

論文 2000-37SD-8-4

Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ 세라믹의 Dynamic 초전특성에 관한 연구 (Dynamic Pyroelectric Properties Of The Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ Ceramics)

閔庚填*, 姜聲俊**, 張東勳*, 尹英燮*

(Kyung Jin Min, Seong Jun Kang, Dong Hoon Chang,
and Yung Sup Yoon)

요 약

능면체정 구조를 갖는 Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ 세라믹을 제작한 후, dynamic 방법으로 초전특성을 측정하여 초전형 적외선 센서의 응용 가능성에 대하여 조사하였다. Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ 세라믹의 응답 특성이 저주파와 고주파 영역에 따른 변조 주파수의 주파수 분산 (dispersion) 으로 고려되었고, 그에 따른 초전특성의 주파수 의존성을 관찰하였다. 저주파 (2~200Hz) 영역에서, 분역의 재배향 (reorientation) 되는 속도는 변조 주파수의 속도보다 빠르므로 분극의 변화량이 증가하여 최대값을 나타낸다. 반면에, 고주파 (200~2000Hz) 영역에서 분역의 재배향은 주파수 증가에 따라 방해받아 분극의 변화량이 억제되어 초전 응답이 감소하는 것을 알 수 있다. 초전계수와 재료평가지수는 각각 $1.6 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2 \cdot \text{K}$, $1.6 \times 10^{-11} \text{C} \cdot \text{cm/J}$ 이었고, 잡음등가전력과 비검출능은 각각 $2.4 \times 10^{-7} \text{W/Hz}^{1/2}$, $4.17 \times 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ 이다.

Abstract

Pyroelectric properties of the Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ ceramics having the rhombohedral structure have been studied by using the dynamic measurement method. The pyroelectric responses of the Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ ceramics are characterized in both low and high modulation frequency regions and their frequency dependences are observed. In the low frequency region (2~200Hz), the change of polarization increases and shows the maximum since the reorientation rate of domains is higher than the modulation frequency. In the high frequency region (200~2000Hz), the pyroelectric response decreases as the frequency increases, because the reorientation of domains is suppressed and so the change of polarization decreases. Pyroelectric coefficient, figure of merit, noise equivalent power and detectivity of the Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ ceramics are measured as $1.6 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2 \cdot \text{K}$, $1.6 \times 10^{-11} \text{C} \cdot \text{cm/J}$, $2.4 \times 10^{-7} \text{W/Hz}^{1/2}$ and $4.17 \times 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$, respectively.

* 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: 1999年8月28日, 수정완료일: 2000年7월5일

I. 서 론

강유전체 물질인 Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O₃ 는 Zr/Ti 조성비에 따라 정방정상에서 능면체정상으로 변하므로 다양한 전기적 특성을 나타내어 여러분야에 응용될 수 있다. 여러조성 가운데, 가장 우수한 압전특성과 강유전특성을 나타내는 MPB (morphotropic phase boundary) 조

성부근의 PZT 를 압전소자나 메모리소자에 응용하려는 연구가 주류를 이루어 왔다. 그러나, 최근에 전자산업 및 정보통신 기술의 발달로 자동화 시스템에 대한 요구가 점차 증가되는 가운데 각종 센서에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 적외선 센서는 온도 또는 주파수 변화에 따른 사물의 움직임을 감지하는 것이 가능하여 경보기 및 검출기 등의 시스템에 광범위하게 사용되어왔다. 적외선 센서는 적외선을 감지하는 동작 모드에 따라 양자형과 열형으로 나눌 수 있다. 그 중 열형인 초전형 적외선 센서는 적외선이 시편에 입사될 때, 온도차에 따른 자발분극의 변화에 의해 표면 전하가 생성되는 초전효과를 이용한 것이다. 이는 상온에서 동작이 가능하므로 냉각 시스템이 필요 없고, 감도의 파장 의존성이 없는 장점을 가지고 있어 그 활용범위가 크게 확대되고 있다. 그 동안 연구되어온 초전형 적외선 센서의 검지물질중 능면체정을 가지는 PZT 는 작은 유전상수와 비교적 높은 초전계수를 가지고 있어 초전형 적외선 센서에 응용될 수 있는 유망한 재료로 여겨지고 있다.

