

# P(VDF/TrFE) 필름의 두께에 따른 인체 감지형 초전형 PIR 적외선 센서의 특성

권성열<sup>+</sup>

## Effect of P(VDF/TrFE) Film Thickness on the Characteristics of Pyroelectric Passive Infrared Ray Sensor for Human Body Detection

Sung Yeol Kwon<sup>+</sup>

### Abstract

A thick 25  $\mu\text{m}$  thickness poled P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor has been fabricated and then thin 1.6  $\mu\text{m}$  thickness P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor has been fabricated also. These thick and thin P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor was mounted in TO-5 housing to detect infrared light of 5.5 ~ 14  $\mu\text{m}$  wavelength for human body detecting with each other. The noise output voltage of the thick P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor were 380 mV and NEP(noise equivalent power) is  $3.95 \times 10^{-7}$  W which is the similar value with the commercial pyroelectric infrared ray sensor using ceramic materials as a sensing material. The NEP and specific detectivity  $D^*$  of the thin P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor were  $2.13 \times 10^{-8}$  W and  $9.37 \times 10^6$  cm/W under emission energy of 13  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  respectively. These result caused by lower thermal diffusion coefficient of a thin 1.6  $\mu\text{m}$  thickness PVDF/TrFE film than the thick 25  $\mu\text{m}$  thickness poled P(VDF/TrFE) film pyroelectric infrared ray sensor.

**Keywords :** PVDF, P(VDF/TrFE), Pyroelectric, Infrared, Ray, Thin film

## 1. 서론

적외선 센서는 물체로부터 방사되는 에너지를 포토컨덕터(Photoconductor)와 같이 직접적으로 흡수하여 광전자나 전하 캐리어 쌍을 형성하는 양자효과, 이를 열로 변환한 다음 발생하는 표면전하의 변화를 측정하는 열형이 있다[1]. 현재 이러한 열형 초전형 적외선 센서로 사용되고 있는 재료로는 TGS 단결정, LiTaO<sub>3</sub>, PbTiO<sub>3</sub>, PZT와 PVDF 등이 있다[1-4]. 그 중 PVDF는 1969년 H. Kawai와 J. D. Bergmann에 의하여 압전효과 및 초전효과가 발견된 이후로 이를 이용한 압력센서, 음향센서 및 초전형 적외선 센서에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[5, 15]. 또한 PVDF와 전기적인 특성은 비슷하지만 P(VDF/TrFE) 필름은 큐리온도가 더 높고, 더 낮은 유전상수, 낮은 열 확산계수를 가지고 있으므로 초전형 적외선 센서 제작에 유리하다[6, 7].

그러나 낮은 열 확산 계수를 가지는 초전형 필름의 제작이 어렵고 이를 이용한 상용화된 센서의 종류가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 분극 처리된 후막 P(VDF/TrFE) 초전형 적외선 센서와 박막 P(VDF/TrFE) 을 성막 시킨 후 초전성을 증가시키기 위한 분극 처리하여 박막을 제작하고 이를 이용한 초전형 적외선 센서를 제작하여 P(VDF/TrFE) 필름의 두께에 따른 초전형 적외선 센서의 특성을 비교하였다. 제작된 센서는 모두 FET와 저항이 내장된 TO-5 패키지에 하우징하고 웰딩 하였다. 또한 상용센서와 같은 실험조건하에서 센서의 전압 출력, 잡음전압 출력, 전압감도, NEP(noise equivalent power) 및 specific detectivity  $D^*$ 를 측정하여 P(VDF/TrFE) 필름의 두께에 따른 초전형 적외선 센서의 성능지수를 비교하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 P(VDF/TrFE) 후막 적외선 센서 제작

대량생산이 가능한 필름 형태의 P(VDF/TrFE) 후막을 사용하여 적외선 센서를 제작하였다[8]. 적외선 센서에 사용된 P(VDF/TrFE)

부경대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Pukyong National University)  
608-737, 부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교 전기공학과 가온관-307호(Yongso-Ro 45, Pukyong National University, Nam-gu, Pusan 608-737, Korea)  
<sup>+</sup>Corresponding author: sungyeol@pknu.ac.kr  
(Received : Jan 4, 2011, Revised : Mar 1, 2011, Accepted : Mar 14, 2011)

