

논문 97-6-1-01

PLT 박편을 이용한 압전특성이 보상된 초전형 적외선 센서의 제작

김영일**, 노용래*, 최시영*

Fabrication of pyroelectric IR sensors with PLT thin plates
compensating for piezoelectric effect

Young Eil Kim**, Yongrae Roh* and Sie Young Choi*

요 약

La가 첨가된 PbTiO₃(PLT) 박편을 이용하여 압전효과에 대한 보상이 이루어진 고감도 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 센서는 두 개의 1×2 mm²의 cell을 인접하게 나란히 설치하고 적절히 전극을 배열한 이중소자 형태로 제작하였으며, 제작된 센서는 단일 소자형 센서에 비하여 잡음 특성이 향상되어 신호대 잡음비가 350에 이르렀다. 나아가 2400 V/W 이상의 전압감도, 4.6×10⁻⁸ C/cm²K의 초전계수 및 4.2×10⁻¹¹ Ccm/J의 전압 성능지수와 8.7 msec의 작은 열시상수 특성들을 보였다. 제작된 초전형 적외선 센서는 적절한 배치를 통하여 인체의 이차원적 이동방향의 감지에 응용할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

Abstract

Highly sensitive pyroelectric IR sensors were fabricated with La-modified PbTiO₃(PLT) thin plates compensating for piezoelectric effect. The device was fabricated in a dual form by placing two PLT cells, each of 1×2 mm², side by side with appropriate electrode configuration. The dual element sensor had a signal to noise ratio of about 350 that was much larger than that of single element sensors. Further the dual element sensors exhibited excellent pyroelectric properties such as a large voltage responsivity of 2400 V/W, a pyro-coefficient of 4.6×10⁻⁸ C/cm²K, a voltage figure of merit of 4.2×10⁻¹¹ Ccm/J, and a small thermal time constant of 8.7 msec. It was confirmed through experiments that the dual element sensor was applicable to detect the two-dimensional moving direction of human beings.

1. 서 론

초전형 적외선 센서는 외부의 온도 변화에 따라 특정 재료의 표면에 전하가 발생하는 초전효과를 이용하

는 센서이다^[1]. 전술한 논문에서는 이러한 초전특성을 가지고 있는 단일 PLT 소자를 이용하여 외부에서 가해지는 적외선을 감지하는 초전형 적외선 센서의 개발에 관하여 논하였다^[2]. 그러나 초전형 적외선 센서로 사용되는 PLT를 포함하는 강유전체 물질들은 초전효과 뿐만아니라 압전효과까지 동시에 나타내는 특성을 가지고 있다^[3]. 압전효과란 외부에서 진동이 가해지면 그에 따라 외력의 크기에 비례하는 전하를 발생시키는

* 경북대학교 전자·전기공학부
(School of Electronic & Electrical Engineering,
Kyungpook Nat'l Univ.)

** 삼성전자(주) 생산기술연구센터
(Samsung Electronics Co., Ltd, Production
Engineering Center
<접수일자 : 1996년 4월 10일>

특성으로서, 초전센서에 주위 온도변화와 함께 진동도 동시에 가해지는 경우에는 어느 것이 측정하고자 하는 초전 신호인지 분간이 어렵게 된다^[4]. 실제로 요즘 초전센서가 많이 적용되고 있는 냉방기 등에는 압축기나 팬 등의 기계구동 장치가 센서에 인접하여 설치되어 있어서 그에 따른 진동신호가 정작 측정하고자 하는 초전신호를 가리거나 잡음으로 작용함에 따라 인한 신호대 잡음비의 저하 등 여러 가지 문제들을 야기시키고 있다. 따라서 우수한 성능의 적외선 센서를 구현하기 위해서는 이러한 잡음의 제거가 필수적이므로, 이에 본 연구에서는 내진동 특성 및 외부 잡음 제거가 가능하도록 두 개의 초전소자를 나란히 배열한 형태의 이중형 초전센서를 제작하였고, 나아가 단일 소자형 초전센서는 적외선원의 존재 유무밖에 감지할 수 없는 한계를^[5] 극복하기 위해, 본 연구에서 제작하고자 하는 초전센서에는 이상의 압전효과 보상특성과 더불어 적외선원의 이동방향도 동시에 감지할 수 있는 기능을 부여하고자 한다. 센서는 상온에서 동작이 가능하며 큰 초전계수 및 작은 열용량 계수, 그리고 작은 유전상수 값을 가지는 PLT 세라믹을 박편화하여 제작하고자 하며^[6], 제작된 센서의 특성을 실험을 통하여 조사한 후 인체의 이동방향 감지형 적외선 센서로의 응용 가능성을 알아보았다^[7].

