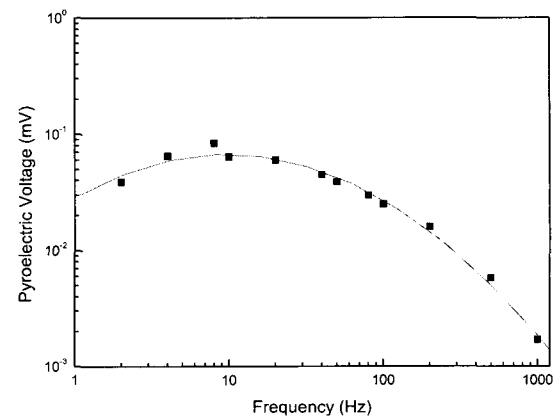


그림 5. PLT(10) 박막의 변조 주파수 의존성에 따른 초전전압

Fig. 5. Pyroelectric voltage vs. modulation frequency for PLT(10) thin film.

시료와 low-noise JFET (2N4416) 을 source follower 회로 형태로 연결되어 있다.

<그림 5>는 광원이 $5.26 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^2$ 의 복사 열 선속을 가지고, 기계적으로 2 Hz 에서 1 kHz 까지의 주파수로 chop 되어 전극 표면에 창 (window) 없이 직접적으로 입사되었을 때, PLT(10) 박막의 초전전압을 측정해서 나타낸 것이다.

<그림 5>에서 보듯이, 초전전압은 주파수가 증가함에 따라 증가하다 임계 주파수 이상에서 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 주파수 분산에 의한 영향으로 설명이 가능하다. 저주파수 영역의 경우, 분역의 재배향이 변조 주파수에 따른 분극 변화량의 증가로 최대 전압을 얻게되는 반면에, 임계 주파수 이상의 고주파수 영역으로 갈수록 분역의 재배향이 변조 주파수에 따라 억제되므로 응답이 감소하기 때문으로 생각된다.

표 1. PLT(10) 박막의 유전특성, 초전계수와 재료평가지수들

Table 1. Dielectric property, pyroelectric coefficient and figure of merits for PLT(10) thin film.

| | ϵ_r | $\tan \delta$ | p ($C/cm^2 \cdot K$) | F_v ($C \cdot cm/J$) | F_m ($C \cdot cm/J$) |
|---------|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| PLT(10) | 200 | 0.01 | 6.6×10^{-9} | 1.03×10^{-11} | 1.46×10^{-9} |

<표 1>에 PLT(10) 박막의 비유전률, 유전손실, 초전계수 및 재료평가지수를 나타내었다. 초전계수를 이용해 구하는 재료평가지수 (figure of merit) 들은 초전소재 자체를 평가하는 중요한 요소로서 다음 식과 같이 표현된다.

$$F_v = \frac{p}{c_v \epsilon_r} \left[\frac{C \cdot cm}{J} \right] \quad (10)$$

$$F_D = \frac{p}{c_v \sqrt{\epsilon_r \tan \sigma}} \left[\frac{C \cdot cm}{J} \right] \quad (11)$$

여기서, F_v 는 전압감도를 위한 재료평가지수이고 F_D 는 비검출능을 위한 재료평가지수이다. 초전계수는 주파수 의존성이 없이 약 $6.6 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot K$ 로 나타났다. 유사한 기관구조를 이용한 No 등^[12]의 초전계수 $2.5 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot K$ 보다는 높은 결과였으나 membrane 구조를 적용하여 Takayama 등^[13]이 보고한 5.5×10^{-8}

$C/cm^2 \cdot K$ 보다는 낮은 결과를 나타내었다. 이는 기관위에 제작한 초전소재의 경우, 기관으로의 열손실이 발생하게 되어 membrane 구조를 적용한 경우보다 낮은 초전응답을 얻게되고 그에 상응하는 초전계수도 작은 값을 나타내는 것으로 생각된다. PLT(10) 박막의 유전특성 (1 kHz)을 토대로 위 식들을 이용하여 전압감도와 비검출능을 위한 재료평가지수를 구한 결과, 각각 $1.03 \times 10^{-11} \text{ C} \cdot cm/J$ 과 $1.46 \times 10^{-9} \text{ C} \cdot cm/J$ 이었다. 이는 Takayama 등^[14]이 보고한 $0.83 \times 10^{-10} \text{ C} \cdot cm/J$ 과 $1.2 \times 10^{-8} \text{ C} \cdot cm/J$ 보다는 작은 값을 나타낸 것이다.

