

論文2000-37SD-8-5

# LiTaO<sub>3</sub> crystal의 dynamic 초전특성과 그 주파수 의존성 (Dynamic Pyroelectric Properties and Their Frequency Dependences of LiTaO<sub>3</sub> Crystal)

李 原 在 \* , 姜 聲 俊 \*\* , 鄭 陽 喜 \*\*\* , 尹 英 燮 \*

(Won Jae Lee, Seong Jun Kang, Yang Hee Joung, and Yung Sup Yoon)

## 요 약

LiTaO<sub>3</sub> 단결정 시료의 초전특성에 대한 주파수 의존성을 dynamic 방법을 이용하여 조사하였다. 2 ~ 1000 Hz 주파수 범위에서 LiTaO<sub>3</sub> 단결정 시료의 전압응답을 부하 저항의 크기에 따라 초전전압영역 ( $U_{pv}$ ,  $R_L = 17.3 \text{ G}\Omega$ ) 과 초전전류영역 ( $U_{pv}$ ,  $R_L = 1 \text{ M}\Omega$ ) 으로 분류하여 측정하였다. 초전전류영역의 전압응답에 의존하는 초전계수는 40 Hz 에서 최대값  $1.56 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\cdot\text{K}$  를 나타내었고, 전압감도와 검출능을 위한 재료평가지수는 각각 최대값  $10.8 \times 10^{-11} \text{ C}\cdot\text{cm/J}$  과  $13 \times 10^{-7} \text{ C}\cdot\text{cm/J}$  을 나타내었다. 전압감도는 초전전압영역의 전압응답에 의존하며 2 Hz 에서 488 V/W 의 최대값을 나타내었다. 잡음등가전력과 비검출능은 40 Hz 에서 각각 최소값  $3.95 \times 10^{-10} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$  와 최대값  $5.6 \times 10^8 \text{ cm}\cdot\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$  이었다.

## Abstract

The frequency dependence of the pyroelectric characteristics of LiTaO<sub>3</sub> have been investigated by using the dynamic method. In the frequency range between 2 and 1000 Hz, they are measured in both the regimes of pyroelectric current ( $R_L = 1 \text{ M}\Omega$ ) and pyroelectric voltage ( $R_L = 17.3 \text{ G}\Omega$ ), which can be selected by adjusting the value of the load resistance. Pyroelectric coefficient depending on the voltage response in the regime of pyroelectric current shows the maximum value of  $1.56 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\cdot\text{K}$  at 40 Hz. The maximum values of figures of merits for the voltage response and for the detectivity are measured as  $10.8 \times 10^{-11} \text{ C}\cdot\text{cm/J}$  and  $13 \times 10^{-7} \text{ C}\cdot\text{cm/J}$ , respectively. The voltage responsivity depending on the voltage response in the regime of pyroelectric voltage shows the maximum value of 488 V/W at 2 Hz. Noise equivalent power and detectivity shows the minimum value of  $3.95 \times 10^{-10} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$  and maximum value of  $5.6 \times 10^8 \text{ cm}\cdot\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$  at 40 Hz, respectively.

## I. 서 론

\*正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials &amp; 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.)

\*\*\*正會員, 麗水大學校 電氣 및 半導體工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Yosu National Univ.)

接受日字:1999年8月19日, 수정완료일:2000年7月12日

최근에 인간의 두뇌를 모방한 컴퓨터 기술의 비약적인 발달로 전기신호의 처리기술이 향상되어 종래의 단순한 자동화 기술에서 메카트로닉스로 발전이 이행되고 있다. 신호처리 기술이 고도화 되어가면서, 측정대상 물로부터 정보를 검출하여 측정량을 전기적 신호로 변환하는 센서소자는 자동화, 정밀화, 고속화 등 전자, 통신산업 및 여러 응용분야의 기술에 필요한 핵심부품으로 자리잡고 있다. 이들 중에서 적외선 센서는 동작