II. 센서 구성 및 시편 제작

초전형 적외선 센서의 제작을 위하여 사용한 박편의 조성은 $(\text{Pb}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{Ti}_{0.975}\text{O}_{3})_{0.75}(\text{PbO})_{0.25}$ 이며 모물질 시편을 slicer(HS3, Sony, Japan)를 이용하여 $100\ \mu\text{m}$ 의 두께로 제작하였다. PLT 시편은 일본 Matsushita사의 상용제품을 사용하였다. PLT와 같은 초전소자로 사용되는 강유전 물질은 초전특성 뿐만 아니라 항상 압전특성까지 동반하여 나타내므로 본 연구에서 개발하고자 하는 적외선 센서로 보아서는 외부진동에 의해 나타나는 압전효과는 모두 잡음원으로 작용하게 된다. 따라서 불필요한 압전특성을 보상해주기 위하여 제작하고자 하는 적외선 센서는 그림 1과 같은 구조로 작동하도록 하였다. 먼저 두 소자의 쌍극자 방향이 같은 방향이 되도록 분극처리한 후 전극을 그림과 같이 배열하면, 그림에 나타난 식과 같이 두 소자에 공통적으로 작용하는 외부진동에 의하여 여기되는 전압 V_{piezo} 는 항상 상쇄가 된다. 만약에 두 소자에 작용하는 외부진동의 크기가 서로 다르다면 압전효과에 의한 여기전

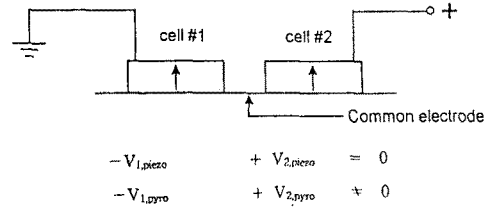


그림 1. 압전전압을 보상하기 위한 PLT 소자의 배열.
Fig. 1. Arrangement of the two PLT elements to compensate for piezoelectrically induced voltage.

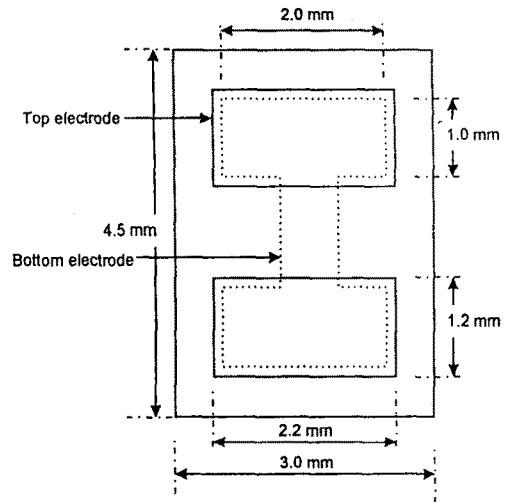


그림 2. 이중형 소자의 layout.
Fig. 2. Layout of the dual element device.

압도 완전한 상쇄가 되지 않을 것이나, 일반적으로 초전재료가 사용되는 환경에서 진동이라고 느껴지는 외력은 대부분의 경우 수 kHz 이하의 주파수 대역이고, 그러한 대역에서의 진동파장에 비하여 두 소자간의 거리가 충분히 짧다면 V_{piezo} 는 항상 상쇄가 될 것이다. 실제로 본 연구에서 제작하고자 하는 이중형 소자의 크기는 수 mm단위로서 수 kHz 대역에서의 고체내의 진동파장에 비해 월등히 짧으므로 이 식은 충분한 타당성을 가지고 있다. 반면에 적외선 파장은 본 연구에서 제작하고자 하는 mm단위의 소자의 평면 크기에 비하여 월등히 짧으므로 조사된 열량의 크기가 이중소자의 각 소자에 대하여 충분히 차이가 나타날 수 있으므로 V_{pyro} 는 0이 되지않고 유한한 값을 가질 것이다. 그때의 V_{pyro} 는 좌우 소자에 주사된 열량의 크기의