초전특성을 측정하는 방법에는 크게 static 과 dynamic 방법^[1-3]으로 나눌 수 있다. Static 방법은 시료에 직접적으로 온도를 가하여 온도 변화에 따른 분극량을 전류 형태로 감지하는 것이다. 이는 상전이 온도 이상까지 온도를 높이기 때문에 분극 상태가 파괴되어 재현성이 떨어지는 단점과 물체의 온도 변화만을 감지하는 데 그쳐, 초전물질의 주파수 의존성에 대한 측정에는 한계가 있다. 반면에, dynamic 방법은 외부에서 에너지가 시료에 인가될 때 미소한 온도차에 따른 분극의 변화량을 전압 형태로 감지하는 것이다. 이는 초전특성의 측정 후에도 초전물질의 분극 상태가 파괴되지 않고 시료 내부의 자발분극의 공간적 분포에 관한 조사와 초전물질이 가지는 물질 고유의 파라미터에 대한 주파수 특성의 분석이 가능하다. 그러나, dynamic 방법을 이용한 PZT 세라믹의 초전특성에 대한 조사는 매우 미비한 편이어서 초전형 적외선 센서의 개발에 커다란 장애가 되고 있다.

본 연구에서는 능면체정 구조를 가지는 Pb(Zr_{0.9}Ti_{0.1})O₃ 세라믹을 제작한 후, dynamic 방법을 이용하여 2~2000Hz 영역의 주파수에서 초전특성을 조사하였으며, 그에 따른 응답 특성의 주파수 의존성을 조사하였다.

II. 실험 방법

Fig. 1 은 PZT 시료의 제작 과정을 나타내었다. 정량의 분말을 mixing pot 에 넣어 mixing 용 zirconia ball 과 물의 혼합비를 1:1 로 만들어 4 시간 동안 혼합하여 160℃ 로 건조시킨 후 파쇄하였다. 건조된 분말은 furnace 에서 1000℃ 로 4 시간 유지시키는 하소 단계를 거쳐, 이후 다시 혼합, 건조, 파쇄 단계를 반복하였다.

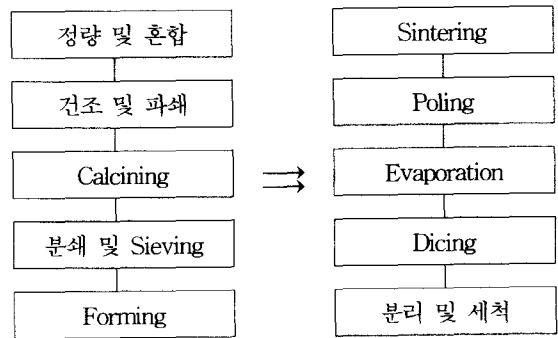


그림 1. PZT 세라믹의 제조 공정
Fig. 1. Fabrication process of PZT ceramic.

성형 mold 에 분말 15g 을 넣은 후, 1 ton/cm² 의 press 로 압력을 가했다. 1000℃ 에서 1230℃ 까지 온도를 높여 1230℃ 로 1 시간 30 분 동안 유지한 후에 2.75℃/min 의 속도로 냉각하는 소결 단계를 거쳤다. 초전특성을 개선시키기 위해 120℃ 로 가열된 silicone oil 속에서 4kV/mm 의 전계를 15 분 동안 인가하여 분극처리 하였다. 160℃ 로 12 시간 동안 열처리 후에 원하는 두께인 200μm 로 연마하였고 copper 를 입힌 시료 위에 silver 를 증착한 후 1cm×1cm 의 크기로 잘라 시료를 제작하였다.

