

PZT 순수박막과 PZT/PT 교차박막의 적외선 감지 특성 비교

고종수[†] · 곽병만^{*}

(2001년 4월 30일 접수, 2002년 3월 20일 심사완료)

Pyroelectric Performance Evaluation of Pure PZT and Alternately Deposited PZT/PT Thin Films

Jong Soo Ko and Byung Man Kwak

Key Words: PZT Thin Film(PZT 순수박막), Alternately Deposited PZT/PT Thin Film(PZT/PT 교차박막), Sol-Gel Method(졸겔법), Infrared Detector(적외선 감지소자), Silicon Micromachining(실리콘 미세가공기술)

Abstract

To improve the performance of the PZT thin films, each PZT and PT layer was alternately deposited on a Pt/Ti/Si₃N₄/SiO₂/Si substrate by a modified sol-gel solid precursor technique. For comparison, PZT thin films were also prepared with an identical method under the same conditions. XRD measurement revealed that the diffraction pattern of the multilayer film was due to the superimposition of the PZT and PT patterns. At 1kHz, a dielectric constant of 389 and 558, a dielectric loss of 1.2% and 1.1% were obtained for the PZT/PT and PZT thin films, respectively. If we consider the PT dielectric constant to be 260, it is clear that the dielectric constant of alternately deposited PZT/PT thin films was well adjusted. The PZT/PT thin film showed a low dielectric constant and a similar dielectric loss compared with those of the PZT film. The figures of merit on detectivity for the PZT/PT and PZT thin films were $20.3 \times 10^{-6} \text{Pa}^{-1/2}$, and $18.7 \times 10^{-6} \text{Pa}^{-1/2}$, and the figures of merit on voltage response were $0.038 \text{m}^2/\text{C}$ and $0.028 \text{m}^2/\text{C}$, respectively. The high figures of merit for the PZT/PT film were ascribed to its relatively low dielectric constant when compared to the PZT thin films.

1. 서론

PZT 박막은 강유전성, 압전성, 초전성을 갖는 재료로서 다양한 분야에서 광범위하게 연구되고 있으며, 특히 가열전기특성을 이용한 적외선 감지소자의 개발에 있어서 핵심재료로 평가받고 있다. PZT 박막 제작시 가장 일반적으로 사용되는 졸겔법은 비교적 단순한 공정에도 불구하고 고품질의 박막을 얻을 수 있다는 장점 때문에 많은

관심을 받고 있다.⁽¹⁾ 적외선 감지소자에 사용될 PZT 박막의 성능은, 세 가지 성능지수 F_i , F_v , F_D 에 의해 평가된다.⁽²⁾

고성능의 적외선 감지소자 개발을 위해서는 일차적으로 재료상수와 관련된 성능지수가 높아야 한다. 재료상수 중에서 중요한 것으로 유전상수와 유전손실을 들 수 있다. 성능지수를 높이기 위한 방안으로, PZT 박막의 마이크로 입자구조를 조절하여 유전손실을 줄이기도 한다. 유전상수를 낮춤으로써, F_v 및 F_D 와 같은 성능지수를 높일 수 있다. 하지만 낮은 유전상수는 적외선 감지소자의 성능지수를 높이는 데는 유리할 지 모르나, 일반적으로 2차원 배열형의 적외선 소자에는 적합하지가 않다. 2차원 배열에서는 단위소자의 크기가 크게 줄어들기 때문에 각 소자의 정전

[†] 책임저자, 회원, 한국전자통신연구원 원천기술연구소
E-mail : mems@etri.re.kr

TEL : (042)860-5742 FAX : (042)860-3683

^{*} 회원, 한국과학기술원 기계공학과

용량이 매우 작아지게 된다. 그로 인하여 신호 처리를 담당하는 회로부의 입력 정전용량과의 임피던스 매칭에 문제가 생긴다. 성능지수를 높이기 위해서는 낮은 유전상수가 유리하지만, 임피던스 매칭을 위해서는 어느 정도 높은 유전상수가 필요하다. 이렇듯 유전상수를 사이에 두고 성능지수와 임피던스 매칭은 양립하기 힘든 상충관계에 있으므로, 단위소자의 크기에 따라 유전상수를 적절히 조절할 필요가 있다.