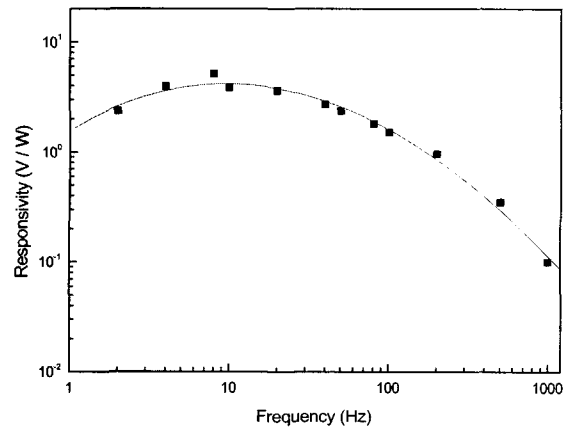


그림 6. PLT(10) 박막의 변조 주파수에 따른 전압감도 (R_v)

Fig. 6. Voltage responsivity vs. modulation frequency for PLT(10) thin film.

<그림 6>은 초전전압을 입사 열 선속과 감지물질의 면적 (적외선을 흡수하는 상부전극 면적)으로 나누어 전압감도 (R_v)를 구한 결과를 나타낸 것이다. 전압감도가 초전 현상에 의해 유도된 출력 전압의 비로 정의됨을 보이고 있다. 전압감도는 상대적으로 낮은 변조 주파수에서 일정하고, 약 50 Hz 이상에서는 거의 주파수에 반비례하여 변화되었다. 이는 전압감도의 이론적 수식을 가지고 설명되어질 수 있다.^[15,16]

$$R_v = \frac{p\eta AR_g R_t \omega}{(1 + \omega^2 \tau_t^2)^{1/2} (1 + \omega^2 \tau_c^2)^{1/2}} \left[\frac{V}{W} \right] \quad (12)$$

주파수가 $1/\tau_t$ 을 경계로 넘어서면, 위 수식에서 알 수 있듯이 고주파수로 갈수록 전압감도가 주파수에 반비례하여 변화함을 알 수 있다.

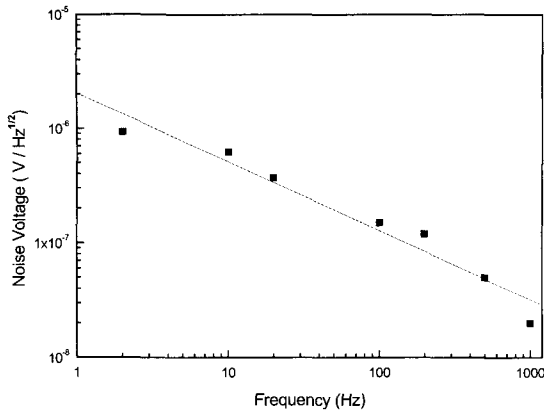


그림 7. PLT(10) 박막의 변조 주파수에 따른 잡음전압 (V_N)

Fig. 7. Noise voltage vs. modulation frequency for PLT(10) thin film.

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

$$V_N = V_{meas} / \sqrt{\Delta F_N} \quad (13)$$

여기서, $\Delta F_N = \frac{\pi}{2} \frac{f_0}{Q}$ 이다.

PLT(10) 박막 센서에 대하여 대역폭 ($V/Hz^{1/2}$ 의 unit 에서) 당 잡음 전압의 주파수 의존성을 Fig. 7에 나타 내었다. 잡음전압의 이론적인 수식은 다음과 같이 표현 된다.

$$V_N = \sqrt{\frac{4k_B T R_0 (1 + \omega C_0 R_0 \tan \sigma)}{1 + (2\pi f R_0 C_0)^2}} \quad [V] \quad (14)$$