주파수 변화에 의해 야기되는 분극량이 전기 신호로 변환하는 측정 회로에 의해 초전 응답으로 측정되었다. 시료는 PZT 세라믹스를 사용하였고 저항 R 은 100K Ω 으로 고정되었다. 17.3GΩ 의 부하 저항 R_L 이 시료 와 J-FET (KP 303A) 소스 폴로워 회로에 병렬로 연결되었다. 초전특성의 측정에 사용되는 시스템은 다음과 같다. 흑체 (Black-body) 로부터 나오는 열선속 (thermal flux) 이 초전소자에 입사되는 광원으로 사용되었다. 초퍼의 회전에 의해 cooling 과 warming 을 반복하여 초전소자에 입사되는 열선속이 작은 온도 변

화를 야기하여 분극을 변화시키는 원인이 된다. 이러한 변화로 발생하는 초전 신호를 Lock-in amplifier (EG&G Princeton Applied Research 124A) 와 오실로스코프 (Tektronix 2445A) 에 연결하였다. 이때 Lock-in amplifier 의 초퍼 주파수는 광학 초퍼 (Stanford Research System SR 540) 와 동일한 파장을 가지며, 그에 따른 초전특성을 측정하였다. 또한 온도 변화에 따른 캐패시턴스 대 상전이 온도는 R-T Curve Measuring Oven, Impedance/Gain-Phase Analyzer (HP 4194A) 와 Switch/Control Unit (HP 3488A) 를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 논의

Zr/Ti 조성비가 90/10 으로 제작된 PZT 세라믹의 결정화 및 결정의 배향성을 조사하기 위해 X-선 회절을 이용하였다.

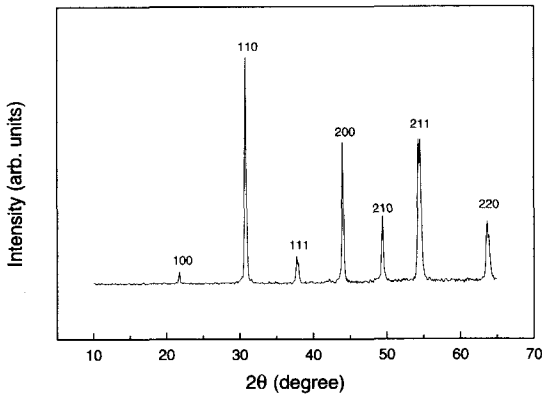


그림 2. PZT(90/10) 세라믹의 X-선 회절 분석
Fig. 2. X-ray diffraction pattern of PZT(90/10) ceramic.

Fig. 2 은 1230°C 로 1 시간 30 분 동안 소결된 PZT 세라믹의 XRD pattern 을 나타낸다. 그림에서 보듯이, pyrochlore 상이 발견되지 않았고, (100), (110), (111), (200), (211), (220) reflection 을 가지는 완전한 페로브스카이트 구조를 나타냄을 알 수 있었다.^[4]

Fig. 3 는 시료에 인가된 온도 증가에 따른 캐패시턴스와 상전이 온도(T_c) 를 측정한 것이다. 측정 장비로는 R-T Curve Measuring Oven 을 이용하여 100°C 에서 350°C 까지 1°C/min 의 속도로 상전이 온도 이상까지 승온하였고, Impedance/Gain-Phase Analyzer 와

Switch/Control Unit 를 이용하여 측정하였다. 상전이 온도는 256°C 로 얻어졌다. J. Huang 등^[5]이 보고한 동일한 조성의 박막의 경우보다 약 35°C 보다 높은 값으로 나타났다. 이러한 세라믹과 박막의 불일치는 박막에서 발생하는 stress 에 기인하는 것으로 알려져 있다.

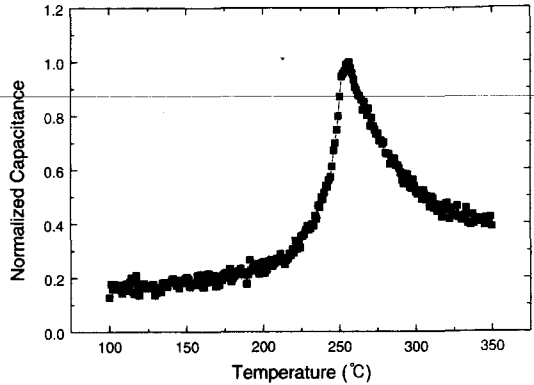


그림 3. PZT 세라믹의 캐패시턴스와 상전이 온도의 온도 의존성

Fig. 3. Temperature dependence of Capacitance and Curie temperature of PZT ceramic.

