

PZT 박막의 압전 특성 및 MEMS 기술로 제작된 PZT cantilever의 전기기계적 물성 평가

Piezoelectric and electromechanical properties of PZT films and PZT microcantilever

이정훈, 황교선, 윤기현, 김태송*

(Jeong-hoon Lee, Kyo-seon Hwang, Ki-hyun Yoon, Tae-song Kim*)

Abstract

Thickness dependence of crystallographic orientation of diol based sol-gel derived PZT(52/48) films on dielectric and piezoelectric properties was investigated. The thickness of each layer by one time spinning was about $0.2 \mu\text{m}$, and crack-free films was successfully deposited on 4 inches Pt/Ti/SiO₂/Si substrates by 0.5 mol solutions in the range from $0.2 \mu\text{m}$ to $3.8 \mu\text{m}$. Excellent P-E hysteresis curves were achieved without pores or any defects between interlayers. As the thickness increased, the (111) preferred orientation disappeared from $1 \mu\text{m}$ to $3 \mu\text{m}$ region, and the orientation of films became random above $3 \mu\text{m}$. Dielectric constants and longitudinal piezoelectric coefficient, d_{33} , measured by pneumatic method were saturated around the value of about 1400 and 300 pC/N respectively above the thickness of $0.8 \mu\text{m}$. A micromachined piezoelectric cantilever have been fabricated using $0.8 \mu\text{m}$ thickness PZT (52/48) films. PZT films were prepared on Si/SiN_x/SiO₂/Ta/Pt substrate and fabricated unimorph cantilever consist of a $0.8 \mu\text{m}$ thick PZT layer on a SiN_x elastic supporting layer, which becomes vibration when ac voltage is applied to the piezoelectric layer. The dielectric constant (at 100 kHz) and remanent polarization of PZT films were 1050 and $25 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, respectively. Electromechanical characteristics of the micromachined PZT cantilever in air with 200-600 μm lengths are discussed in this presentation.

Key Words : piezoelectric, cantilever, electromechanical, PZT, sol-gel

1. 서론¹⁾

최근들어 압전 특성을 갖는 재료의 압전/역압전 및 공진 특성을 이용한 소자 및 박막의 특성에 관한 연구가 활발히 진행중이며, 특히 MEMS (Micro electro mechanical systems) 공정을 이용한 설계 및 소자 제작에 대한 관심이 높아지고 있다.[1] 이러한 압전 물질을 이용한 MEMS 소자의

경우 높은 에너지 밀도, 우수한 토크 및 힘을 얻어 낼 수 있는 이외에 응답속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다.[2] 따라서 높은 압전 상수를 갖는 PZT 물질의 경우 ZnO 등의 압전 물질을 사용한 소자의 경우에 비해 수배 이상의 큰 압전 상수를 가지므로 작은 크기에도 불구하고 높은 변위값을 갖는 캔틸레버의 제작이 가능하다.[3] 본 연구에서는 PZT 액츄에이터의 제작 공정에 있어서의 최적화된 막두께 및 압전 특성의 관계를 고찰하기 위해 한번에 두꺼운 PZT 막증착이 가능한 diol 용매를 사용한 PZT(52/48) 막의 두께에 대한 압전 및 전기적 특성을 고찰하였으며, 이러한 결과로부터 제작된 마이크로 캔틸레버의 크기 및 형상에 따른

* :한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터
(서울시 성북구 하월곡동 39-1)
Fax: 02-958-5564
E-mail : tskim@kist.re.kr

공진 및 변위를 레이저 미소 변위 측정기인 LDV(Laser doppler vibrometer)를 이용하여 측정하였다.