여기서, 잡음전압 (V_N) 은 온도 잡음(temperature noise V_t), Johnson noise (유전손실잡음 ($\tan \delta$ noise, V_d) 와 입력저항잡음 (input resistance noise, V_r)) 의 총 합이다. 잡음전압 (V_N) 이 $f^{1/2}$ 에 거의 비례하여 변화 하는 것을 보이는데, 이는 Johnson noise 중 유전손실 잡음 ($\tan \delta$ noise, V_d) 이 초전형 적외선 센서에서 매우 우세하다는 사실에 기인한 것이다.^[11,17]

다른 센서 회로의 잡음과 비교하기 위해 주어진 대역폭에 대한 equivalent detectable optical input power 인 출력잡음을 구하였다. 이를 잡음등가전력 (NEP) [$W/Hz^{-1/2}$] 이라고 한다. PLT⁽¹⁰⁾ 초전형 적외선 센서의

잡음등가전력 (NEP) 과 비검출능 (D^*) 의 변조주파수 의존성을 각각 <그림 8(a)> 와 <그림 8(b)> 에 나타내었다.

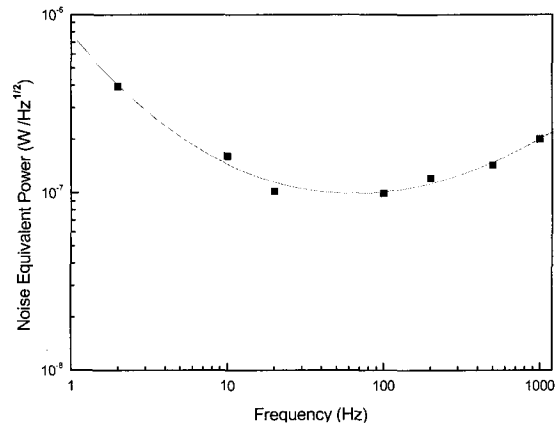


그림 8(a). PLT(10) 박막의 변조 주파수에 따른 잡음 등가전력 (NEP)

Fig. 8(a). Noise equivalent power vs. modulation frequency for PLT(10) thin film.

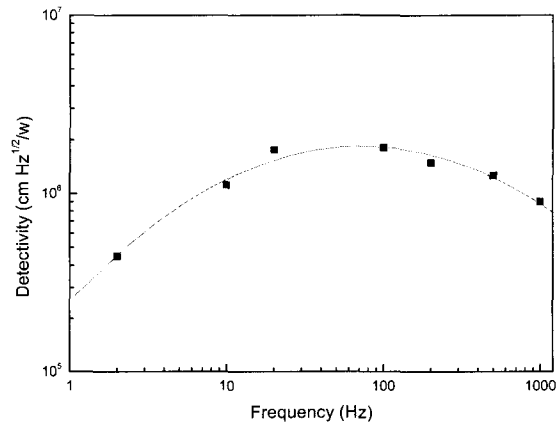


그림 8(b). PLT(10) 박막의 변조 주파수에 따른 비검출능 (D^*)

Fig. 8(b). Detectivity vs. modulation frequency for PLT(10) thin film.

수광면적이나 측정계에 따라 값이 다른 센서의 성능을 규격화하여 정의한 비검출능은 $f > 100$ Hz 일 때 제공된 주파수에 반비례하는데, 이는 전압감도가 주파수에 반비례하고 잡음전압이 제공된 주파수로 반비례하기 때문이다. 이외는 달리, 비검출능이 $f < 50$ Hz 일 때, 저주파수로 갈수록 주파수에 비례하여 감소한다. 이 현상은 저주파수로 갈 때 전압감도가 거의 일정하고

잡음전압이 제공된 주파수에 따라 비례하여 증가하는 것에 기인한 것이다. 잡음등가전력 (NEP) 과 비검출능 (D^*) 은 수식 (9) 에서 보듯이 역수 관계이므로, 반대의 특성 곡선을 나타낸다. 따라서, 동일한 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 잡음등가전력 (NEP) 과 비검출능 (D^*) 의 최소값과 최대값을 나타내었다.