PZT 계열의 박막 중에서, Zr:Ti 비율이 30:70일 때 가열전기특성이 가장 뛰어나며, 이 때의 유전상수는 550 정도이다.⁽³⁾ 반면, PT 박막의 유전상수는 260 정도이므로 성능지수를 높이기에는 유리하지만, 단위 적외선 감지소자의 크기가 수십 마이크로 단위로 작아지게 되면 임피던스 매칭에 문제가 생긴다.⁽⁴⁾ 이러한 PZT와 PT의 장점을 살리기 위하여, PZT와 PT 단위박막을 번갈아 가면서 쌓아올린, 이른바 PZT/PT 교차박막을 제안 및 제작하고자 한다. 이러한 PZT/PT 교차박막은 효과적으로 유전상수를 조절할 수 있다는 큰 이점이 있다. 본 논문에서는 이러한 PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막의 제작공정 및 두 박막의 성능비교 결과, 그리고 실제 적외선 감지소자에의 응용가능성에 관하여 논의한다.

2. PZT/PT 및 PZT 박막의 제작과 이를 응용한 적외선 감지소자의 제작

2.1 PZT/PT 교차박막 및 PZT 순수박막의 제작

PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막 제작을 위해, 먼저 PZT/PT 및 PZT 정제분말을 제작한 후 필요에 따라 이 분말을 용매에 섞어 쓰는, 이른바 변형된 졸겔법을 사용하였다. PZT 순수박막에 적용된 Zr:Ti 비율은 30:70 이었으며, PT 박막에서는 Pb:Ti=100:100 이었다. PZT 분말을 제조하기 위한 전체공정은 Fig. 1에서와 같으며, PT 분말 제조공정은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 코팅용액을 준비하기 위하여, 20wt%의 PZT 및 PT 분말을 용매인 2-Methoxyethanol에 각각 첨가한 후, 분말을 완전용해 시키기 위해 120°C의 핫플레이트에서 약 30분 동안 스테어링 및 가열하였다. 이렇게 제조된 용액을 0.1µm 테프론 필터를 끼운 주사기를 이용하여 잔여 불순물을 거른 다음, 용

액을 안정화시키기 위하여 밀봉한 상태로 24시간 상온에서 보관한 후 사용하였다.

PZT/PT 교차박막 및 PZT 순수박막을 제작할 기관으로, 위로부터 Pt/Ti/Si₃N₄/ SiO₂ 층이 각각 100nm/50nm/200nm/500nm의 두께로 입혀진, 양면 가공된 450µm 두께의 n-형 (100) 결정방향의 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 다층의 PZT/PT 교차박막 제작을 위해 PZT와 PT 층이 서로 교차하면서 5회씩 코팅 및 건조한 후, 마지막으로 PZT 층을 한번 더 코팅하여, 전체적으로 11회의 코팅 및 건조작업을 수행하였다. 한편, PZT 순수박막 제작을 위하여서는 11회의 PZT 층을 연속으로 코팅 및 건조하였으며, 각 공정별 코팅, 건조 및 열처리 조건은 PZT/PT 교차박막과 같았다. 열처리까지 끝난 두 가지 박막의 두께는 약 550nm로 비슷하였으며, 측정을 위하여 Filmetrics F-20 박막 두께 측정 시스템(Filmetrics F-20)을 사용하였다.