후막의 비닐리딘 플루오라이드(VDF,  $\text{CH}_2\text{CF}_2$ )와 트리플루오르에틸렌(TrFE,  $\text{CHF}_2\text{CF}_2$ )의 질량비는 각각 75/25이다[9]. 분극 처리된 P(VDF/TrFE) 후막 필름의 두께는 25  $\mu\text{m}$  였고 제작한 소자의 크기는 가로  $\times$  세로가 3 mm  $\times$  5 mm 였다. 필름에 상부 및 바닥 전극 형성을 위하여 먼저 두께가 50  $\mu\text{m}$  의 폴리브덴판을 소자 전극 제작용 웨도우 마스크로 제작하였다. 제작된 웨도우 마스크를 사용하여 먼저 하부 전극을 분극 처리된 P(VDF/TrFE) 필름에 진공 증착 하였다. P(VDF/TrFE)의 녹는점 온도가 160  $^\circ\text{C}$  정도로 낮기 때문에 진공 증착시 가열되는 소스의 복사열이 P(VDF/TrFE)에 복사 전도되어 P(VDF/TrFE) 필름이 녹아 내리거나 타버리는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 피하기 위해 진공 증착시 가열되는 소스와 P(VDF/TrFE) 필름의 거리를 조절하여 가열되는 소스의 복사열이 P(VDF/TrFE) 필름으로 복사 전도 되지 않도록 하였다. 같은 방법으로 상부전극을 진공 증착 하였으며 상·하부 전극으로는 Al을 각각 3000  $\text{\AA}$ 과 6000  $\text{\AA}$ 의 두께로 진공 증착을 하였다.

전극을 증착한 후 소자를 주위의 잡음이나 간섭으로부터 차폐하기 위해서 Fig. 1에 보이는 바와 같이 상용센서용 TO-5 패키지에 하우징을 하였다. TO-5 패키지 내부는 FET와 면저항으로 구성된 프리앰프(preamp.) 단이 내장되어 적외선 센서의 측정에서 가장 잡음에 민감한 부분인 센싱 소자와 FET의 거리를 최소화하고 외부 전기장으로부터 차폐가 되게 하였다.



Fig. 1. Fabricated pyroelectric PIR infrared sensor.

## 2.2 P(VDF/TrFE) 박막 적외선 센서 제작

박막 초전형 적외선 센서의 기관은 열팽창계수가 크고 열차단 구조가 가능하며 프리앰프단의 FET의 제작이 가능한 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 충분히 세척된 실리콘 웨이퍼에 습식 산화법을 이용하여 3000  $\text{\AA}$ 의 두께로  $\text{SiO}_2$  층을 성장시켰다.

하부전극이 증착된 기관 위에 65/35 wt%의 P(VDF/TrFE) 분말과 2-butanone 용액을 80  $^\circ\text{C}$ 의 온도에서 1시간동안 용해시켜

제조한 10 wt% 농도의 P(VDF/TrFE) 용액으로 스핀코팅 방법을 통해 P(VDF/TrFE) 박막을 성막 시켰다. 첫번째 단계에서는 500 rpm과 2초, 그리고 두번째 단계에서는 5000 rpm과 30초의 스핀코팅 방법으로 1.6  $\mu\text{m}$ 의 박막을 제조하였다.

스핀코팅으로 제조된 박막의 내부에 남아있는 2-butanone 용액의 증발과 건조, 그리고 막의 결함 제거 및 결정성 증가, 스트레스 해소를 위해 24시간 동안 상온에서 건조시킨 다음, 120  $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 열처리하였다[10]. 진공 증착시 가열되는 소스와 P(VDF/TrFE) 막과의 거리를 조절하여 가열되는 소스의 복사열이 P(VDF/TrFE) 막으로 복사 전도 되지 않도록 하여 상부 전극으로 Al을 3000  $\text{\AA}$ 의 두께로 증착한 후 P(VDF/TrFE) 막과 상부전극과의 응착과 식각공정, 그리고 더욱 더 좋은 결정성 증가를 위하여 추가적인 열처리 과정을 실시하였다. 상부전극이 증착된 소자를 150  $^\circ\text{C}$ 에서 10분간 열처리하였다.