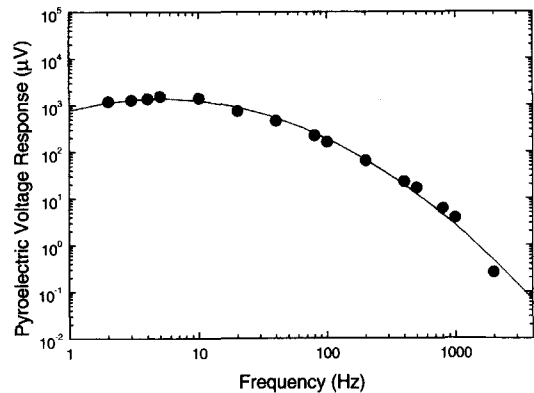


그림 4. PZT 세라믹의 초전 전압의 주파수 의존성
Fig. 4. Frequency dependence of pyroelectric voltage of PZT ceramic.

후체로부터 방사되는 열선속이 초전소자에 입사되는 광원으로 사용되었고, PZT 세라믹의 초전특성이 dynamic 방법을 이용하여 조사되었다. 초퍼의 회전에 의한 cooling 과 warming 의 반복 과정을 통해 시료에 입사되는 열선속은 작은 온도변화를 야기하여 분극을 변화시키는 원인이 된다. 그에 따른 열 방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.^[6, 7]

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

여기서, $H=H_0A_0d$ 는 체적 비열, $G=G_0A_0$ 는 열전도도, η 는 초전물질의 흡수율이고, $F(t)=F_0A_0e^{i\Omega t}$ 는 열 선속이다.

Zr/Ti 조성비가 90/10 인 PZT 세라믹에서 조사된 전압 응답에 대한 주파수 의존성을 Fig. 4 에 나타내었고 초전 전압 (U) 에 대한 표현식은 다음과 같이 주어졌다.

$$U = \frac{\gamma\eta F_0 A_0 R_0}{\sqrt{G_0^2 + (\Omega H_0 d)^2} \sqrt{1 + (\Omega C_0 R_0)^2}} [V] \quad (2)$$

여기서, $\Omega=2\pi f$, $C_0=C_{cr}+C_{in}$, $R_0^{-1}=R_L^{-1}+R_{cr}^{-1}+R_{in}^{-1}$ (C_{in} 과 R_{in} 은 각각 측정 회로의 입력 캐패시턴스와 입력 저항), $G_0=4\pi\eta\sigma T_0^3$, $\sigma=5.667\times 10^{-8}W/m^2\cdot K^4$ 은 스테판-볼츠만 상수, d 는 초전물질의 두께, $\gamma=-dP_s/d\theta$ 는 초전계수이다.

Fig. 4 에서 알 수 있듯이, 5Hz 의 주파수에서 최대 응답을 얻었고, 그 이후의 주파수에서는 서서히 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 조사된 응답 특성을 주파수 분산으로 분석하면 설명이 가능하다. 일반적으로, 분극의 크기 및 변화량은 전계 방향에 좌우된다. 반면에, 주파수 분산의 관점으로 고려하여 Fig. 4 에 나타난 전압 특성을 분석하면 분극의 크기 및 변화량은 분역의 움직임에 의존적인 특성을 보인다. 저주파 (2~200Hz) 영역에서, 분극량을 변화시키는 분역의 재배향되는 속도가 초퍼의 회전에 의해 변조되는 주파수의 속도보다 빠르기 때문에, 시료내의 분극들이 자유로이 움직일 수 있어서 최대값을 얻게 된다. 이와는 달리 고주파 (200~2000Hz) 영역에서, 분역의 재배향되는 속도가 변조 주파수의 속도보다 느리기 때문에, 분역의 움직임인 재배향이 억제되어 분극의 변화량을 감소시킨다. 그에 따라 응답 특성이 현저하게 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5 는 변조 주파수에 따라 변화되는 전압 응답에 대한 초전계수의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 앞에서 설명했듯이, 분역의 재배향되는 속도와 변조 주파수 사이의 관계 즉, 주파수에 의존적인 특성을 나타내므로 주파수 증가에 따라 초전계수가 감소하는 것을 알 수 있었다. 전압 응답의 해로부터 초전계수를 구하면 다음과 같다.