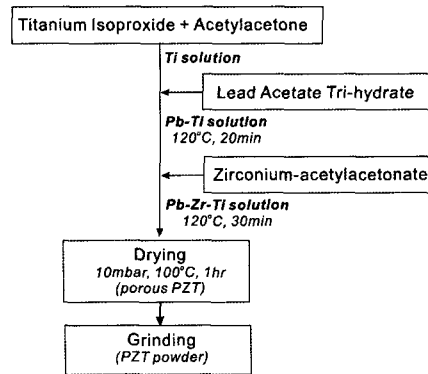


Fig. 1 Flow diagram for PZT powder preparation

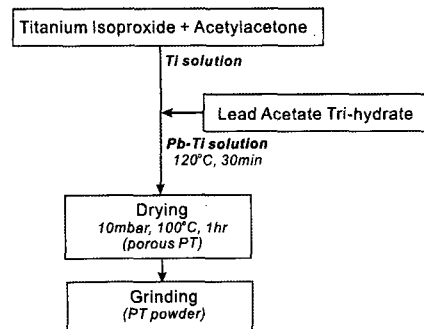


Fig. 2 Flow diagram for PT powder preparation

본 실험에서 사용한 박막제작에 관한 전과정을 간단히 요약하면 Fig. 3과 같으며, 자세한 공정별 수행내역은 다음과 같다.

(1) 기판 표면에 잔존하는 이물질 제거와 예열 처리를 위하여 기판을 600 °C의 오븐에서 10분간 열처리한다.

(2) 코팅용액을 피펫을 이용하여 기판 위에 고르게 떨어뜨린 후, 스피코터를 이용하여 3000rpm의 회전속도로 30초 동안 스피닝한다.

(3) 매회 스피코팅 후, 졸 상태의 박막을 400 °C의 핫플레이트에서 2분 동안 건조한다.

(4) 11회 코팅 및 건조과정을 거친 PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막의 결정화를 위하여, O₂:N₂=20:80 비율로 흐르는 튜브로(600 °C)에서 30분 동안 열처리한다.

2.2 2차원 배열형 적외선 감지소자의 제작

PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막의 응용을 위한 초전 성능특성을 확인하기 위하여, 2차원 배열형의 적외선 감지소자를 고안한 후, 실리콘 미세가공기법으로 제작하였다. 본 연구에서 고안한 2×8 배열 적외선 감지소자의 정면 및 단면도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 감지부 자체의 열질량 및 입사된 적외선 에너지의 전도에 의한 열손실을 최소화하기 위하여, 감지부 뒷면의 실리콘을 식각한다.^(5,6)

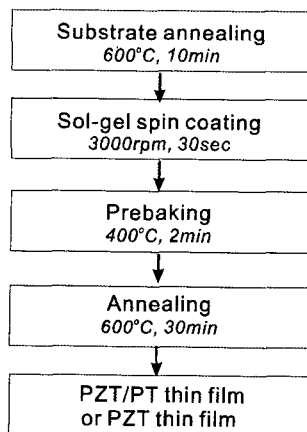


Fig. 3 Flow diagram for alternately deposited PZT/PT and pure PZT thin films preparation

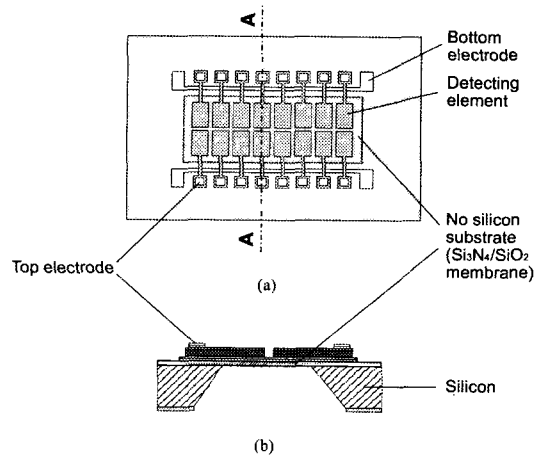


Fig. 4 Schematic top and cross sectional views of a 2-D array infrared detector: (a) Top view; (b) Cross sectional view along A-A