원리에 따라 두 가지 형태로 나누어진다. 반도체에 일정한 파장의 빛이 입사되어 생성된 캐리어의 작용으로 인한 광기전력 및 광도전 효과를 이용한 양자형과 적외선을 열로 변환시켜 저항변화나 기전력 등의 형태로 출력하는 열형이 있다. 열형 중 강유전체의 온도변화에 따른 자발분극의 변화에 기인하는 초전효과 (pyroelectric effect) 를 이용하는 초전형 적외선 센서는 신뢰성 향상, 응답속도의 고속화, 고감도화, 저가격화, 저 잡음 및 전원전압을 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있어 가전기기, 공장자동화, 로봇트, 항공기, 적외선 분석기, 고출력 레이저 펄스 감지기, 군사용, 의학용에 까지 그 활용범위가 확산되어 가고 있다.<sup>[1-2]</sup> 이러한 초전형 적외선 센서의 감지물질로 PZT, PLT, LiTaO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub>, PbTiO<sub>3</sub>, TGS, PVF<sub>2</sub> 등과 같은 물질을 사용하고 있으며 그중 LiTaO<sub>3</sub> 단결정은 618~620°C 의 높은 큐리온도 (T<sub>c</sub>) 와 전기적·기계적 안정성이 뛰어난 장점을 가지고 있어 초전형 적외선 센서에 유망한 재료로 생각되고 있다.<sup>[2]</sup>

초전형 적외선 센서의 가장 큰 특징은 온도변화가 없는 열적 평형상태에서는 작동하지 않고, 변화하는 입력에 대해서만 작동하는 미분형 센서라는 것이기 때문에, 초전형 적외선 센서는 측정 대상물 자체가 이동하거나 아니면 초표를 이용하여 적외선을 단속시켜 주어 야만 동작이 가능하다. 따라서, 초전형 적외선 센서의 특성은 측정 대상물의 이동 또는 초표의 회전에 연관된 주파수와 밀접하게 관계되어 있으므로, 초전특성의 주파수 의존성을 조사하는 것이 매우 중요하다. 초전특성을 측정하는 방법은 static 방법과 dynamic 방법으로 나누어진다. Static 방법은 시료에 직접적으로 온도를 가하여 시료 표면의 온도 변화를 통해 발생하는 자발분극의 변화를 초전전류 형태로 감지하는 것으로서 초전특성의 주파수 의존성을 조사할 수 없으며 분극상태가 파괴되는 단점을 가지고 있다. 반면에, dynamic 방법은 외부에서 에너지가 인가될 때, 미소한 온도차에 의해 변화되는 자발분극을 초전전압 형태로 감지하는 방법으로 분극상태의 파괴없이 초전특성의 주파수 의존성을 재현성 있게 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 LiTaO<sub>3</sub> 단결정을 사용하여 제작된 시료표면에 높은 검출도를 얻기 위해 black coating 을 한 후, dynamic 방법을 이용하여 초전전압응답 (U<sub>cr</sub>, U<sub>pv</sub>) 및 초전계수 (γ), 재료평가지수 (F<sub>v</sub>, F<sub>D</sub>), 전압응

답 (R<sub>v</sub>), 잡음등가전력 (NEP), 비검출능 (D\*) 을 구해 이들의 주파수 의존성을 조사하였다.

## II. 이론적 배경

초전형 적외선 센서에서, 주파수 (Ω) 와 진폭 (F<sub>0</sub>) 을 가지는 흡수된 radiation 이 초전소자에서 공간적으로 작은 온도 증가 (θ) 를 야기하므로, 적외선 감지물질에서의 열 방정식은 다음식과 같이 표현되어진다.<sup>[4-6]</sup>

$$\frac{d}{dt}(c_v \theta) + G\theta = \eta F(t) \quad (1)$$

여기서, η 은 초전소재의 흡수율, θ 는 평균 온도증가, G 는 열적 손실계수, c<sub>v</sub> 는 초전소재의 단위 체적당 비열, F(t) = F<sub>0</sub> A<sub>0</sub> (1 + e<sup>iΩt</sup>) 는 열전속, A<sub>0</sub> 는 소자의 면적을 나타낸다.

