

논문 99-8-3-03

P(VDF/TrFE) 필름을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작 및 특성 권성렬, 김기완*

Fabrication and characteristics of pyroelectric infrared sensors using P(VDF/TrFE) film

Sung Yeol Kwon, and Ki Wan Kim*

요약

초전형효과를 나타내는 P(VDF/TrFE) 필름을 이용하여 초전형 적외선 센서를 제작하였다. 필름의 VDF와 TrFE의 질량비는 75/25 이며 두께 25 μm 의 분극처리된 것을 사용하였다. 상부전극과 바닥전극의 디자인을 새로이 하여 인체검지용 초전형 적외선 센서로서 더욱 더 간단한 제조공정과 접속방법을 적용하였다. 상부전극과 바닥전극은 알루미늄을 각각 진공 증착시켰으며 5.5 ~ 14 μm 의 적외선 영역대에 반응시키기 위해 필터가 부착된 TO-5에 하우징 하였다. 제작된 적외선 센서는 적외선원 $13 \times 10^{-6} \text{ W/cm}^2$ 에 대하여 $9.62 \times 10^5 \text{ V/W}$ 의 높은 전압감도를 나타내었으며 NEP (noise equivalent power) 는 $3.95 \times 10^{-7} \text{ W}$, 그리고 specific detectivity D^* 는 $5.06 \times 10^5 \text{ cm/W}$ 를 나타내었다.

Abstract

Pyroelectric infrared sensors have been fabricated using P(VDF/TrFE) film with pyroelectric effect. The weight percent and thickness of the poled P(VDF/TrFE) film are 75/25 percent and 25 μm respectively. For easier fabrication and connection method new top and bottom electrodes design was adapted for human body detecting pyroelectric infrared sensor. An aluminum infrared absorption electrode and bottom electrode were deposited by thermal evaporator. And the device was mounted in TO-5 housing to detect infrared light of 5.5 ~ 14 μm wavelength. The responsibility, NEP (noise equivalent power) and specific detectivity D^* of the device were $9.62 \times 10^5 \text{ V/W}$, $3.95 \times 10^{-7} \text{ W}$ and $5.06 \times 10^5 \text{ cm/W}$ under emission energy of $13 \mu\text{W/cm}^2$ respectively.

1. 서론

일반적으로 적외선 센서는 물체로부터 방사되는 에너지를 포토컨덕터(photoconductor)와 같이 직접적으로 흡수하여 광전자나 전하 캐리어쌍을 형성하고 이를 측정하는 양자형과 에너지를 흡수하여 열로 변환한 다음

발생하는 표면전하의 변화를 측정하는 열형이 있다.^[1] 현재 이러한 열형 초전형 적외선 센서로 사용되고 있는 재료로는 TGS 단결정, LiTaO₃, PbTiO₃, PZT 와 PVDF등이 있다.^[1-4]

경북대학교 센서공학과(Dept. of Sensor Eng., Kyungpook National University)

* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electrical and Electronics Eng., Kyungpook National University)

<접수일자 : 1999년 1월 28일>

그 중 PVDF는 1969년 H. Kawai와 J. D. Bergmann에 의하여 압전효과 및 초전형효과가 발견된 이후로 이를 사용한 압력센서, 음향센서 및 초전형 센서에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.^[5] PVDF는 저가격, 낮은 열확산 계수, 낮은 유전상수와 넓은 면적에 걸쳐 소자

를 제작할 수 있다는 장점이 있다. 또한 PVDF와 전기적인 특성은 비슷하지만 P(VDF/TrFE) 필름은 큐리온도가 더 높고, 더 낮은 유전상수, 낮은 열확산계수를 가지고 있으므로 유리하다. 일반적으로 사용되어 지는 P(VDF/TrFE) 필름의 비닐리딘 플루오라이드 (VDF, CH₂CF₂)와 트리플루오르에틸렌 (TrFE, CHF₂CF₂)의 질량비는 각각 75/25이다.^[7]

본 연구에서는 P(VDF/TrFE)의 초전형 적외선 센서용 재료로의 사용 가능성을 살펴보기 위해 분극처리된 25 μm 두께의 필름을 사용하였다. 초전체 후막에 각각 상부 전극과 바닥 전극을 새로이 디자인 하여 실제 하나의 초전체 후막에 마치 두 개의 소자가 있는 것과 같은 결과를 나타내는 병렬 구조를 채택 하였다. 상부 전극과 바닥 전극은 각각 알루미늄을 진공증착으로 제작 하였다.^[8] 새로이 디자인된 소자는 기존의 구조에서처럼 상부전극에 리드선을 부착해야 하는 공정상의 어려움이 없고 슬릿을 사용하여 좌우 전극에서 발생하는 출력의 차이를 이용하지 않아도 되는 장점이 있다. 제작된 소자는 FET와 저항이 내장된 TO-5에 하우징하여 전압감도, NEP (noise equivalent power) 및 specific detectivity D*를 측정하였다.