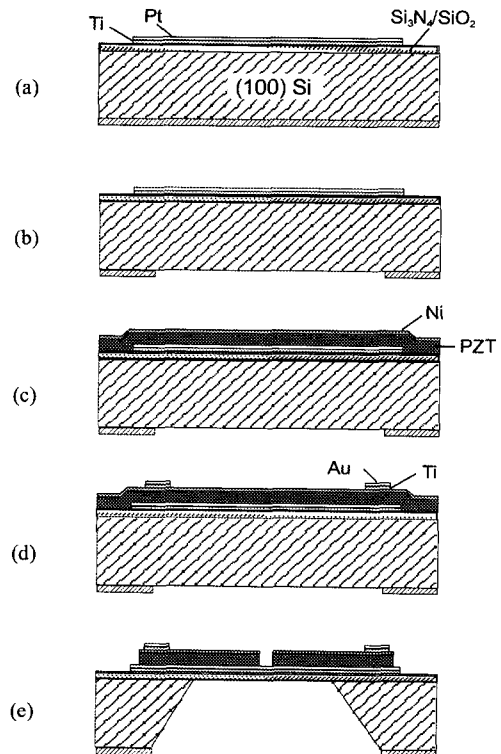


Fig. 5 Fabrication process of a 2-D array infrared detector: (a) Pt/Ti bottom electrode patterning; (b) Backside etch-window patterning; (c) Ni/PZT deposition; (d) Au/Ti wire bonding pads formation; (e) Silicon etching

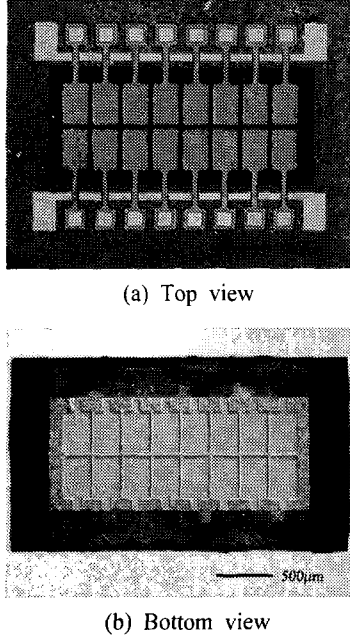


Fig. 6 Fabricated 2-D array infrared detector

전체 제작공정은 Fig. 5에서와 같으며, 각 단계 별 공정수행내용을 정리하면 다음과 같다.

(공정 a) 양면가공된 $450\mu\text{m}$ 두께의 n형 (100) 결정방향의 실리콘웨이퍼의 양면에 $\text{SiO}_2(500\text{nm})$ 와 LPCVD $\text{Si}_3\text{N}_4(200\text{nm})$ 를 증착한다. 그리고 윗면에 스퍼터링 방법으로 $\text{Ti}(50\text{nm})$ 와 $\text{Pt}(100\text{nm})$ 를 연속 증착한 후, 아래전극을 형성할 부분을 제외한 Pt/Ti를 습식식각한다.

(공정 b) 아랫면의 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 층을 부분식각하여, 실리콘 식각창을 만든다.

(공정 c) 졸겔법을 이용하여 PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막을 제작한 후, E-빔 증착장비를 이용하여 10nm 의 Ni를 증착한다.⁽⁷⁾

(공정 d) 리프트오프(Lift-off) 기법을 이용하여 Au(400nm)/Ti(10nm) 와이어본딩 패드를 제작한다.

(공정 e) Ni/PZT를 선택식각한 후, KOH 용액을 이용하여 아랫면의 실리콘을 식각한다.

공정 e를 마친 2차원 배열형 적외선 감지소자의 윗면과 아랫면은 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 16개의 단위소자를 지지하고 있는 700nm 두께의 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 사각 멤브레인 크기는 $2.3 \times 1.0\text{mm}^2$ 이며, 단위소자의 크기는 $240 \times 360\mu\text{m}^2$ 이다.