P(VDF/TrFE) 박막은 PVDF 후막과는 달리 연신공정이 필요 없으며 분자쇄가 모두 trans형 사슬배좌로 구성되는 전기활성 강유전  $\beta$  상의 결정구조를 가진다[11]. 그러나 강유전  $\beta$  상의 결정상 일지라도 C-F 에 의한 쌍극자들이 불규칙하게 배향되어 있기 때문에 그 자체로는 압전성 및 초전성 재료로 사용하기에는 부적합하다. 따라서 필름에 절연과피가 일어나지 않을 정도의 높은 전계를 걸어 주어 C-F 쌍극자를 한쪽 방향으로 배향 시켜 주는 추가적인 분극 공정을 필요로 한다[11]. P(VDF/TrFE) 박막의 분극공정으로는 열분극, 코로나분극, 전자빔을 이용한 방법 등[11]이 있으나 본 실험에서는 상온에서 DC 전압을 이용한 열분극 공정을 행하였다. 최적조건의 분극공정을 실현하기 위하여 실험한 여러 가지 조건의 분극공정 조건을 Table. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

분극 중에 발생할 수 있는 막의 브레이크다운 현상을 감소시키면서 최대 전계를 막에 가해 주기 위해 막에 20 MV/m부터 100 MV/m까지 전압을 단계적으로 20 MV/m씩 증가시키면서 분극을 행하였다. 각각의 분극 시간은 8분이었으며 각 단계 사이에 분극에 의한 스트레스 제거를 위해 4분씩 상하전극을 서로 단락 시켰다. 이 방법으로 전기적인 브레이크다운은 저전압에서부터 만들어진 분극에 의해 감소하고 열적인 브레이크다운은 제한된 전류와 전도성의 감소로 인해 줄어들게 된다. Fig. 2는 본 실험에서 행한 분극 방법을 전계와 시간에 따른 그래프로 나타내었다. 분극 공정후 소자를 주위의 잡음이나 간섭으로부터 차폐하고 P(VDF/TrFE) 필름의 두께에 따른 적외선 센서의 특성 비교를 위해 후막 센서와 같은 사양의 TO-5 패키지에 하우징을 하였다.

Table. 1. Poling conditions for P(VDF/TrFE) film

poling time	short time	status
10 min.	no	breakdown at 40 MV/m
8 min.	2 min.	breakdown at 40 MV/m
8 min.	4 min.	breakdown at 110 MV/m
8 min.	8 min.	breakdown at 110 MV/m 110 MV/m

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 P(VDF/TrFE) 후막 적외선 센서의 특성

제작된 초전형 적외선 센서의 신호출력 및 잡음 측정은 Table. 2에 기재된 환경과 조건에서 측정되었다.

측정시에는 두 상부전극 중 한 개에 대하여 적외선을 차단한 후 측정을 하였다. 여기서 두 상부전극 중 한 개의 전극에 대하여 적외선을 차단하고 측정한 이유는 본 실험에서 제작된 소자의 경우 적외선이 각각의 전극에 동일하게 조사 될 경우 각각의 소자에 유기되는 초전 전압의 절대치가 서로 같아 압전효과에 의한 것과 마찬가지로 상쇄되기 때문이다. 제작된 소자는 FET와 저항에 연결하여 출력과 잡음을 측정하였으며 인체 검지용으로 사용하기 위하여 5.5 ~ 14  $\mu\text{m}$ 의 적외선 필터가 부착된 TO-5에 하우징 하였다. 제작된 소자를 420 °K의 열원과 1 Hz의 주파수로 열원으로부터 발생하는 적외선에 따라 변화하는 전압의 변화를 72.5 dB로 증폭하여 측정하였고 잡음의 측정은 완전히 차폐된 용기 안에서 파이로 일렉트로미터(pyroelectrometer)를 이용하여 72.5 dB로 증폭하여 측정하였다.