2. PVDF의 물리적인 특성

PVDF는 (-CH₂-CF₂-)_n을 반복단위로 하는 선상고분자로서 분자쇄내에 존재하는 강한 쌍극자기에 의하여 다른 고분자재료보다 10배 이상의 큰 유전성과 압전성, 초전성 등을 갖고 있는 강유전성 고분자 재료이다.^[6] PVDF는 결정화도가 비교적 높고 (약 45%) 분자구조가 같으면서도 α형, β형 및 γ형 등 여러 가지 결정형태를 가지며, 결정형태에 따라 전기적, 기계적 특성이 다양하게 변화하는 등 고체 구조적으로도 흥미가 있는 재료라고 할 수 있다.^[6] PVDF와 다른 여러 가지 초전성 물질들의 특성이 표 1에 나타나 있다.

PVDF의 초전계수는 TGS나 다른 초전성 물질들에 비해 작은 것으로 나타나 있다. 그러나 다른 초전성 물질들에 비해 낮은 유전 상수, 낮은 열확산계수를 갖고 있다. PVDF는 현재 9 ~ 25 μm 두께의 넓은 면적의 필름을 저가의 상업용으로 구입 할 수 있다. 이것은 단결정이나 다른 세라믹 재료를 사용하는 소자의 제작 전에 필요한 재료의 폴리싱이나 다른 준비공정이 필요하지 않는 비교적 간단한 공정으로 센서를 제작할 수

있는 센서용 재료로서의 장점이다.

P(VDF/TrFE)는 표 1에서 보는 바와 같이 큐리온도와 초전계수가 PVDF에 비해 높으며 스펀코팅등 비교적 간단한 공정으로 소자를 제작 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 실험에서는 분극처리된 25 μm 두께의 P(VDF/TrFE) 필름을 사용하여 적외선 센서를 제작하고 그 특성을 측정하였다.

표 1. 초전성 물질들의 물리적인 특성^[8]

Table 1. Physical properties of pyroelectric materials

Pyroelectric materials	Curie temperature T _c [°C]	Pyroelectric coefficient p [10 ⁻⁴ cm ⁻² ·K ⁻¹]	Dielectric constant ε _r	Dielectric loss tan δ	Thermal diffusion coefficient DT [10 ⁻⁴ cm ² ·s ⁻¹]
TGS	35	5.5	55	0.025	3.3
LiTaO ₃	665	2.3	47	0.006	13.0
PbTiO ₃	490	3	200	1.9	9.9
PZT	> 300	3.5	300	8.8	6
P(VDF/TrFE)	65~125	0.3~0.4	7~18	0.02~0.032	0.56
PVDF	80	0.27	12	0.015	0.62

3. 센서 설계 및 구성

초전형 적외선 센서는 물체에서 방사되는 적외선을 흡수함으로써 초전체 후막에 미소한 온도 변화를 유기하고, 그것에 의하여 생기는 자발분극의 변화를 전압 혹은 전하의 형태로 외부에 전달한다. 신호로서 입사한 적외선에 의한 온도 변화 이외에 센서주위의 분위기 온도의 급격한 변화로 초전체 후막에 온도 변화가 일어나 출력을 발생하는 잡음이 발생한다. 또 센서에 사용된 초전체는 초전성과 압전성을 동시에 가지고 있어 센서 외부로부터의 진동이나 적외광 재료를 통하여 일어나는 압력변화에 의하여 초전체 후막에 변형이 발생하여 출력이 일어난다. 이것도 역시 잡음으로 되어 S/N비를 감소시킨다. 이러한 외부잡음을 저감하는 방법으로서 트윈 타입의 보상용 센서를 접속하는 방법이 있다. 본 논문에서는 새로운 전극디자인과 그에 따른 접속방법을 통하여 인체 검지용 초전형 적외선 센서로서 더욱 더 간단한 제조공정과 접속 방법을 적용하였다.