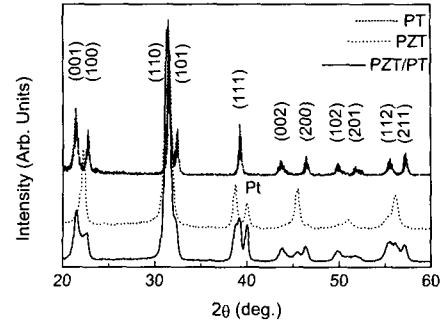


Fig. 7 XRD patterns of PZT/PT, PZT, and PT thin films

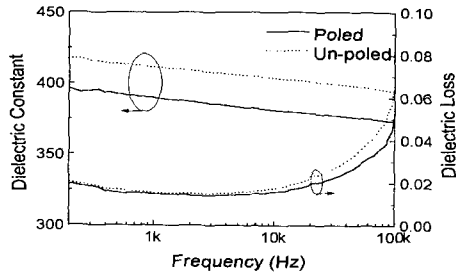
3. PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막의 성능평가

3.1 X선 회절분석

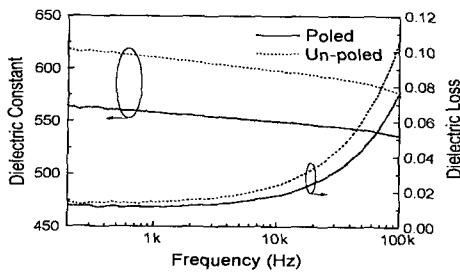
XRD 측정을 위하여 Rigaku사의 D/max-2200 X선 회절분석기를 사용하였으며, PZT/PT 및 PZT 순수박막의 XRD 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다. 측정결과로부터 두 박막 모두 페로브스카이트 구조로 결정화되어 있음을 알 수 있었고, 박막 내의 결정이 여러방향으로 분산되어 있음을 알 수 있다. PZT/PT 교차박막에서는 정방정계 구조가 나타나는데, 이는 PZT 순수박막과 PT 박막 회절 피크의 중첩에 의한 것이다.

3.2 유전특성

분극처리 전과 후에 각각 측정한 PZT/PT 및 PZT 순수박막의 유전상수와 유전손실을 Fig. 8에 나타내었다. 분극처리시 가해진 전압은 400kV/cm 이었으며, 두 박막 모두 분극처리 후 낮은 유전상수와 유전손실을 보였다. 측정결과에서 확인할 수 있듯이 PZT/PT 교차박막이 PZT 순수박막에 비해 훨씬 낮은 유전상수를 가진다. 1kHz 의 주파수에서 유전상수 및 유전손실이 PZT/PT 교차박막의 경우 각각 389와 1.2% 이었으며, PZT 순수박막의 경우 각각 558과 1.1% 이었다.



(a) PZT/PT thin film



(b) PZT thin film

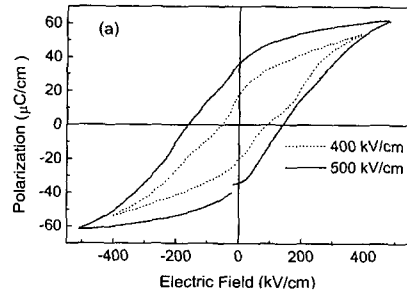
Fig. 8 Dielectric constants and dielectric losses of PZT/PT and PZT thin films

Table 1 Calculated figures of merit and the values of the parameters used

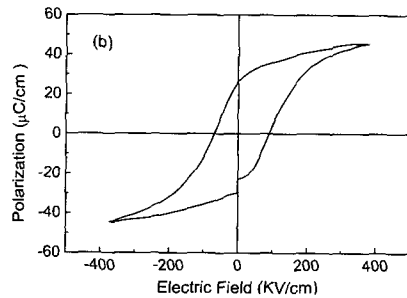
Material	Pyroelectric coefficient, p' ($\mu\text{C}/\text{m}^2\text{K}$)	Dielectric constant, ϵ	Dielectric loss, $\tan \delta$	Volume heat capacity, h ($10^3\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	F_V (m^2/K)	F_D ($10^4\text{Pa}^{-1/2}$)
PZT	400	558	0.011	2.9	0.028	18.7
PZT/PT	380	389	0.012	2.9	0.038	20.3

제작된 PZT 순수박막의 유전상수가 558, M. Kohli 등에 의해 졸겔법으로 제작된 PT 박막의 유전상수가 260이었으므로, PZT와 PT 단위박막을 순차적으로 교차하여 제작한 PZT/PT 교차박막의 유전상수는 558과 260의 중간정도에 해당한다. 이로써 PZT와 PT 단위박막의 교차에 의하여 PZT/PT 교차박막의 유전상수가 상당히 정확하게 조절되었음을 알 수 있다. 이같은 결과는 PZT 및 PT 단위박막의 적층순서와 적층수를 적절히 조절함으로써, 원하는 유전상수를 갖는 PZT/PT 교차박막을 큰 어려움 없이 제작할 수 있다는 것을 말해준다.