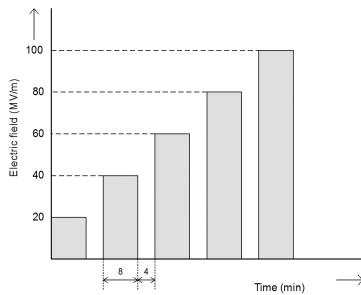


Fig. 2. Poling conditions for P(VDF/TrFE) film.

Table 2. Signal and noise output measuring conditions

poling time		status
Ambient temperature		25 °
Black body temperature		420 °K
Aperture of black body		$\Phi 40$
Emission of infrared energy		13 $\mu\text{Wcm}^2$
Chopping frequency		1.0 Hz
Amp. gain	signal	72.5 dB(1Hz)
	noise	72.5 dB
3 dB bandwidth		0.4 ~ 4.5 Hz
Stabilization time(noise)		3 min
Measuring time(noise)		20 sec

용기 안에서 파이로 일렉트로미터(pyroelectrometer)를 이용하여 72.5 dB로 증폭하여 측정하였다. 측정된 값은 신호의 전압 출력이 0.5 V, 잡음 전압 출력이 380 mV로 측정되었다. 제작된 소자는 적외선원 13  $\times 10^{-6}$  W/cm<sup>2</sup> 과 초핑 주파수 1 Hz 에 대해 9.62

$\times 10^5$  V/W 의 전압감도를 나타내었으며 NEP(noise equivalent power)는  $3.95 \times 10^{-7}$  W, 그리고 specific detectivity D\* 는  $5.06 \times 10^5$  cm/W 를 각각 나타내었다.

#### 3.2 P(VDF/TrFE) 박막 적외선 센서의 특성

제작된 박막 센서 소자는 분극 처리된 후막 P(VDF/TrFE) 필름 적외선 센서와 같은 조건에서 측정되었다. 측정된 값은 신호의 전압 출력이 1.315 V, 잡음 전압 출력이 215.7 mV로 측정되었다. 제작된 소자는 적외선원 13  $\times 10^{-6}$  W/cm<sup>2</sup> 과 초핑 주파수 1Hz 에 대해  $1.01 \times 10^7$  V/W 의 높은 전압감도를 나타내었으며 NEP는  $2.13 \times 10^{-8}$  W, 그리고 D\*는  $9.37 \times 10^6$  cm/W를 나타내었다.

### 4. 결론

P(VDF/TrFE) 필름의 두께에 따른 초전형 적외선 센서의 성능 지수를 비교 하기 위하여 25  $\mu\text{m}$  두께의 P(VDF/TrFE) 후막 초전형 적외선 센서와 1.6  $\mu\text{m}$  두께의 P(VDF/TrFE) 박막 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 후막 초전형 적외선 센서의 감지부분은 대량생산이 가능한 필름 형태의 분극 처리된 P(VDF/TrFE) 를 사용하였고, 박막 초전형 적외선 센서의 감지부분은 65/35 wt% 의 P(VDF/TrFE)를 2-butanone 용액에 용해시켜 제조한 10 wt% 용액으로 스핀코팅 방법을 통해 P(VDF/TrFE) 박막을 성막 후 박막의 압전성을 줄이고 초전성을 증가시키기 위해 분극 처리후 센서 제작을 하였다. Table. 3은 P(VDF/TrFE) 후막 및 박막 초전형 적외선 센서의 성능을 나타낸 것이다.

제작한 25  $\mu\text{m}$  두께의 후막 초전형 적외선 센서는 잡음이 380 mV로 다소 높게 나왔으며, NEP는  $3.95 \times 10^{-7}$  W 로서 다른 상용 세라믹 초전형 적외선 센서와 다소 비슷한 편이었다[12-14]. 1.6  $\mu\text{m}$  두께의 박막 초전형 적외선 센서는 후막 초전형 센서의 전압감도에 비해 두단위 이상의 우수한 감도를 나타내었으며, NEP 와 D\* 도 한단위 이상의 우수한 성능을 나타내었다. 이는 1.6  $\mu\text{m}$  두께의 박막 P(VDF/TrFE) 필름의 낮은 열확산 계수에 기인하는 것으로서 보다 얇은 박막 초전형 적외선 센서가 이러한 열형 적외선 센서의 성능을 향상하는 것으로 사료되며 이러한 실험결과로서 박막 P(VDF/TrFE) 필름을 사용한 초전형 적외선 센서의 제작 및 상용화가 가능하리라 판단된다.