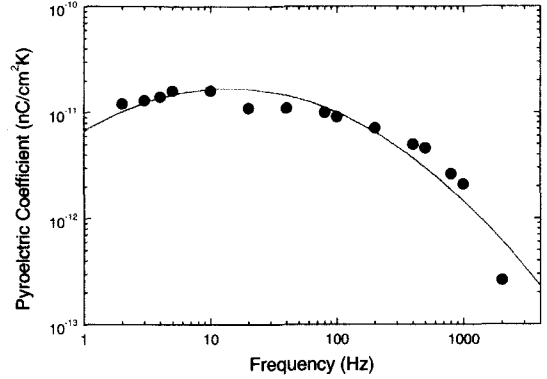


그림 5. PZT 세라믹에 대한 초전계수의 주파수 의존성

Fig. 5. Frequency dependence of pyroelectric coefficient for PZT ceramic.

$$\gamma = \frac{U \sqrt{G_0^2 + (\Omega H_0 d)^2} \cdot \sqrt{1 + (\Omega C_0 R_0)^2}}{\eta A_0 F_0 R_0 \Omega} \left[\frac{C}{cm^2 \cdot K} \right] \quad (3)$$

여기서, C_0 와 R_0 는 각각 시료의 캐패시턴스와 측정 회로의 부하저항을 나타낸다. Zr/Ti 조성비가 90/10 인 시료의 최대 초전계수는 식 (3) 을 이용하여 5Hz 의 주파수에서 $1.6\times 10^{-8}C/cm^2\cdot K$ 으로 얻어졌다. 이러한 값은 G. Teowee 등^[8]이 sputtering 방법으로 제작된 동일한 조성의 박막에서 보고한 초전계수 $0.3-4.5\times 10^{-8}C/cm^2\cdot K$ 의 값보다 우수하여 초전형 적외선 센서로의 응용 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다.

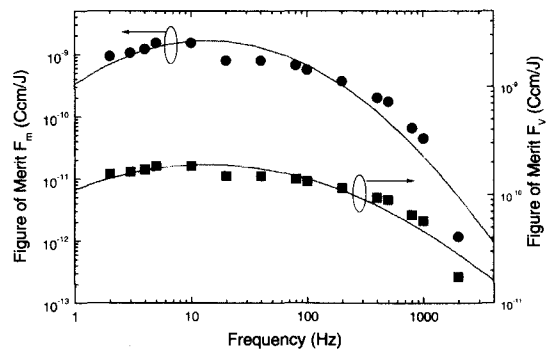


그림 6. 변조 주파수의 함수인 PZT 세라믹의 전압감도에 대한 재료평가지수 F_v 와 검출능에 대한 F_m

Fig. 6. Figure of merit F_v for voltage responsivity and figure of merit F_m for detectivity as a function of modulation frequency for PZT ceramic.

변조 주파수에 따라 변화되는 열선속이 시료의 표면에 입사될 때 파생되는 전압과 초전계수, 시료의 비열 및 비유전율 등에 의존하는 즉, 초전 물질의 고유한 물성 상수로 표현되는 재료평가지수 (figure of merit) 는 다음과 같다.

$$F_v = \frac{\gamma}{\epsilon_r H_0} \left[\frac{C \cdot \text{cm}}{J} \right] \quad (4)$$

$$F_m = \frac{\gamma}{H_0 \sqrt{\epsilon_r \tan \delta}} \left[\frac{C \cdot \text{cm}}{J} \right] \quad (5)$$

여기서, F_v 는 전압감도에 대한 재료평가지수이고, F_m 은 검출능에 대한 재료평가지수이다. PZT 에 대한 전압감도와 검출능에 대한 재료평가지수를 Fig. 6 에 나타내었다. 식 (4) 와 (5) 를 이용하여 구한 PZT 의 전압감도와 검출능에 대한 재료평가지수는 각각 1.6 × 10⁻¹¹ 과 2.53 × 10⁻⁹ C·cm/J 이었다.