유전상수와는 달리, PZT/PT와 PZT 순수박막의 유전손실은 거의 같게 측정되었다. 유전상수 및



(a) PZT/PT thin film



(b) PZT thin film

Fig. 9 P-E hysteresis loops of PZT/PT and PZT thin films

유전손실 측정결과를 근거로 계산한 두 박막의 성능지수 비교에서, PZT/PT 교차박막의 성능지수가 PZT 순수박막보다 높게 나왔으며, 계산된 성능지수는 Table 1에서 보는 바와 같다.

3.3 P-E 이력특성

PZT/PT 및 PZT 순수박막의 P-E 이력특성 측정 결과는 Fig. 9에서 보는 바와 같다. PT의 낮은 유전상수로 인해 PZT/PT 교차박막의 분극처리가 쉽지 않았으며, 이 때문에 낮은 전압에서 분극처리했을 때 박막의 잔류분극값이 다소 감소하는 현상을 볼 수 있었다. PZT/PT 교차박막에 전압을 가할 경우, 외부로부터 공급되는 전기장은 주로 PT 층에서 큰 강하를 일으켜, PZT 층을 분극처리할 유효전기장의 크기가 감소하기 때문으로 추측된다. Fig. 9(a)에서 유효전기장의 감소효과를 확인할 수 있는데, 그 예로 400kV/cm의 전압으로 분극처리한 PZT/PT 교차박막의 P-E 곡선의 중앙부에 나타나는 “홀쭉한 허리” 형상을 들 수 있다. 400kV/cm 보다 높은 전압인 500kV/cm로 분극처리했을 때, 이러한 홀쭉한 허리 형상은

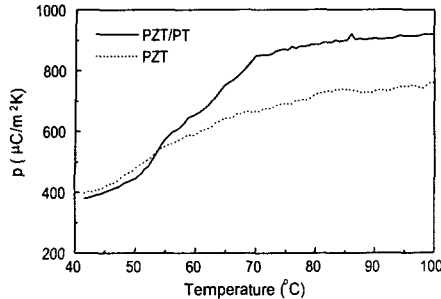


Fig. 10 Pyroelectric coefficients of PZT/PT and PZT thin films

사라지고 Fig. 9(b)의 PZT 순수박막과 같이 P-E 이력곡선이 완전 포화된 정상적인 형태를 보였다.

3.4 가열전기특성

PZT/PT 교차박막 및 PZT 순수박막의 가열전기 계수(pyroelectric coefficient)를 측정하기 위하여, 제작된 소자를 승온시킬 때 박막으로부터 유기되는 전류를 직접적으로 측정하는 Byer-Roundy 측정법을 사용하였다.⁽⁸⁾ 400kV/cm로 분극처리된 PZT/PT 및 PZT 순수박막의 승온에 따른 가열전기계수의 변화는 Fig. 10에서 보는 바와 같다.

실온부근에서 PZT/PT와 PZT 순수박막의 가열전기계수는 각각 380과 400 $\mu\text{C}/\text{m}^2\text{K}$ 로 PZT/PT 교차박막이 다소 낮은 값을 보이지만, 53°C에서부터 PZT/PT 교차박막의 가열전기계수가 오히려 커지기 시작하며 70°C 이상에서는 그 격차가 현격히 벌어진다. 온도증가에 따른 두 박막의 가열전기계수의 역전현상을 현재로서는 정확히 설명하기가 쉽지 않다. 다만 PZT 순수박막이 PZT/PT 교차박막에 비해 분극처리가 더 잘 되어 자발분극과 잔류분극값이 커졌거나, 아니면 상이한 적층계면이 이러한 결과에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 이러한 현상을 일으키는 물리적인 메커니즘을 규명하기 위해서는 새로운 접근이 필요하다.