Table 3. Comparison of sensor characteristics

	25 $\mu\text{m}$ film sensor	1.6 $\mu\text{m}$ film sensor
신호전압출력	0.500 V	1.315 V
잡음전압출력	380 mV	215.7 mV
전압감도	$9.62 \times 10^5$ V/W	$1.01 \times 10^7$ V/W
NEP	$3.95 \times 10^{-7}$ W	$2.13 \times 10^{-8}$ W
D*	$5.06 \times 10^5$ cm/W	$9.37 \times 10^6$ cm/W

## REFERENCES

- [1] R. W. Whatmore, "Pyroelectric devices and materials", *Rep. Prog. Phys.*, vol. 49, pp. 1335-1386, 1986.
- [2] C. Lucat, F. menil, and R. Von Der Muhll, "Thick-film densification for pyroelectric sensors", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 8, pp. 38-41, 1997.
- [3] C. C. Chang and C. S. Tang, "An integrated pyroelectric infrared sensor with a PZT thin film", *Sensors and Actuators A*, vol. 65, pp. 171-174, 1998.
- [4] W. Ruppel, "Pyroelectric sensor arrays on silicon", *Sensors and Actuators A*, vol. 31, pp. 225-228, 1992.
- [5] P. C. A. Hammes and P. P. L. Regtien, "An intergrated infrared sensor using the pyroelectric polymer PVDF", *Sensors and Actuators A*, vol. 32, pp. 396-402, 1992.
- [6] R. Kohler, N. Neumann, and G. Hofmann, "Pyroelectric single-element and linear-array sensors based on P(VDF/TrFE) thin films", *Sensors and Actuators A*, vol. 45, pp. 209-218, 1994.
- [7] G. T. Davis, J. E. Mckinney, M. G. Broadhurst, and S. C. Roth, "Electric-field-induced phase changes in poly(vinylidene fluoride)", *J. Appl. Phys.*, vol. 49, pp. 4988-5002, 1978.
- [8] Sung Yeol Kwon and Ki Wan Kim, "Fabrication and characteristics of pyroelectric infrared sensors using P(VDF/TrFE) film", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 8, no. 3, pp. 226-231, 1999.
- [9] D. K. Das-Gupta, *Ferroelectric polymers and ceramic-polymer composites*, Trans. Tech. Pub. Switzerland, 1994.
- [10] Sung Yeol Kwon, "Fabrication and characteristics of pyroelectric infrared IR sensors using PbTiO<sub>3</sub>/P(VDF/TrFE) thin films", Kyungpook National University, Ph.D., Thesis, 2000.
- [11] J. A. Giacometti, J. Sinezio, C. Campos, N. Alves, and M. M Costa, "The electric behavior of PVDF and P(VDF/TrFE) during corona poling," *IEEE 1990 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, pp. 77-82, 1990.
- [12] Jin Sik Kim, "Study of dielectric, pyroelectric and piezoelectric characteristics PVDF for sensor", Inha University, Ph. D., Thesis, 1992.
- [13] Young Eil Kim and Yong Rae Roh, "Fabrication of pyroelectric infrared sensors using PLT thin plates", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 5, no. 1, pp. 226-231, 1999.
- [14] Young Eil Kim, Yong Rae Rohand, and Sie Young Choi, "Fabrication of pyroelectric IR sensors with PLT thin plates compensating for piezoelectric effect", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 6, no. 1, pp. 1-5, 1997.
- [15] A. Odon, "Voltage response of pyroelectric PVDF detector to pulse source of optical radiation", *Meas. Sci. Review*, vol. 5, Sec. 3, pp. 55-58, 2005.



권 성 열(Sung Yeol Kwon)

- 2000년 경북대학교 대학원 센서공학과 (공학박사)
- 2007년 ~ 현재 부경대학교 전기공학과 부교수