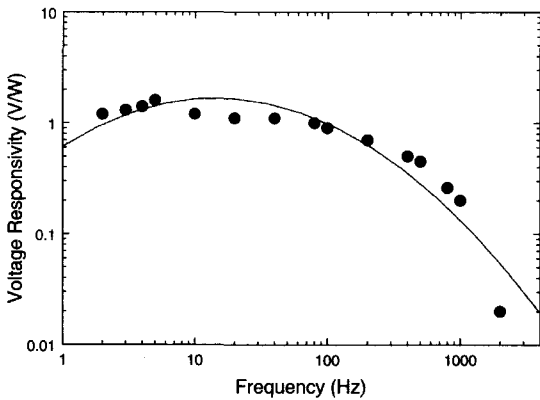


그림 7. 전압감도 (R_v) 의 주파수 의존성
Fig. 7. Frequency dependence of voltage responsivity (R_v).

전압감도 (voltage responsivity) 는 주파수의 변화에 따른 출력을 입사되는 적외선 세기 (radiation intensity) 로 나눈 것으로, 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$R_v = \left| \frac{U}{F_0 A_0} \right| = \frac{\gamma \eta R_0}{\sqrt{G_0^2 + (\Omega H_0 d)^2} \sqrt{1 + (\Omega C_0 R_0)^2}} \left[\frac{V}{W} \right] \quad (6)$$

Fig. 7 은 PZT 시료의 전압감도 (R_v) 에 대한 변조 주파수의 의존성을 나타낸다. 응답 특성은 저주파 영역

에서 시료내의 분극들의 움직임이 제한을 받지 않으므로, 적외선 센서에 적합한 감도를 얻을 수 있었다. 고주파 영역으로 갈수록 분극들의 움직임이 억제되어, 자발 분극의 변화량이 감소하고 시료의 표면에 생성되는 표면 전하의 감소를 야기하므로 전압감도가 감소함을 알 수 있었다. 식 (6) 을 이용하여 5Hz 의 주파수에서 1.6V/W 의 값을 얻었다.

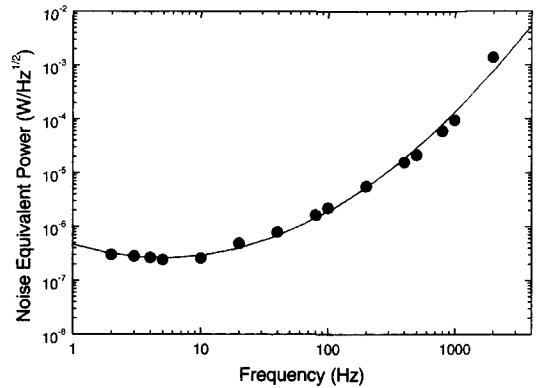


그림 8. PZT ceramic 의 잡음등가전력에 따른 주파수 의존성
Fig. 8. Frequency dependence of Noise Equivalent Power with PZT ceramic.

잡음등가전력 (noise equivalent power) 은 센서 잡음과 동일한 출력 신호를 주기 위해 필요한 열선속을 의미하며, 그에 대한 수식은 다음과 같이 정의된다.

$$NEP = \frac{U_n}{R_v \sqrt{Hz}} = \frac{2F_0 A_0 \sqrt{kTR_0}}{U_{p,r}} \left[\frac{W}{\sqrt{Hz}} \right] \quad (7)$$

여기서, U_n 은 센서 출력단에서의 잡음 전압으로 열선속이 수광되는 면적에 따라 증가하고, 두께의 증가에 따라 감소하는 값이다.