측정한 유전상수, 유전손실 및 가열전기계수를 이용하여 PZT/PT 및 PZT 순수박막의 성능지수를 구하였으며, 계산에 사용된 상수와 계산된 성능지수를 표 1에 정리하였다. 같은 전압으로 분극처리한 경우, PZT/PT 교차박막의 가열전기계수가 PZT 순수박막의 가열전기계수보다 다소 낮게

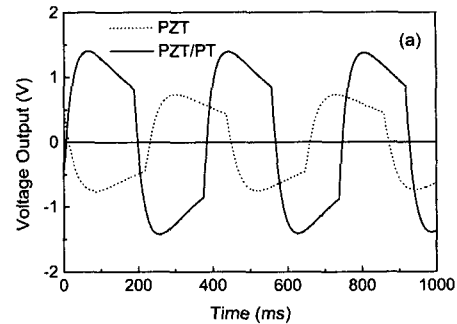


Fig. 11 Voltage responses of PZT/PT and PZT thin films

나왔지만, PZT/PT 교차박막의 유전상수가 PZT 순수박막의 유전상수보다 크게 작은 관계로 PZT/PT 교차박막의 전압응답도에 관한 성능지수 F_V 가 PZT 순수박막에 비해 35% 정도 크게 나왔다.

적외선 감지소자의 응용관점에서는, 다른 어느 성능특성보다 적외선 입사하에서의 동적 가열전기 성능(dynamic pyroelectric response) 특성이 중요하다. 제작된 2차원 배열형 적외선 감지소자의 응용가능성을 확인하기 위하여, 실리콘 미세 가공을 거친 PZT/PT 및 PZT 순수박막 적외선 감지소자의 동적 초전 성능을 측정하였다. 측정을 위하여 632nm 파장의 He-Ne 레이저, 광학렌즈, 단속조사기(chopper), 전압증폭기, 신호분석기를 사용하여 Chynoweth 적외선 감지소자 동특성 측정 시스템을 구성하였다. 단속주파수 5Hz에서의 전압응답 측정결과는 Fig. 11에서 보는 바와 같으며, PZT/PT 및 PZT 순수박막 적외선 감지소자의 전압응답도는 각각 480V/W(peak to peak)와 265V/W(peak to peak)이었다. PZT/PT 교차박막의 가열전기계수가 PZT 순수박막에 비해 낮음에도 불구하고, 낮은 유전상수 때문에 PZT/PT 교차박막 적외선 감지소자의 전압응답도가 PZT 순수박막 적외선 감지소자에 비해 80% 높게 나왔다.

4. 결론

서로 다른 유전상수를 갖는 PZT와 PT 단위박막을 번갈아 가면서 쌓아올린, 이른바 PZT/PT 교차박막과 PZT 순수박막을 제작하여 성능을 측정하였다. 적외선 감지소자로서의 응용목적에 위

해 실리콘 미세가공기술을 이용하여 PZT/PT 교차박막 및 PZT 순수박막 적외선 감지소자를 제작하여 동적 초전 성능특성을 확인하였다. 이러한 박막 제작에의 새로운 접근을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 1kHz의 주파수에서 PZT/PT 및 PZT 순수박막의 유전상수는 각각 389와 558이었으며, 유전손실은 각각 1.2%와 1.1% 이었다. 제작된 PZT 순수박막의 유전상수가 558, PT 박막의 유전상수가 260임을 고려할 때, PZT/PT 교차박막의 유전상수가 상당히 정확하게 조절되었음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 PZT 및 PT 단위박막의 적층순서와 적층수를 적절히 조절함으로써, 원하는 유전상수를 갖는 PZT/PT 다층박막을 제작할 수 있음을 보여준다.

