

# RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착한 두께에 따른 PZT 박막의 강유전 특성에 관한 연구

이태용, 박 영\*, 송준태\*\*

Thickness dependence of the piezoelectric characteristic for PZT films using by rf magnetron sputtering

Tae-Yong Lee, Young Park\*, Joon-Tae Song\*\*

## Abstract

The lead zirconate titanate,  $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ , films of 0.5  $\mu m$ , 1  $\mu m$  and 2  $\mu m$  thickness were fabricated on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si substrate by the rf magnetron sputtering method. The PZT films were annealed using by a rapid thermal annealing (RTA) method. The thickness dependence of the film structure, dielectric properties, Polarization-electric field hysteresis loops and capacitance-voltage characteristics were investigated over the thickness range of 0.5  $\mu m$ , 1  $\mu m$  and 2  $\mu m$ . According to the XRD patterns of the films, (110) peak intensity increases with film thickness increased. The increase of PZT films thickness leads to the decrease of the remanent polarization and the dielectric constant.

Key Words : PZT thickness, RTA, rf magnetron sputtering, XRD, C-V

## 1. 서 론

최근 급속한 정보화 사회의 진보에 따라 각종 통신기기 및 휴대용 컴퓨터에서는 고집적화, 소형화, 저전력화에 부응할 소자 요구가 증대되어가고 있으며, IC 집적화 기술과 연계하여 메모리소자, 공진기, 압전 액추에이터 및 센서로서의 압전 MEMS 소자로 응용되어지는 연구가 활발히 진행되어지고 있다.[1-3] 특히 액추에이터 소자로서 응용이 광범위한 PZT박막은 압전현상이 우수한 박막이다. 이러한 박막응용에 있어 집적화 기술과 접목할 때에는 박막의 전기적 특성이 소자에 직접적으로 관여

를 한다. 특히 PZT는 Pb조성비, 열처리 온도, 가스비, 물성등의 변수에 따른 전기적 특성이 현저히 차이를 보인다.[4,5] 따라서 PZT 박막을 액추에이터에 이용 할 경우 박막의 전기적 특성평가는 필수적으로 수반되어야 한다. 양질의 PZT 박막을 증착시키기 위한 방법이 다양하게 연구되고 있는 가운데 스퍼터링법은 단일 타겟으로 양질의 박막을 증착하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 그러나 압전 액추에이터로 응용되어질 PZT 박막을 두께를 마이크로미터 단위로 증착하는 기술은 상당한 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 액추에이터에 응용할 PZT 박막을 마이크로미터의 두께로 스퍼터링법으로 thick films을 성장하였고, 그 두께에 따른 전기

적 특성을 평가하였다. 이들 결정화 및 입자의 특성을 고찰하기 위하여 XRD, SEM을 사용하였고, 두께에 따른 C-V, P-E 특성을 평가하였다.

## 2. 실험

본 연구에서 PZT 박막의 하부전극 성장에 사용된 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템(Vacuum Science)은 RF 주파수가 13.56 MHz이고 15~400 W의 출력을 가지고 있다. 챔버내 불순물에 의한 박막의 오염을 최소한으로 줄이기 위해 초기진공을  $5 \times 10^{-6}$  torr 이상의 진공도를 유지하였다. 기판은 아세톤, 메틸알콜, 증류수 속에서 각각 10분간 초음파 세척하는 organic cleaning 법으로 세척한 후에 질소가스로 수분을 제거하였다. 하부전극 박막은 Pt/Ti를 사용하여 증착하였다. PZT 타겟은 Zr/Ti mole 비가 52/48인 단일 세라믹 타겟(순도 99.9% Super - conductive company)을 사용하였으며, 고온성장시 발생하는 Pb 휘발을 보상하기 위하여 5 mole%의 Pb를 excess로 첨가 하였다. PZT 박막의 열처리에는 할로겐 램프 가열방식인 RTA (rapid thermal anneal)법을 이용하여 산소 분위기 하에서 3분간 700℃에서 열처리 하였다. 결정화 여부와 결정상의 규명을 위하여 X-ray diffractometer (Mac Science M1 8XHFSRA, Cu target, 1.54Å, Ni filter)를 사용하여  $\theta$ -2 $\theta$  X선회절의 범위에서 분석하였으며, 증착된 박막의 미세구조는 scanning electron microscopy (Philips XL30FEG ESEM)를 이용하여 후열처리 이후 PZT 박막의 미세구조를 관찰하였다. PZT 박막의 전기적 특성 측정을 위하여 금속 도트 마스크를 이용 PZT 박막의 상부에 rf-magnetron sputtering 방법으로  $3.63 \times 10^{-4}$  [cm<sup>2</sup>]의 상부 전극 Pt를 증착하여 Metal-Ferroelectric-Metal 구조의 캐패시터를 형성하였다. PZT 박막의 Hysteresis loop 특성은 Radiant사의 RT-66A를 이용 virtual ground mode에서 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림1은 두께에 따른 PZT(52/48) 박막의 XRD 패턴이다. PZT 박막은 700℃에서 3분간 열처리 하였고 두께의 변화는 0.5  $\mu$ m, 1  $\mu$ m, 2  $\mu$ m이며 모든 박막은 Polycrystalline perovskite 구조를 보인다.