초전소재의 전류 (I) 와 dynamic 방법에 의해 측정된 전압응답은 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{d(UC_{cr})}{dt} + \frac{U}{R_{cr}} = I \quad (2)$$

여기서 C<sub>cr</sub> 과 R<sub>cr</sub> 은 시료의 캐패시턴스와 저항이다.

초전전압은 방사 열전속 (radiation thermal flux) 에 따라서 변화하기 때문에 식 (3) 의 형태로 나타낼 수 있다.

$$U = \left( \frac{\gamma}{c_v} \right) \frac{A_0 F_0 R_0 \eta}{d \sqrt{1 + \left( \frac{4 \pi \eta \sigma T_s^3}{\Omega c_v d} \right)^2} \sqrt{1 + \Omega^2 C_o^2 R_o^2}} [V] \quad (3)$$

여기서, C<sub>o</sub> = C<sub>cr</sub> + C<sub>in</sub>, R<sub>o</sub> = R<sub>L</sub> + R<sub>cr</sub> + R<sub>in</sub> (C<sub>in</sub> 와 R<sub>in</sub> 은 측정 회로의 입력 캐패시턴스와 입력 저항이다), σ 는 Stephan-Boltzmann constant (5.667 × 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K), d 는 시료의 두께, T<sub>s</sub> 는 주변온도이다. 초전전압은 부하저항의 크기에 따라 두개의 영역으로 나누었으며, 이를 식 (4a) 와 (4b) 에 나타내었다.

1) Pyroelectric Current regime (Ω C<sub>cr</sub> R<sub>0</sub> ≪ 1)

$$\Omega < 1 \text{ kHz} \rightarrow R_{L1} \leq 10^6 \Omega, (20 \leq C_{cr} \leq 80) \text{ pF} \\ (R_0 = R_{CR} // R_{L1})$$

$$U_{p.c} = \left( \frac{\gamma}{c_v} \right) \frac{\eta A_0 F_0 R_0}{d} [V] \quad (4a)$$

2) Pyroelectric Voltage regime ( $\Omega C_{cr} R_0 \gg 1$ )  $\rightarrow$   
 ( $R_0 = R_{CR} // R_{L2}$ )

$\Omega < 1 \text{ kHz} \rightarrow (10^9 \leq R_0 \leq 10^{10}) \Omega, (20 \leq C_{cr} \leq 80) \text{ pF}$

$$U_{p,v} = \left( \frac{\gamma}{c_v \epsilon_r} \right) \frac{\eta F_0}{\epsilon_0 \Omega} \quad [V] \quad (4b)$$

식 (3) 을 이용하여 초전계수를 구하는 식을 식 (5) 에 나타내었다.

$$\gamma = \frac{U_{p,v} c_v d}{\eta F_0 A_0 R_{L2}} \sqrt{1 + \left( \frac{R_{L2} U_{p,c}}{R_{L1} U_{p,v}} \right)^2} \left[ \frac{C}{\text{cm}^2 \cdot K} \right] \quad (5)$$

초전계수를 이용해 구하는 재료평가지수는 초전소재 자체를 평가하는 중요한 요소로서 식 (6a) 와 (6b) 에 나타내었다.

$$F_V = \frac{\gamma}{c_v \epsilon_r} \left[ \frac{C \cdot \text{cm}}{J} \right] \quad (6a)$$

$$F_D = \frac{\gamma}{c_v \sqrt{\epsilon_r} \tan \delta} \left[ \frac{C \cdot \text{cm}}{J} \right] \quad (6b)$$

여기서,  $\epsilon_r$  은 초전소재의 비유전률이고  $\tan \delta$  는 초전소재의 유전손실이다.