가. 기존의 트윈 타입 초전형 적외선 센서의 접속방법

초전형 센서는 분극의 방향에 따라 발생하는 전압이 역이 된다. 이것을 이용하여 보상용의 센서를 사용하지 않고 분극방향이 서로 다른 2개의 동일형상의 초전체 후막을 동일 패키지 내에 내장하여 접속하고 보상을 할 수 있다. 이 방법에 의하면 2개의 초전체 후막에 동시에 동등한 온도, 압력, 및 진동 등이 가해지면 초전체 후막에 극성이 역으로서 같은 크기의 전압이 발생하고, 서로 상쇄하여 센서로서의 출력이 일어나지 않게 되어 외부잡음을 감소시킬 수 있다.

트윈 타입 초전형 적외선 센서를 접속하는 방법은 2 종류가 있다. 그 중 한 방법의 접속방법이 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 도전성 지지대에 도전성 접착제를 사용하여 초전체 후막이 접착되어 있다. 이 초전체 후막은 중심에서 좌우의 부분이 각각 서로 역의 방향으로 분극되어 있다. 또 초전체의 이면 전면에 바닥전극이 증착되어 있고 표면은 좌우로 분리하여 2개의 상부전극이 증착되어 있다. 각 상부전극에서 리드선이 꺼내져 하나로 결선되어 FET의 게이트에 결선되어 있다. 바닥전극은 도전성 접착제와 도전성 지지대를 통하여 어스에 접속되어 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 2개의 초전체 후막은 서로 분극방향이 역이고 병렬접속 되어 있기 때문에 이 접속 방법은 parallel opposite라 한다.

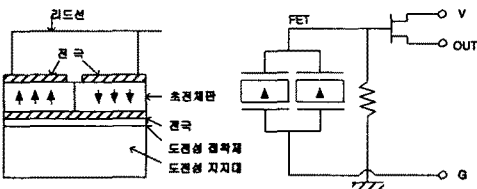


그림 1. 패러렐 오폐지트 접속 방법.
Fig. 1. Parallel opposite contact method.

다른 접속방법의 개략이 그림 2에 나와 있다. 이 초전체 후막은 2개의 초전체 후막이 동일방향으로 분극되어 있고 바닥에는 바닥전극이 증착되고 표면은 중심에서 좌우로 분리되어 상부전극이 증착되어 있다. 각 상부전극에서 리드선을 내어 한쪽은 FET의 게이트에 다른 한쪽은 어스에 접속했다. 그림 2에 등가 회로가 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 2개의 초전체 후막은 서로 분극방향이 역으로서 직렬로 접속되어 있기 때문에 series opposite라 불린다.

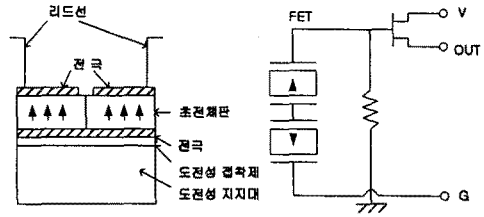


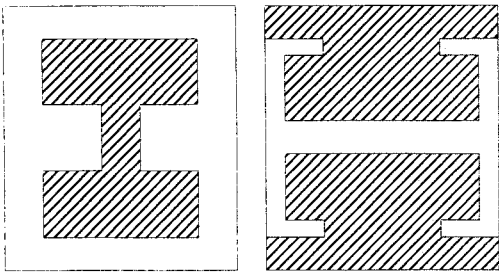
그림 2. 시리즈 오폐지트 접속 방법.
Fig. 2. Series opposite contact method.

나. 새로운 트윈 타입 초전형 적외선 센서의 접속 방법

본 실험에서는 기존의 트윈타입 초전형 적외선 센서보다 구조적으로 간단하며 제작이 손쉬운 새로운 구조를 제안하였다. 기존의 트윈 타입 구조는 실제 2개의 소자를 사용하던 것을 새로운 전극 디자인으로써 하나의 초전체 후막만으로 마치 두 개의 소자가 들어 있는 것과 같은 결과를 나타내는 병렬 구조를 채택하였다. 전극의 구조는 그림 3에 나타난 것과 같다. 이러한 구조에서는 기존의 트윈타입 초전형 적외선 센서와 같이 분극이 서로 다른 두 개의 초전체판이 들어 있는 소자를 병렬로 연결하거나 분극이 서로 같은 소자를 서로 분극이 다른 방향으로 직렬로 연결하는 것과 같은 방법을 사용하지 않고도 인체 감지를 위한 소자로 사용할 수 있게 하였다. 그림 3과 같은 구조에서는 인체와 같은 열체가 이동할 때 방사되는 적외선에 의하여 두 개의 전극 중 한쪽 전극이 먼저 적외선에 반응하기 때문에 인체와 같은 열체의 이동을 감지 할 수 있다. 또한 이러한 새로이 제작된 전극 디자인과 접속방법은 기존의 구조와 접속방법에서처럼 하부전극과 초전체 후막지지대 사이를 도전성 접착제를 사용하는 구조적인 복잡함이 없으며 상부전극에 리드선을 부착해야 하는 접속방법의 어려움이 없다. 이 구조의 등가 회로는 그림 5에 나타나 있다.