잡음등가전력은 센서의 잡음 출력과 신호 출력이 같게 될 때, 센서의 최소 적외선 세기를 나타내는 특성으로, 값이 작을수록 우수한 초전특성을 나타낸다. 식 (7) 의 수식으로부터, 측정되는 전압 응답에 반비례하는 특성을 가지는 것을 Fig. 8 에 나타내었고, 5Hz 의 주파수에서 2.4 × 10⁻⁷ W/Hz^{1/2} 의 값을 얻었다.

센서의 성능을 정의하는 S/N 비를 의미하는 비검출능 (Detectivity) D* 가 다음과 같이 표현된다.

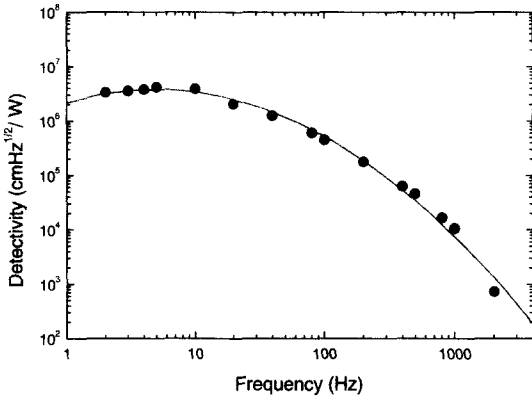


그림 9. 상온에서 PZT (90/10) 세라믹에 대한 검출능의 주파수 의존성

Fig. 9. Frequency dependence of detectivity with PZT (90/10) at ambient temperature.

$$D^* = \frac{\sqrt{A_0}}{NEP} \left[\frac{cm\sqrt{Hz}}{W} \right] \quad (8)$$

식 (8) 에서 나타냈듯이, 비검출능은 면적으로 규격화되어 있기 때문에 재료 자체의 검출 기능을 비교하기에 가장 적합한 초전특성이다. 이에, 상온에서 주파수 변화 (2~2000Hz) 에 따른 비검출능을 조사하여 Fig. 9 에 나타내었다. Fig. 9 로부터, 비검출능의 값은 $4.17 \times 10^6 \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 의 값을 가진다. 식 (8) 로부터 계산된 값에서, 비검출능이 시료의 면적과 두께에 상당히 의존적임을 알 수 있다.^[9] 본 논문에서의 비검출능은 H. P. Beerman 이 보고한 PZT 의 $10^7 \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 값과 비교하여 약 10 배 이상의 차이를 보인다.^[10] 이는 주파수 변화에 따른 열선속이 시료에 입사될 때, 두께의 증가로 투과되는 신호 성분이 그만큼 작아지고 그에 따라 잡음이 증가하여 응답 특성의 값이 감소하기 때문이다. 또한 면적의 증가는 잡음 성분을 증가시키므로 주파수가 증가할수록 비검출능은 감소하게 된다. 따라서, 열전도도 (G) 를 최소화하고 흡수율을 최대화시키는 연구가 필요하다고 생각된다.^[11]

V. 결 론

능면체정 구조의 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.9}\text{Ti}_{0.1})\text{O}_3$ 세라믹을 제작하여 온도 변화에 따른 상전이 온도를 측정하여 256°C 의 값을 얻었다. PZT 세라믹의 초전특성이 초전물질의 주