차이에 비례할 것이다. 따라서 진동에 의하여 발생되는 V_{piezo} 는 항상 상쇄되고 적외선원이 좌 또는 우로 이동시에 나타나는 초전전압의 차이인 ΔV_{pyro} 만이 검출될 것이다. 나아가 이때 나타나는 ΔV_{pyro} 는 적외선원의 이동방향 (좌에서 우로, 우에서 좌로)에 따라 그 부호가 바뀌므로, 출력신호의 부호를 관찰함으로써 적외선원의 이동방향도 알 수 있는 기능을 제공한다.

이러한 작동 원리를 바탕으로 제작한 압전특성 보상형 적외선 센서는 그림 2에 나타나 있다. 그림 1에서 설명한대로 각각 $1 \times 2 \text{ mm}^2$ 의 크기를 가지는 두 개의 소자를 인접하게 나란히 배열한 이중소자 형태를 가지도록 구성하였다. 그러나 실제 제작시에는 단일 PLT소자 위에 전극을 그림 2에 나타난 바와 같이 설치함으로써 마치 두 개의 개별소자를 사용한 것과 같은 효과를 거두도록 하였다. 소자의 제작과정 및 전극 형성방법은 참고문헌 2에 나타난 바와 같다.

III. 센서의 특성 평가

초전형 적외선 센서로 제작된 PLT 박편의 물성 및 초전 특성을 조사하였다. Impedance analyzer(HP4192)를 이용하여 1 kHz의 주파수에서 정전 용량 및 저항을 측정하여 유전상수 및 비저항을 구하였다. 초전 특성은 암상자 내에서 MOSFET를 사용한 회로를 이용하여 측정하였다^[2]. 이중소자형으로 제작된 적외선 센서의 초전특성은 150 W 텅스텐 램프를 사용하여 평가하였고, 측정시에는 두 소자 중 한개에 대하여 적외선을 차단한 후 측정을 행하였다. 여기서 두 소자중 한 개의 소자에 대하여 적외선을 차단하고 측정한 이유는 시편 제작에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 제작된 소자는 외부잡음 및 압전효과와 제거 뿐만 아니라 적외선이 각각의 소자에 동일하게 조사 될 경우 각각의 소자에 유기되는 초전전압의 절대치가 서로 같아 압전효과에 의한 것과 마찬가지로 서로 상쇄되기 때문이다. 그림 3은 제작된 이중형 적외선 센서의 반응 특성을 나타낸다. 두 개의 소자중 한개의 소자의 초전특성은 1 Hz로 적외선이 chopping되어 적외선이 조사될 때 peak 대 peak 전압이 약 17.5 V로 여기되며, 적외선이 차단될 때 18.5 V로 여기되었으며, 열시상수는 8.7 msec로 나타났다. 또한 잡음레벨이 0.05 V로 신호대 잡음비가 350의 값을 보였다. 표 1은 이상의 실험을 통하여 측정된 소자의 물성 및 제작된 센서의 초전특

표 1. PLT 박편의 물성 및 이중 소자의 초전 특성.
Table 1. Material properties of the PLT10 thin plate and pyroelectric characteristics of the dual element sensor.

소 자	Dual element cell
물성 · 초전특성	
정전용량(pF)	61.7
유전상수	342
비저항($\Omega \cdot \text{cm}$)	6.40×10^{10}
초전계수 ($\text{C}/\text{cm}^2\text{K}$)	4.6×10^{-8}
전압감도 (V/W)	2410
열 시상수 (msec)	8.7
신호대 잡음비	350
Noise equivalent power (W)	1.95×10^{-7}
Specific detectivity (cm/W)	8.96×10^5
전압 성능지수 (Ccm/J)	4.20×10^{-11}

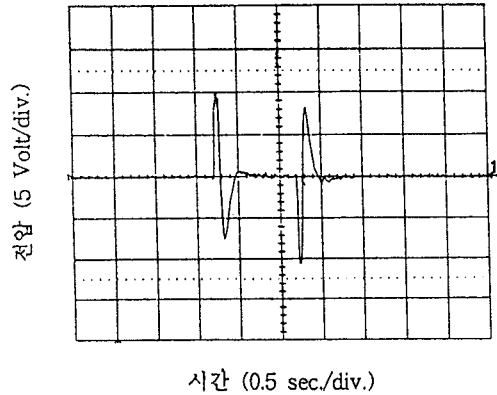


그림 3. 이중형 초전센서의 적외선 반응특성.
Fig. 3. Pyroelectric response of the dual element sensor.