식 (3) 의 전압응답을 주파수의 변화에 따라 입사되는 열선속으로 나누면 전압감도를 구할 수 있다.

$$R_V = \frac{R_{L2} \gamma \eta}{d c_v \sqrt{1 + \left( \frac{R_{L2} U_{p,c}}{R_{L1} U_{p,v}} \right)^2}} \left[ \frac{V}{W} \right] \quad (7)$$

잡음등가전력 (Noise Equivalent Power) 은 센서의 잡음출력과 신호출력이 같게 될 때 센서의 최소 적의 선 세기를 나타내므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NEP = \frac{2 R_{L1} A_0 F_0 \sqrt{k T_s}}{U_{p,c} \sqrt{R_{L2}}} \left[ \frac{W}{\sqrt{\text{Hz}}} \right] \quad (8)$$

비검출능  $D^*$  은 초전센서의 성능을 결정하는 S/N 비를 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$D^* = \frac{\sqrt{A_0}}{NEP} = \frac{U_{p,c} \sqrt{R_{L2}}}{2 R_{L1} F_0 \sqrt{A_0 k T_s}} \left[ \frac{\text{cm} \sqrt{\text{Hz}}}{W} \right] \quad (9)$$

### III. 실험 방법

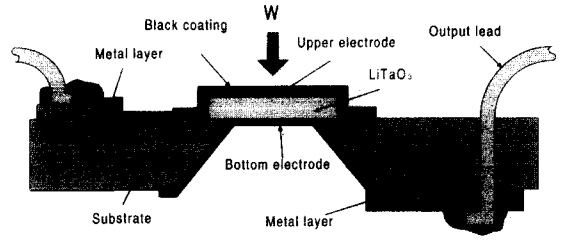


그림 1. LiTaO<sub>3</sub> 단결정을 이용한 측정 시료의 개략도  
 Fig. 1. Schematic of measurement sample for the LiTaO<sub>3</sub> single crystal.

LiTaO<sub>3</sub> 단결정을 이용하여 제작한 측정시료의 단면도를 Fig. 1 에 나타내었다. 본 실험에서는 시료의 두께와 지름이 각각 20  $\mu\text{m}$  와 0.25 cm 인 측정시료를 제작하기 위해 기판 위 뒷면을 원추형으로 제거한 후, 기판의 전면에 LiTaO<sub>3</sub> 를 부착하였으며 초전 신호를 검출하기 위한 전극을 전면과 후면에 각각 증착 하였다. 그리고 초전전압응답 특성을 향상시키기 위하여 열선속이 입사되는 시료의 표면에 black-coating 처리를 하였다.

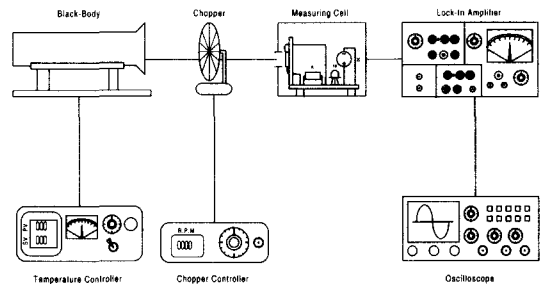


그림 2. 측정 system 의 개략도  
 Fig. 2. Schematic diagram of measuring system.

초전특성은 dynamic 방법을 이용하여 측정되었다. 초전응답신호는 Fig. 2 에 나타낸 것과 같은 측정 system 을 이용하여 조사되었다. 측정 system 은 black body, temperature controller, optical chopper (SR 540), cell box, lock-in amplifier (EG & G 124A) 및 오실로스코프 (Tektronix 2445A) 로 구성되어 있다. Black body 의 동작온도는 300  $^{\circ}\text{C}$  이며 temperature controller 에 의해 제어된다. Black body 로 부터 방사되는 열선속은 optical chopper 를 통해 제작한 cell 상자 안의 측정 시료에 입사된다. 초전특성을 측정하기 위한 cell 상자 내의 회로 구성을 보면 저항 R 은 100 k