4. 실험 및 측정

P(VDF/TrFE) 필름의 두께는 25 μm 였고 제작한 소자의 크기는 가로 \times 세로가 3 mm \times 5 mm 였다. 필름에 상부 및 바닥 전극 형성을 위하여 먼저 두께가 50 μm 의 폴리브덴판을 소자제조용 마스크로 제작하였다. 그림 4은 마스크 제작 공정을 나타내었다.



(a) (b)

그림 3. 상부전극(a)과 바닥전극(b)의 레이아웃.

Fig. 3. Layout of top electrode (a) and bottom electrode (b).

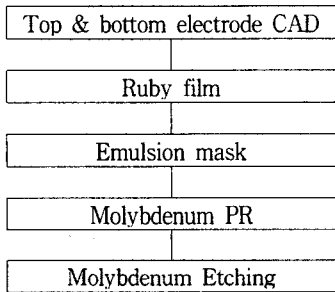


그림 4. 마스크 제작 공정도.

Fig. 4. Fabrication process of the mask.

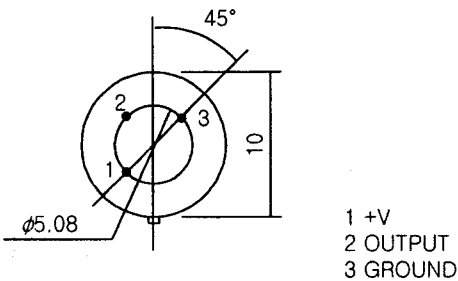


그림 5. 등가회로 및 하우징 리드선 구성도.

Fig. 5. A equivalent circuit and housing lead configuration.

감지영역은 가로 2.0 mm, 폭 1.0 mm 그리고 1.0 mm의 간격으로 연결된 구조로 디자인을 하였다. 상부전극과 바닥전극은 알루미늄을 1000 Å의 두께로 진공 증착하였다. 제작된 소자의 등가회로 및 TO-5의 하우징의 리드선은 그림 5에 나타냈다. 실험과 측정에 사용된 센서는 주위의 다른 잡음이나 간섭으로부터의 신호를 차폐하기 위하여 TO-5 하우징한 상태이다. 제작된 초전형 적외선 센서의 신호출력을 측정하는 장비는 그림 6에서 보는 바와 같으며 표 2에서 기재된 환경과 조건에서 측정되었다. 측정시에는 그림 6에서 보는 바와 같이 두 상부전극 중 한 개에 대하여 적외선을 차단한 후 측정을 하였다. 여기서 두 상부전극중 한 개의 전극에 대하여 적외선을 차단하고 측정하는 이유는, 센서의 구조에서 설명한 바와 같이, 본 실험에서 제작된 소자의 경우 외부 잡음 및 압전효과의 제거뿐만 아니라 적외선이 각각의 전극에 동일하게 조사될 경우 각각의 소자에 유기되는 초전전압의 절대치가 서로 같아 압전 효과에 의한 것과 마찬가지로 상쇄되기 때문이다. 센서의 잡음 출력은 그림 7에서와 같은 구성에서 측정되었으며 측정 환경과 조건은 표 3에 나타나있다.

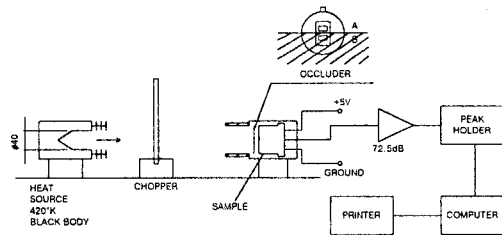


그림 6. 신호출력 측정 장비 개략도.

Fig. 6. Schematic diagram of signal output measurement equipment.