2. 실험

2.1 PZT solution 제작 및 박막 특성 분석

PZT Solution 제작을 위해 lead acetate trihydrate와 1,3 propandiol을 혼합한 후 zirconium propoxide와 titanium isopropoxide 그리고 acetylacetone을 IPA용액에 녹인 용액과 다시 혼합하여 reflux 및 증류(distillation) 과정을 거쳤으며, 이러한 과정을 통해 0.5 M 농도의 솔루션을 제작하였다. 제작한 솔루션을 이용하여 Si/SiO₂/Ti/Pt기판 위에 spin coating 및 중간 열처리를 통해 PZT(52/48)박막 제작하였으며, 중간 열처리 과정을 거쳐 650℃에서 15분간 최종 열처리를 시행하였다. 박막의 특성 분석을 위해 XRD (RIGAKU X-Ray deffractometer, Japan)를 이용하여 상분석을 행하였으며, 유전 상수 및 유전손실 값은 상온에서 100 kHz의 주파수에서 impedance analyzer (HP-4192 LF Impedance Analyzer)를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서 정압전계수 (d_{33})의 측정은 정압전 측정법의 하나인 pneumatic 법에 의해 측정하였으며, 측정을 위해 135 ℃ 에서 150 kV/cm 의 전계를 15 분간 가하여 polling 과정을 시행하였다.

2.2 MEMS 공정에 의한 PZT 마이크로 캔틸레버의 제작 및 분석

PZT 마이크로 캔틸레버의 제작을 위해 막증착 및 식각 공정을 거치게 된다. 우선 1.5 μm의 두께를 갖는 low stress SiN_x를 LPCVD 공정을 이용해 증착한 후 2000 Å의 두께를 갖는 SiO₂를 PECVD 장비를 이용해 증착하였다. PZT capacitor를 위한 하부 전극을 DC sputtering법을 사용하여 Ta/Pt (300/1500 Å)를 증착한 후, 솔젤법을 이용하여 PZT를 스핀 코팅하여 0.8 μm 증착하였다. MFM(metal-ferroelectric-metal)구조를 위한 상부 전극을 마찬가지로 DC sputtering 법을 이용하여 1000Å 증착하였다. 증착된 막은 RIE(reactive ion etching) 식각공정을 이용한 Pt 전극 및 SiN_x window 패터닝, wet chemical etching을 이용한 실리콘 벌크 식각, ICP를 이용한 PZT 식각, 그리고 evaporator 및 lift-off 공정을 이용한 Au/Cr

electrical PAD 증착 공정을 통해 마이크로 캔틸레버로 제작되었다. 제작된 마이크로 캔틸레버의 측면 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

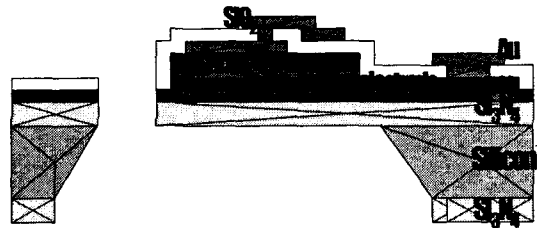


그림 1. PZT 마이크로 캔틸레버의 단면 모식도.
Fig. 1. Schematic side-view of PZT micro cantilever.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에 두께가 증가함에 따른 XRD 회절 패턴로부터의 우선 배향성을 나타내는 α_{hkl} 값을 각각 나타내었다. 두께가 증가함에 따라 α_{111} 값은 1 μm 이상의 영역으로부터 3 μm 영역까지 급격히 감소하다가 그 이상의 두께에서 일정한 값으로 수렴함을 확인할 수 있었다. 반면 α_{110} 값은 1 μm 이상의 영역으로부터 3 μm 영역까지 급격히 증가하다가 그 이상의 두께에서 일정한 값으로 수렴함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 실험에서의 박막의 성장 시 기판의 영향이 미치는 두께는 1 μm 에서 3 μm의 영역임을 확인할 수 있었으며, 1 μm 이상의 두께에서 일정한 우선배향을 유지하는 박막의 특성이 사라지기 시작하여 3 μm 이상의 두께에서는 벌크 재료와 유사한 미세구조를 가짐을 확인할 수 있었다. 이러한 XRD결과로부터의 우선배향성 (preferred orientation)의 변화는 유전 특성 및 압전 특성에 영향을 미치게 됨을 확인할 수 있었다. Fig. 3에 두께의 증가에 따른 유전상수 및 유전손실을 나타내었다. 100 kHz의 주파수에서 측정하였으며, 유전상수 값은 Sigmoidal 함수로 fitting 하였다. 우선배향성의 결과와 유사하게 유전상수값은 기판의 영향이 사라지는 영역인 1μm 두께 영역까지 급격히 증가하였으며, 1μm이상의 영역에서는 증가 정도가 감소하여 1400정도의 값으로 수렴하였다. 유전손실 값은 막의 두께가 증가함에 따라 큰 변화가 관찰되지 않았으며, 0.03정도의 값을 나타내었다.