(2) 400kV/cm의 전압으로 분극처리한 PZT/PT 교차박막의 P-E 이력곡선에는 곡선의 중앙부가 안쪽으로 휘어지는 현상이 나타났으며, 이로 인해 잔류분극값이 다소 감소하였다. 이보다 높은 500kV/cm의 전압으로 분극처리 했을 때, 이러한 훌륭한 허리형상은 사라지고 P-E 이력곡선이 완전 포화된 정상적인 형태를 보였다. 낮은 분극전압에서 나타나는 이러한 왜곡현상은, 외부에서 가해지는 전기장이 PT 층에서 큰 강하를 일으키게 되고, 이로 인해 PZT 층을 분극처리할 유효전장장의 크기가 감소하기 때문으로 생각된다.

(3) 실온 부근에서 측정된 PZT/PT와 PZT 순수박막의 가열전기계수는 각각 380과 400 $\mu\text{C}/\text{m}^2\text{K}$ 이었고, 다소 높은 온도인 53°C에서 부터는 PZT/PT 교차박막의 가열전기계수가 PZT 순수박막보다 오히려 커지기 시작하였으며, 70°C 이상에서는 그 격차가 현격히 커진 채로 두 박막 모두 포화된 값을 보였다.

(4) 실온 부근에서 PZT/PT 교차박막의 가열전기계수가 PZT 순수박막의 가열전기계수보다 다소 낮게 나왔지만, PZT/PT 교차박막의 유전상수가 PZT 순수박막의 유전상수보다 크게 작은 관계로 PZT/PT 교차박막의 전압응답도에 관한 성능지수 F_V 가 PZT 순수박막에 비해 35% 정도 높게 나왔다.

(5) 단속주파수 5Hz에서 측정된 PZT/PT 교차박막 및 PZT 순수박막으로 제작한 적외선 감지소자의 전압응답도는 각각 480V/W와 265V/W로, PZT/PT 교차박막 적외선 감지소자의 성능이 8

0% 높게 나왔다. 이같은 결과의 일차적인 기여도 또한 PZT/PT 교차박막의 낮은 유전상수 때문이다. 이러한 우수한 동적 성능특성을 보이는 PZT/PT 교차박막은 고성능의 적외선 감지소자용 재료로 응용될 수 있다.

참고문헌

- (1) 윤대성, 1996, "졸겔 PLZT박막의 상형성과 강유전 및 광도파특성," 박사학위 논문, 한국과학기술원.
- (2) Whatmore R. W., 1986, "Pyroelectric Devices and Materials," *Rep. Prog. Phys.*, Vol. 49, pp. 1335~1386.
- (3) Shorrocks N. M., Patel A., Walker M. J., and Parsons A. D., 1995, "Integrated Thin Film PZT Pyroelectric Detector Arrays," *Microelectronic Engineering*, Vol. 29, pp. 59~66.
- (4) Kohli M., Huang Y., Maeder T., Wuethrich C., Bell A., Muralt P., Setter N., Ryser P., and Forster M., 1995, "Processing and Properties of Thin Film Pyroelectric Devices," *Microelectronic Engineering*, Vol. 29, pp. 93~96.
- (5) Lee D. H., Lee J. S., Cho S. M., Nam H. J., Lee J. H., Choi J. R., Kim K. Y., Kim S. T., and Okuyama M., 1995, "Microstructures and Electrical Properties of (Pb, La)TiO₃ Thin Films Grown on the Pt electrodes with a Percolating Network Structure," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, Part 1, No. 5A, pp. 2453~2458.
- (6) 고종수, Liu. W., Zhu W., 2001, "실리콘 기판 두께에 따른 PZT 박막 적외선 감지소자의 성능 변화," 전자공학회지, 제 38 권, SD편, 제 11호, pp. 17~26.
- (7) Liu W. G., Ko J. S., and Zhu W., 2000, "Influences of Thin Ni Layer on the Electrical and Absorption Properties of PZT Thin Film Pyroelectric IR Sensors," *J. Infrared Physics & Technology*, Vol. 41, pp. 169~173.
- (8) Shantha K. and Varma K. B. R., 2000, "Characterization of Fine-Grained Bismuth Vanadate Ceramics Obtained Using Nanosized Powders," *American Ceramic Society*, Vol. 83, No. 5, pp. 1122~1128.