표 2. 출력신호 측정조건 및 환경

Table 2. Signal output measuring conditions

Ambient Temperature	25 °C
Black Body Temperature	420 °K
Aperature of Black Body	∅40
Emission of Infrared Energy	13 μW/cm ²
Chopping Frequency	1.0 Hz

표 3. 잡음 측정 조건

Table 3. Noise output measuring conditions

Abmient Temperature	25 °C
Amp. Gain	72.5 dB(1Hz)
3 dB Bandwidth	0.4~4.5 Hz
Stabilization Time	3 Minutes
Measuring Time	20 Seconds

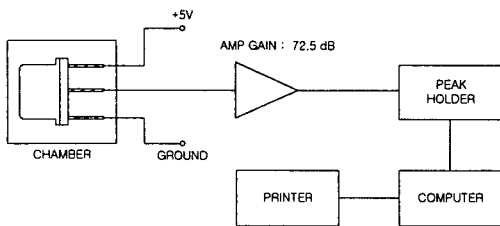


그림 7. 잡음 출력 측정장비 개략도.

Fig. 7. Schematic diagram of noise measurement equipment.

5. 결과 및 고찰

본 실험에서는 압력센서나 마이크 그 밖의 압전효과를 이용하는 센서로서 사용되는 P(VDF/TrFE) 중합체 필름을 사용하여 적외선을 검출하기 위한 센서를 제작하였다. 초전형 적외선 센서로의 적용가능성을 알아보기 위해 분극처리된 25 μm 두께의 P(VDF/TrFE) 필름을 사용하였다. 초전체 후막에 상부전극과 바닥전극을 새로이 디자인하고 새로운 접속방법을 적용하여 실제 하나의 초전체 후막에 마치 두 개의 소자가 들어 있는 것과 같은 결과를 나타내는 병렬 구조를 채택하였다. 이러한 방법으로 기존의 인체 검지용 트윈타입 초전형 적외선 센서와 같이 분극의 방향이 서로 다른 소자를 병렬로 연결하는 병렬접속 혹은 분극이 서로 같은 소자를 서로 다른 방향으로 직렬로 연결하는 직렬연결 등의 접속방법을 사용하지 않을 수 있었다. 제작된 소자는 FET와 저항에 연결된 TO-5 하우징에 장착하여 이것의 출력과 잡음을 측정하였으며 인체 검지용으로 사용하기 위하여 5.5 ~ 14 μm 의 적외선 필터가 부착된 TO-5에 하우징 하였다. 또한 제작된 소자는 적외선 원 $13 \times 10^{-6} \text{ W/cm}^2$ 과 초평주파수 1Hz 에 대해 $9.62 \times 10^5 \text{ V/W}$ 의 높은 전압감도를 나타내었으며 NEP

(Noise Equivalent Power) 는 $3.95 \times 10^{-7} \text{ W}$, 그리고 specific detectivity D^* 는 $5.06 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{W}$ 를 각각 나타내었다. P(VDF/TrFE) 중합체 필름을 사용한 초전형 적외선 센서는 잡음이 다소 높게 나타났으나 저가격과 비교적 간단한 공정상의 이점이 있다. 또한 낮은 열확산 계수라는 특성을 이용하여 앞으로 인체 검지용 적외선 센서 및 고해상도의 매트릭스 적외선 센서의 제작에 적용 가능하리라 생각한다.

참고문헌

- [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, C. S. Tang, "An integrated pyroelectric infrared sensor with a PZT thin film", Sensors and Actuators A. 65, pp. 171- 174, 1998.
- [4] W. Ruppel, "Pyroelectric sensor arrays on silicon", Sensors and Actuators A. 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. 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. 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] 김진식, "센서용 PVDF의 유전, 초전 및 압전특성에 관한 연구", 인하대학교 대학원 항공공학과 박사학위 청구논문, 1992.

[9] 김영일, 노용래, "PLT 박편을 이용한 초전형 적외선 센서의 제작", 센서학회지 제 5권 제 1호, pp. 1-8, 1996.

[10] 김영일, 노용래, 최시영, "PLT 박편을 이용한 압전특성이 보상된 초전형 적외선 센서의 제작", 센서학회지 제 6권 제 1호, pp. 1-5, 1997.

著 者 紹 介



권성렬

1968년 8월 10일 생
 1990년 수원대학교 전자재료공학과 졸업(공학학사)
 1993년 경북대학교 산업대학원 전자재료 전공 졸업(공학석사)
 1995년 3월-현재 : 경북대학교 대

학원 센서공학과 재학

주 관심분야 : 적외선 센서, 강유전체박막

김기완

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-01, p.8 참조
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수