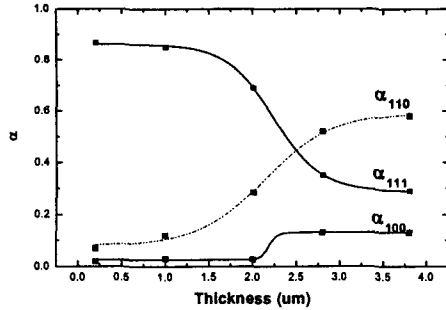


그림 2. PZT 박막의 두께에 따른 XRD peak height ratio (α_{hkl}) 변화.

Fig. 2. XRD peak height ratio (α_{hkl}) of PZT films fabricated by 0.5 M solutions as a function of thickness.

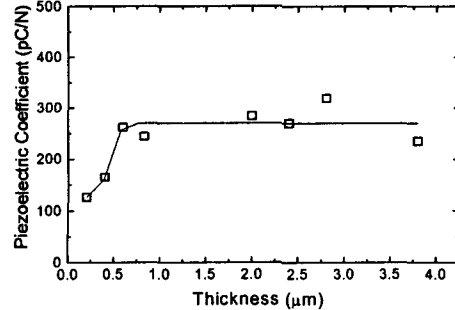


그림 4. PZT 박막의 두께에 따른 종압전계수(d_{33}) 값의 변화.

Fig. 4. Effective longitudinal piezoelectric coefficient, d_{33} , of PZT (52/48) by pneumatic method plotted as a function of thickness.

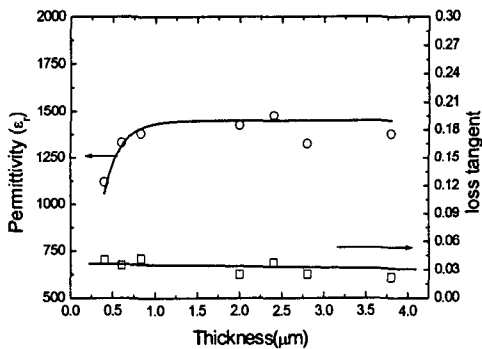


그림 3. PZT 박막의 두께에 따른 유전상수 및 유전손실 값의 변화.

Fig. 3. Dielectric constant and loss tangent of PZT(52/48) as a function of thickness.

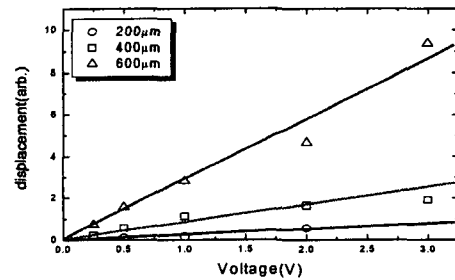
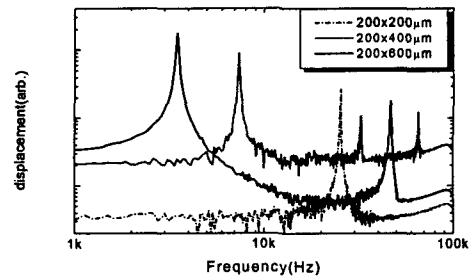