$\Omega$  으로 고정되어있고, 부하저항  $R_{L1}$  과  $R_{L2}$  는 각각  $1M\Omega$  과  $17.3G\Omega$  을 사용하여 회로상에서 초전전압영역과 초전전류영역의 두가지 형태로 나누어서 측정하였다. 시료와 low-noise JFET (KP 303A) 을 source follower 회로 형태로 연결하였다. 측정시료에 입사된 열선속은 미세한 온도 변화를 야기 시켜 분극의 크기를 변화시킨다. 이때 시료 표면에 전하의 변화가 발생하기 때문에 전극 사이에 초전전류가 흐르고 전기적 신호를 발생하게 된다. 이러한 변화로 발생하는 초전응답신호는 그 값을 측정하는 lock-in amplifier 로 들어가고 오실로스코프에서 신호의 형태를 검출한다. Lock-in amplifier 의 초파 주파수는 광학 초파와 동일한 주파수를 가진다.

IV. 결과 및 논의

Fig. 3 은 시료 두께가  $20\mu m$  인 LiTaO<sub>3</sub> 시료로부터 비파괴적인 dynamic 방법을 이용하여 측정 주파수에 따른 초전전압영역의 전압응답 (pyroelectric voltage response,  $U_{pv}$ )과 초전전류영역의 전압응답 (pyroelectric current response,  $U_{pc}$ ) 을 나타낸 것이다. 초전전압영역의 전압응답은 선형적으로 감소하는 것에 비해 초전전류영역의 전압응답은 점차적으로 증가한 후, 최대 주파수 40 Hz 이후부터 감소하였다. 이는 주파수 증가에 따른 열선속의 변화와 부하저항의 크기에 대한 주파수 의존도와 밀접한 관계가 있다고 생각된다. Black body 로 부터 방사되는 열선속은 고주파로 진행

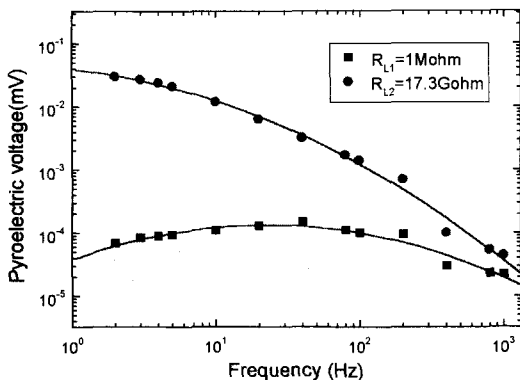


그림 3. LiTaO<sub>3</sub> 단결정의 부하저항에 따른 초전전압의 주파수 의존성

Fig. 3. Frequency dependence of the pyroelectric voltage for a LiTaO<sub>3</sub> single crystal with various load resistors.

될수록 저주파와는 다르게 chopper 의 회전에 의해 차단되어 시료표면에 입사되기 때문에 분극의 크기에 따라 생성되는 초전전류는 저주파에서 보다 적은 초전전류응답을 형성한다. 또한, 이는 저항의 크기가 증가하면 전압감도는 증가하지만 주파수 응답의 대역폭이 감소한다는 W. Y. Chung 등<sup>[7]</sup>의 보고와도 일치하는 경향을 나타내고 있다.

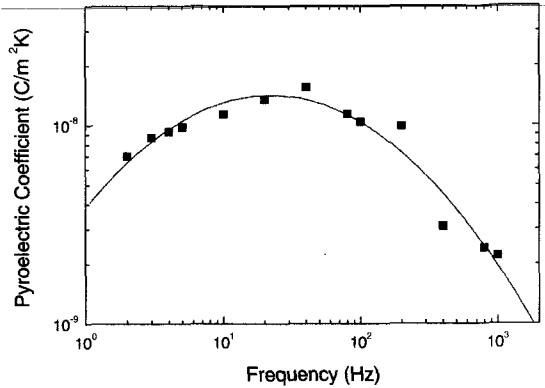


그림 4. LiTaO<sub>3</sub> 단결정의 변조주파수에 따른 초전계수 Fig. 4. Pyroelectric coefficient vs modulation frequency for a LiTaO<sub>3</sub> single crystal.