성을 나타낸다. 유전상수와 비저항은 La_2O_3 10% 첨가된 세라믹의 특성과 잘 일치 하였으며, 높은 비저항으로 인하여 본 소자는 array 소자로의 응용이 가능함을 보여주었다. 그리고 8.7 msec의 열시상수 값으로 인하여 빠른 응답특성을 보였으며 큰 초전전압 유기로

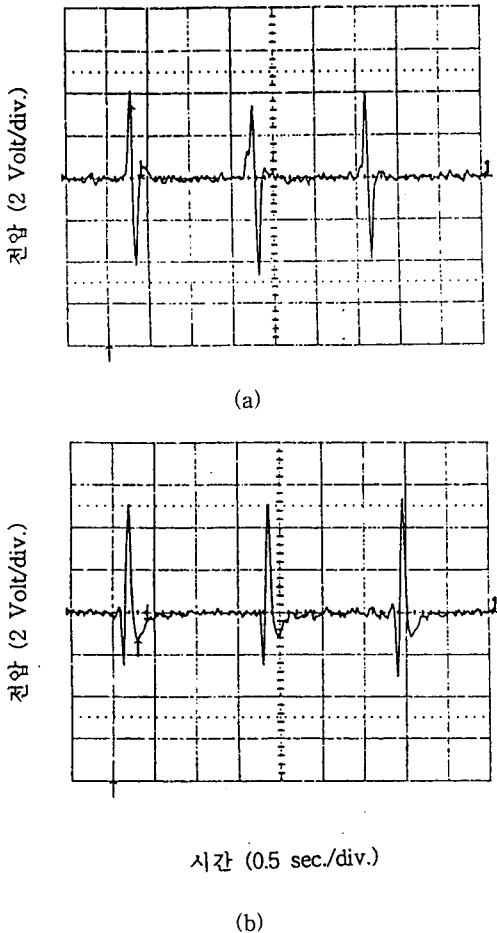


그림 4. 이중형 초전센서의 인체의 이동방향에 대한 반응. (a) 우로 이동시 (b) 좌로 이동시
 Fig. 4. Pyroelectric response of the dual element sensor with the movement of human body. (a) left to right (b) right to left

인하여 2400 V/W 이상의 전압감도와 $4.2 \times 10^{-11} \text{ Ccm/J}$ 의 전압성능지수 등의 높은 초전 특성을 보여 주었다. 따라서 제작된 이중형 초전센서는 단일소자형 센서에 비하여 물성 및 초전특성은 비슷한 결과를 보였으나, 압전효과의 보상으로 인해 잡음원으로 작용하던 진동에 의한 영향들이 감소되어 잡음레벨이 단일소자형 센서의 0.1 V 에 비하여 0.05 V 로 감소하여 전체적인 신호대 잡음비는 350으로 약 2배 이상 내잡음 특성이 향상되었다.