Fig. 4에 pneumatic 방법에 의해 측정된 두께에 따른 effective longitudinal piezoelectric coefficient를 나타내었다. 우선 배향성 및 유전상수 결과와 유사하게 급격히 증가하다가 0.8 μm 이상의 두께에서 300 pC/N 정도의 값에 수렴함을 알 수 있다. 이러한 물성의 박막을 이용하여 제작한 마이크로 캔틸레버를 이용하여 전기기계적 물성의 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5 (a)에 폭이 200 μm 이며 길이가 각각 200, 400, 600 μm 인 캔틸레버의 0.25 V의 사인 파형을 통한 공진시킨 결과를 나타내었다. 첫

그림 5. (a) 200 μm 의 폭을 갖는 마이크로 캔틸레버의 기계적 공진 특성 및 (b) 고정 주파수 1kHz에서 인가 전압에 따른 변위량의 변화 곡선.

Fig. 5. (a) Primary resonance frequency characteristics of 200 μm width cantilever and (b) displacement as a function of applied voltage at 1kHz.

번째 공진이 각각 23.88, 7.38, 3.5kHz이었으며 길이가 증가함에 따라 l^{-2} 에 비례하는 공진 특성을 얻을 수 있었다. Fig. 5 (b)는 공진 주파수가 아닌 1 kHz에서의 인가전압에 따른 변위량을 구한 데이터이다. 변위량의 경우 인가 전압에 비례하여 증가함을 볼 수 있었으며, $V_{p-p}=2$ V 인가시 각각 1.56, 2.8, 4.68 μm 의 변위값을 가졌다.

4. 결론

MEMS 소자에의 응용을 위한 PZT(52/48) 박막을 diol을 용매로 한 솔젤법에 의해 제조하였으며 1회 코팅 시 0.2 μm 의 균열 없는 박막을 얻을 수 있었다. XRD 분석으로부터 우선배향성을 알아본 결과 (111) 우선배향성이 1 μm 영역까지 우세하다가 1 μm 이상의 두께에서 점차 random하게 바뀌는 것을 확인할 수 있었으며, 유전 및 압전 특성의 경향도 이와 유사하게 0.8 - 1 μm 영역까지 증가하다가 그 이상의 두께에서는 수렴하여 각각 1400, 300 pC/N 정도의 우수한 값을 가졌다. 위의 결과로부터 제작된 PZT 박막을 이용한 마이크로 캔틸레버의 경우 200 μm 의 폭을 갖는 캔틸레버의 길이비에 따른 공진 주파수가 캔틸레버 길이 l^{-2} 에 비례함을 확인할 수 있었으며, 200x600 μm 의 캔틸레버의 경우 1 kHz에서 $V_{p-p}=2$ V 전압 인가 시 4.68 μm 의 변위량을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 지능형마이크로시스템개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 (과제협약번호 MS-01-133-01) 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Kevin Y. Yasumura, Timothy D. Stowe, Eugene M. Chow and Daniel Rugar, "Quality factors in micron- and submicron-thick cantilever", J. of MEMS, **9**, 117-125 (2000).
- [2] P. Luginbuhl, G. -A. Racine, P. Lerch, B. Romanowicz, K. G. Brooks, N. F. D. Rooij, P. Renaud and N. Setter, "Piezoelectric cantilever beams actuated by PZT sol-gel film", Sens. Actuators A, **54**, 530-535

(1996).

- [3] S. Wakabayashi, M. Sakata, H. Goto, M. Takeuchi and T. Yada, "Static characteristics of piezoelectric thin film buckling actuator", Jpn. J. Appl. Phys., **35**, 5012-5014 (1996)