Fig. 4 는 초전계수의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 초전계수는 앞에서 측정한 전압응답과 식 (5) 를 이용하여 구하였다. 초전계수와 초전전류영역의 전압응답 ( $U_{pc}$ ) 의 주파수 의존성이 서로 유사한 경향을 나타내기 때문에 초전계수는 초전전류영역의 초전전압응답에 의존한다는 것을 알 수 있었으며, 식 (5) 에서 주파수 특성을 분석해 보아도 일치한다는 것을 확인할 수 있다. 초전계수는 40 Hz 에서  $1.56 \times 10^{-8} C/cm^2 \cdot K$  로 가장 높은 값을 나타내었으며, 이것은 S. A. Hamid<sup>[8]</sup>가 조사한 초전계수  $1.8 \times 10^{-8} C/cm^2 \cdot K$  와 거의 일치하는 결과를 나타내었다. 식 (6a) 와 (6b) 를 사용하여 구한 전압감도와 검출능을 위한 재료평가지수는 40 Hz 에서 각각 최대값  $10.8 \times 10^{-11} C/cm/J$  과  $13 \times 10^7 C/cm/J$  이었다.

Fig. 5 는 전압감도 ( $R_v$ ) 의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 전압감도는 2 Hz 에서 488 V/W 로 최고치를 나타낸 후, 주파수의 증가에 따라 선형적으로 감소하는 현상을 보였다. Black body 로 부터 입사되는 열선속에 의해 시료 내에 미세한 온도차가 발생하므로, 시료 내 분극의 크기에 따라 표면에 초전전하가 야기

된다. 이때 발생한 초전전하는 주파수의 증가에 따라 시료 내 분극의 움직임에 제약을 받기 때문에 자발분극의 감소에 따라 방출되는 초전전하도 감소하기 때문에 전압응답은 선형적으로 감소하는 특성을 나타낸다고 생각된다. 또, 식 (7) 에서의 주파수 특성을 분석해보면, 전압감도는 초전전압영역에서의 전압응답에 지배적이므로 전압감도는 초전전압영역의 전압응답과 상당히 유사한 주파수 의존성을 나타낸다.

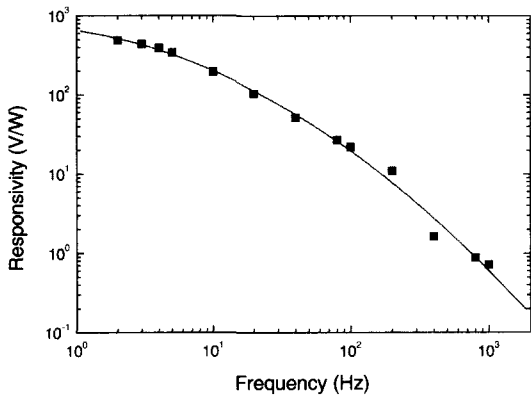


그림 5. LiTaO<sub>3</sub> 단결정의 변조주파수에 따른 전압응답  
Fig. 5. Voltage responsivity vs modulation frequency for a LiTaO<sub>3</sub> single crystal.

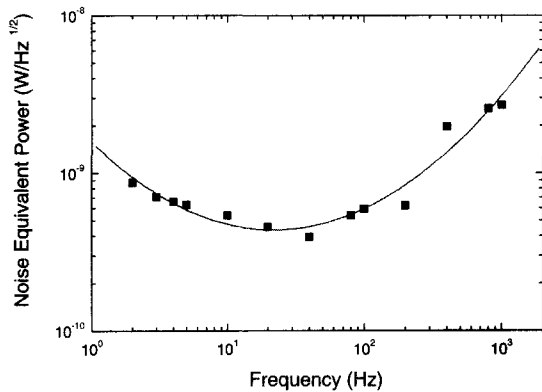


그림 6. LiTaO<sub>3</sub> 단결정의 변조주파수에 따른 잡음등가 전력  
Fig. 6. Noise equivalent power (NEP) vs modulation frequency for a LiTaO<sub>3</sub> single crystal.