다음으로 적외선원의 이동방향에 따른 감지특성 평가를 위해 제작된 이중 소자 센서를 이용해 인체의 이

동을 측정함으로써 그 반응도를 조사하였다. 인체에서 방사되는 적외선은 $9.4 \mu\text{m}$ 근처의 파장을 가지므로 이중 소자와 인체 사이에 $7 \mu\text{m}$ cut-off 필터를 사용하였고 센서로부터 약 50 cm 떨어진 거리에서 약 5 m/sec 의 속도로 이중형 소자의 정면에서 좌, 우로 이동할 때의 변화를 조사하였다. 그림 4는 적외선원의 이동 방향에 따른 특성을 보여준다. 그림 4(a)는 적외선원이 좌에서 우로, 그림 4(b)는 우에서 좌로 이동할 때의 변화를 보여준다. 먼저 우로 이동할 때는 $+4 \text{ V}$ 의 초전전압이 유기되었으며, 좌로 이동할 때는 -2.2 V 의 초전전압이 유기되었다. 여기서 좌 또는 우로 이동할 때 발생하는 초전전압의 절대적인 수치가 다른 것은 본 센서의 전극 증착시 공정의 어려움에 따른 두 소자간의 misalign으로 인한 것으로 판단된다. 즉 같은 열량이 주사될 때 $V_{1,\text{pyro}}$ 와 $V_{2,\text{pyro}}$ 는 크기가 서로 같아야 하나, 전극 설치상의 오차로 인해 실제로는 $V_{1,\text{pyro}}$ 가 더 크게 나타난 것이다. 전극설치 공정을 개선하여 두 소자간의 출력특성을 같도록 만든다면 해결될 수 있는 문제이다. 따라서 완전한 진동 및 잡음 보상이 이루어지지는 않았으나 전체적인 이동방향의 구별 및 이중 소자로의 구성은 충분히 이루어진 것으로 나타났다. 나아가 이렇게 좌·우 방향을 감지할 수 있는 소자를, 이번에는 수직으로 배치하여 인체가 상·하로 이동하였을 때를 시험해 본 결과 이상과 동일한 결과가 나타났다. 따라서 본 논문에서 구성한 적외선 소자는 압전특성의 보상과 더불어 적외선원의 이동 방향에 따라서 발생하는 초전전압의 극성이 다르게 나타나므로, 본 센서를 좌·우로 뿐만 아니라 상·하로도 배치 하여 두 개의 채널로 측정을 수행 할 경우 인체의 2차원적 이동방향 감지도 가능함을 확인하였다.

IV. 결 론

PLT 세라믹을 박편화한 후 각각 $1 \times 2 \text{ mm}^2$ 크기의 소자 두개를 인접하게 나란히 배열한 형태의 이중형으로 구성하여 내진동 특성이 향상되고 적외선원의 이동 방향을 감지할 수 있는 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 내진동 특성이 향상된 이중형 초전형 적외선 센서는 8.7 msec 의 열시상수 값과 2400 V/W 이상의 전압감도 및 $4.2 \times 10^{-11} \text{ C} \cdot \text{cm/J}$ 의 성능지수 등을 나타내어, 단일소자형 초전형 적외선 센서에 비하여 물성 및 초전특성은 비슷한 결과를 보였으나, 압전효과의 보

상으로 인해 잡음원으로 작용하던 진동에 의한 영향들이 감쇄되어 신호대 잡음비가 350으로 약 2배 이상의 내잡음 특성을 보였다. 또한 제작된 센서는 인체의 좌·우로의 이동방향에 따라 각각의 소자에 유기되는 초전전압의 차이에 따른 감지 전압이 양 또는 음으로 발생되어 좌·우로의 이동방향을 감지할 수 있었다. 나아가 본 센서를 좌·우로 뿐만 아니라 상·하로도 배치 하여 두 개의 채널로 측정을 수행할 경우 인체의 2차원적 이동방향 감지도 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 경북대학교 센서기술연구소의 지원에 의하여 수행되었음

V. 참고문헌

- [1] A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics*, Campman and Hall, New York, pp. 318~337, 1990.
- [2] 김영일, 노용래, "PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작", *센서학회지* 제 5권 제 1호, pp. 1-8, 1996.
- [3] J. F. Nye, *Physical properties of crystals*, Oxford Press, London, 1985.
- [4] B. Jaffe, W. R. Cook, and H. Jaffe, *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press, London, pp. 115~123, 1971.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] W. von Munch, M. Nagele, D. Wohl, B. Ploss and W. Ruppel, "A 3×3 pyroelectric detector array with improved sensor technology", *Sensors and Actuators A*, 41-42, pp. 156-160, 1994.

著 者 紹 介

김 영 일

『센서학회지 제5권 1호』 논문 96-5-1-01, p. 1 참조
현재 삼성전자(주) 생산기술연구센터

노 용 래

『센서학회지 제5권 3호』 논문 96-5-3-06, p.41 참조
현재 경북대학교 센서기술연구소, 경북대 전자·전기공학부 조교수

최 시 영

『센서학회지 제5권 6호』 논문96-5-6-08, p.60 참조
현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수