V. 결 론

초전형 적외선 센서 응용을 위한 PLT(10) 박막이 sol-gel 방법에 의해 back side etching 공정 없이 Pt/TiO₂/SiO₂/Si 기판에 제작되었다. PLT(10) 박막의 유전 특성을 측정된 결과, 비유전률과 유전상수는 각각 200 과 0.01 이었다. 또, 초전계수는 주파수 의존성이 없이 $6.6 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2 \cdot \text{K}$ 을 나타내었다. 이를 이용하여 구한 전압감도와 비검출능을 위한 재료평가지수는 각각 $1.03 \times 10^{-11} \text{ C/cm}^2/\text{J}$ 과 $1.46 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2/\text{J}$ 로 나타났다. Dynamic 방법을 이용하여 구한 전압감도는 8 Hz 에서 5.15 V/W 로 최대값을 나타낸 후, 그 이상의 주파수에서는 주파수에 반비례하는 경향을 나타내었다. 잡음전압은 2 Hz 일 때 $0.93 \times 10^{-6} \text{ V}$ 를 가지며 주파수 증가에 따라 제공된 주파수에 반비례하여 감소하였다. 이는 Johnson noise 가 초전형 적외선 센서에서 매우 우세하다는 사실을 나타내는 것이다. 비검출능은 $f > 100 \text{ Hz}$ 일 때, 고주파수로 갈수록 제공된 주파수에 반비례하고, $f < 50 \text{ Hz}$ 일 때 저주파수로 갈수록 주파수에 비례하여 감소하였다. 잡음등가전력과 비검출능은 거의 반비례하는 관계이므로 동일한 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.

참 고 논 문

[1] S. Saito, *Fine Ceramics*, Ohmsha LTD, pp. 34, 1987.
 [2] R. Takayama, Y. Tomita, K. Lijima and I. Ueda, "Pyroelectric Linear Array Infrared Sensors made of c-axis Oriented La-Modified PbTiO₃ Thin Films", *J. Appl. Phys.*, Vol 63, pp. 5868~5872, 1988.
 [3] S. T. Liu and D. Long, "Pyroelectric Detectors

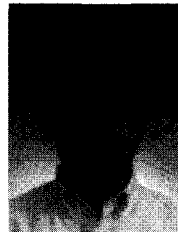
and Materials", *Proceedings of IEEE*, Vol. 66, pp. 14~26, 1978.
 [4] Yuhuan Xu: *Ferroelectric Materials and Their Applications*, North-Holland, Amsterdam, pp. 101~162, 1991.
 [5] R. Takayama, and Y. Tomita, "Pyroelectric Properties and Application to Infrared Sensors of PbTiO₃, PbLaTiO₃ and PbZrTiO₃ Ferroelectric Thin Films", *Ferroelectrics*, Vol. 118, pp. 325, 1991.
 [6] C. M. Wang, Y. C. Chen, M. S Lee and J. W. Wu, "The Properties of Lead Titanate Thin Films Derived from a Diol-Based Sol-Gel Process" *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 37, pp. 951~957, 1998.
 [7] K. Lijima, 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. 361, 1986.
 [8] K. K. K. Soe, M. Maeda and I. Suzuki, "Sol-Gel Processing of Pb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O₃ Thin Films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 35, pp. 205~209, 1996.
 [9] 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.
 [10] M. R. Spiegel: *Mathematical Handbook of Formulas and Tables* (McGraw Hill, New York, 1968)
 [11] V. Samoilov and Y. S. Yoon, "Frequency Response of Multilayer Pyroelectric Sensors", *IEEE Trans on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 45, pp. 1246~1254, 1998.
 [12] K. S. No, C. G. Choi, D. S. Yoon, T. H. Sung, and Y. C. Kim, "Pyroelectric Properties of Sol-Gel Derived Lanthanum Modified Lead Titanate Thin Films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 35, pp. 2731~2733, 1996.
 [13] R. Takayama, T. Kamada, S. Hayashi, S. Fujii, A. Tomozawa, T. Deguchi and T. Hirao,

- "Pyroelectric Properties of La-modified PbTiO₃ Thin Films and Their Applications", *Ferroelectrics*, Vol. 195, pp. 311~316, 1997.
- [14] R Takayama, Y. Tomita, K. Lijima 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.
- [15] M. Kohli, C. Wuethrich, K. Brooks, B. Wliing, M. Forster, P. Mural, N. Setter and P. Ryser: *Sens. & Actuat. A*, Vol. 60, pp. 147, 1997.
- [16] 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.
- [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

尹 英 燮(正會員)

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. <주관심분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device>



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 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막 및 기능성 고분자 박막, Pyroelectric 센서>

姜 聲 俊(正會員)

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 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서>

車 玟 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>