Fig. 6 은 잡음등가전력 (NEP) 의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 잡음등가전력은 센서 잡음과 동일한 출력 신호를 주기 위해 필요한 열선속을 의미하며, 40 Hz 에서 최소인  $3.95 \times 10^{-10} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$  의 값을 나타내었다.

식 (8) 에서 보듯이, 잡음등가전력은 초전전류영역의 전압응답 ( $U_{px}$ ) 에 반비례하기 때문에, 주파수를 증가시키기에 따라서 초전전류영역의 전압응답과는 반대인 경향을 나타내었다. 또한, 낮은 잡음등가전력을 가지는 주파수에서 최대 비검출도를 나타낸다는 것을 Fig. 7 에서도 확인할 수 있다.

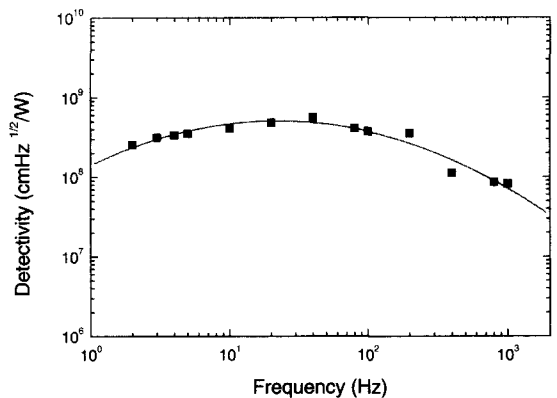


그림 7. LiTaO<sub>3</sub> 단결정의 변조주파수에 따른 검출능  
Fig. 7. Detectivity vs modulation frequency for a LiTaO<sub>3</sub> single crystal.

Fig. 7 은 비검출능 ( $D^*$ ) 의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 식 (9) 에서 보듯이, 비검출능은 초전전류영역의 전압응답 ( $U_{px}$ ) 과 유사한 경향을 보이며, 잡음등가전력의 역수이기 때문에 Fig. 6 과는 반대의 특성 곡선을 나타내었다. 그러므로 비검출능은 잡음등가전력이 최소를 나타내는 주파수에서 최대값을 나타내었다. 비검출능은 40 Hz 에서  $5.6 \times 10^8 \text{ cm}\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$  의 최대값을 나타내었다.

## V. 결론

본 연구에서는 두께와 지름이 각각  $20 \mu\text{m}$  와  $0.25 \text{ cm}$  인 강유전체 LiTaO<sub>3</sub> 단결정 시료의 초전특성을 향상시키기 위해 시료 표면에 black coating 처리를 한 후, 초전특성에 대한 주파수 의존성을 dynamic 방법을 이용하여 조사하였다. 저항의 크기에 따라 초전전압영역 ( $U_{pv}$ ,  $R_L = 17.3 \text{ G}\Omega$ ) 과 초전전류영역 ( $U_{px}$ ,  $R_L = 1 \text{ M}\Omega$ ) 으로 나누어 주파수 의존성을 측정하였다. 주파수가 증가함에 따라, 초전전압영역의 전압응답 ( $U_{pv}$ ) 은 선형적으로 감소하는 반면에 초전전류영역의 전압응답 ( $U_{px}$ ) 은 점차적으로 증가한 후, 40 Hz 에서 최대값을