파수 의존성을 관찰하기 위하여 dynamic 방법으로 조사되었다. 이는 시료 내에서 자발분극의 분포에 관한 조사와 초전소자가 가지는 고유한 물질의 주파수 특성에 대한 분석이 가능하기 때문에, 그에 따른 응답 특성을 주파수 분산의 관점으로 분석하였다. 5Hz 의 주파수에서 최대 응답을 얻었고 그 이후의 주파수에서는 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 저주파 영역에서 분극의 재배향이 변조 주파수에 따른 분극의 변화량의 증가로 최대 전압 응답을 얻게 되는 반면에, 고주파 영역으로 갈수록 분극의 재배향이 변조 주파수에 따라 억제되므로 응답이 감소하기 때문이다. 그에 따른 초전계수와 재료평가지수는 각각 $1.6 \times 10^{-8} \text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{K}$, $1.6 \times 10^{-11} \text{C} \cdot \text{cm}/\text{J}$ 이었고 잠음등가전력과 비검출능은 각각 $2.4 \times 10^{-7} \text{W}/\text{Hz}^{1/2}$, $4.17 \times 10^6 \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 로 나타났다. 위에서 얻어진 비검출능은 다소 작은 값을 가지는데 이는 식 (8) 에서 알 수 있듯이, 면적 A_0 와 두께 d 가 초전 응답에 의존적인 특성을 나타내기 때문이다. 주파수 증가에 따라 변화되는 열선속이 시료에 입사될 때, 두께 ($d=200 \mu\text{m}$) 가 비교적 크므로 투과될 수 있는 신호의 양은 그만큼 작아져 응답 특성의 감소를 야기한다. 또한, 면적 ($A_0=1 \text{cm}^2$) 이 비교적 넓으므로 그에 따른 잡음 특성 또한 증가하게 되어 실제로 측정되는 초전 응답은 작아지게 된다. 따라서, 면적과 두께 성분이 작은 시료의 제작, 시료의 열 전도도를 최소화시키거나 흡수율을 향상시킨다면 우수한 초전특성을 나타내는 초전소자를 제작할 수 있을 것이다. Dynamic 방법을 이용하여 초전특성의 주파수 의존성을 분석하여 저주파 영역에서 우수한 초전특성을 나타내는 것을 알았다. 결과적으로, 면적과 두께가 크에도 불구하고 높은 초전계수를 가지며, 저주파 영역 특히, 인체의 검출 가능한 주파수 (0.5Hz~10Hz) 대역에서 우수한 초전특성을 나타낼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 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).
 [2] Yuhuan Xu, "Ferroelectric Materials and Their Applications", North-Holland, Amsterdam,

pp.101~162 (1991).

[3] N. Ichinose, Y. Hirao, et. al, "Pyroelectric Infrared Sensor Using Modified PbTiO₃ and It's Applications", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 24 (1985) Suppl. 24-3, pp.178-180.

[4] K. Yao, L. Zhang, and W. Zhu, "Controlled Crystallization in Lead Zirconate Titanate Glass-Ceramics Prepared by the Sol-Gel Process", J. Am. Ceram. Soc., vol. 81 pp.1571~1576 (1998).

[5] J. Huang, J. Lian, and R. C. Buchanan, "Pyroelectric Properties of PZT (90/10) Thin Films on Pt/Si Substrate", Proceeding of the Tenth IEEE Internation Symposium on Applications of Ferroelectrics, pp.623-626 (1996).

[6] E. H. Putley, "Semiconductors and Semimetals", Academic Press New York San Francisco London, Chap. 6 pp.259~285 (1975).

[7] W. Budde, "Physical Detectors of Optical Radiation", Academic Press New York vol. 4, pp.94~100 (1983).

[8] G. Teowee, F. S. Mccharthy, et. al, "Pyroelectric Properties of Sol-Gel Derived PZT Thin Films with Zr/Ti Rations", Integrated Ferroelectrics., vol. 22, pp.431-438 (1998).

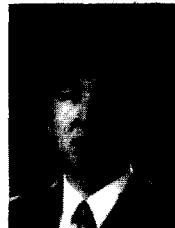
[9] R. Takayama, Y. Tomita, et. al, "Preparation and Characteristics of Pyroelectric Infrared Sensor made of c-axis Oriented La-Modified PbTiO₃ Thin Films", J. Appl. Phys., pp.411~415 (1986).

[10] Henry P. Beerman, "Pyroelectric Infrared Radiation Detector", Ceramic Bulletin., vol. 46 pp.737~740 (1967).

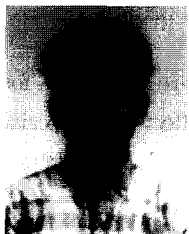
[11] J. R. Choi, "GaAs-based Integrated Microsensors", Ph. D. Thesis, University of Minesota, (1991).

저 자 소 개

尹 英 夔(正會員) 第37卷 SD編 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, 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



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. 주관심 분야 :

ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막



閔 庚 堧(正會員)
 1972년 11월 19일생. 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