보인 후, 서서히 감소하는 추세를 나타내었다. 이 현상으로부터 주파수 증가에 따른 열전속의 변화와 부하저항의 크기에 따른 주파수 의존도가 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. Black body 로 부터 방사되는 열전속은 저주파 영역보다 고주파영역으로 진행될수록 chopper 의 회전 에 의해 차단되어 시료표면에 입사되기 때문에 분극의 크기에 따라 생성되는 초전전류는 저주파에서 보다 적은 초전전류응답을 형성한다. 또한, 저항의 크기가 증가하면 전압감도는 증가하지만 주파수 응답의 대역폭이 감소한다는 경향과도 일치한다. 각각 측정된 전압응답  $U_{pv}$  와  $U_{pc}$  를 이용하여 구한 초전계수는 초전전류영역의 전압응답 ( $U_{pc}$ ) 에 의존하며 40Hz 에서 최대값  $1.56 \times 10^{-8} C/cm^2 \cdot K$  을 나타내었고, 전압감도와 검출능을 위한 재료평가지수는 각각  $10.8 \times 10^{-11} C \cdot cm/J$  과  $13 \times 10^{-7} C \cdot cm/J$  로 최대값을 나타내었다. 전압감도 ( $R_v$ ) 는 초전전압영역의 전압응답 ( $U_{pv}$ ) 에 의존하는 경향을 나타내었으며 2Hz 에서 488 V/W의 최대값을 나타내었다. 잡음등가전력 (NEP) 는 40Hz 에서 최소값  $3.95 \times 10^{-10} W/\sqrt{Hz}$  로 초전전류영역의 전압응답의 역수에 비례하였으며 NEP 에 반비례하는 비검출능 ( $D^*$ ) 은 40Hz 에서  $5.6 \times 10^8 cm/\sqrt{Hz}/W$  로 가장 우수한 값을 나타내었다.

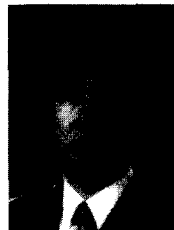
### 참 고 문 헌

- [1] S. Saito, *Fine Ceramics*, Ohmsha LTD, pp. 34 (1987).
- [2] S. T. Liu and D. Long, "Pyroelectric Detectors and Materials", *Proceedings of IEEE*, vol. 66, pp. 14~26 (1978).
- [3] A. G. Chynoweth, "Dynamic Method for Measuring the Pyroelectric Effect with Special Reference to Barium Titanate", *J. Appl. Phys.*, vol. 27, pp. 78~84 (1956).
- [4] Avner Shaulov, "Broad Band Infrared Thermal Detector", *Sensor and Actuators*, vol. 5, pp. 207~215 (1984).
- [5] M. E. Lines and A. M. Glass, "Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials", Clarendon Press, Oxford, pp. 559~566 (1979).
- [6] E. H. Putely, "Semiconductors and Semimetals", Academic Press, New york, Chap. 6, (1975).
- [7] Wen-Yaw Chung, Tai-Ping Sun, Yung-Lung Chin and Yuan-Liang Kao, "Design of Pyroelectric IR Readout Circuit Based on LiTaO<sub>3</sub> Detectors", *Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 4, pp. 225~228 (1996).
- [8] S. A. Hamid, "Tourmaline as a pyroelectric infrared radiation detector", *Zeitschrift für Kristallographie*, vol. 151, pp. 67~75 (1980).

### 저 자 소 개

尹 英 燮(正會員) 第 37卷 6號 SD編 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, 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1996년 4월 ~ 현재, 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심 분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device



姜 賢 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.). 2000년 2월 ~ 현재, 여수대학교 반도체·응용물리학과 전임강사. 주관심 분야 : ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막, 차세대 비휘발성 메모리(NVFRAM 및 MFSFET) 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서



鄭 陽 喜(正會員)

1960년 12월 25일생. 1983년, 단국대학교 응용물리학과 졸업 (B.S.). 1985년, 인하대학교 응용물리학과 졸업 (M.S.). 1993년, 인하대학교 응용물리학과 졸업 (Ph.D). 1988년 ~ 1995년,

LG 반도체 선임연구원. 1995년 ~ 현재, 여수대학교 전기 및 반도체 공학과 조교수. 주관심 분야 : 반도체 재료 및 공정, 강유전체 박막

李 原 在(正會員) 第 37卷 5號 SD編 參照

1969년 7월 9일생. 1998년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업 (B.S.). 1998년 2월 ~ 2000년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 공학석사 (M.S.). 주관심 분야 : 초전형 적외선 센서 응용을 위한 강유전체 박막