그림에 따르면 (110), (111), (211) peak의 크기가 PZT의 두께가 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

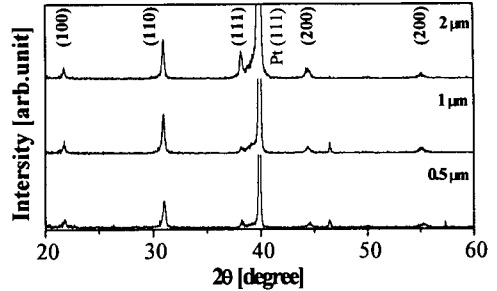
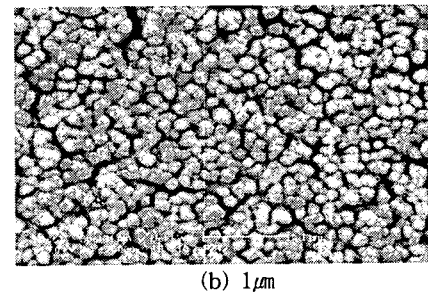
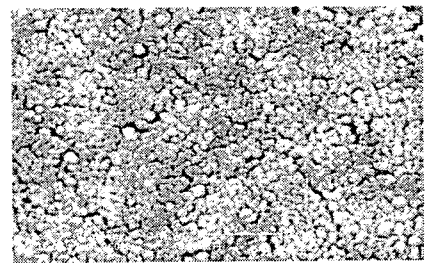
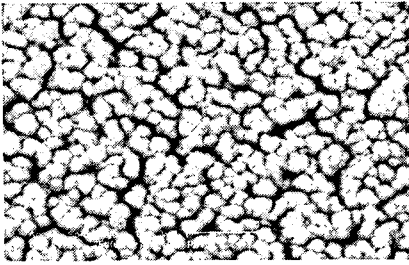


그림1. 두께에 따른 PZT 박막의 XRD 패턴  
Fig. 1. The thickness dependence of XRD pattern of PZT films

그림 2는 PZT 박막의 두께 변화에 따른 결정모양을 나타내었다. PZT의 두께가 증가할수록 결정의 증가하는 경향을 보였고 특히 PZT 두께가 2 $\mu$ m의 박막은 0.5 $\mu$ m, 1 $\mu$ m의 두께의 결정보다 입자의 크기가 증가됨을 뚜렷이 관찰되었다. 이는 XRD 결과에서 PZT (110), (111) 회절 피크가 두께가 증가함에 따라 나타나는 결과와 일치하였다.





(c) 2 $\mu$ m

그림 2. 두께에 따른 PZT 박막의 SEM  
Fig. 2. The SEM image of PZT films

PZT 박막의 강유전 특성을 그림 3에 나타내었다. 그림에 나타난 이력곡선은 모두 전형적인 압전 특성을 나타냈다. 0.5  $\mu$ m, 2  $\mu$ m에서 증착된 PZT 박막의 잔류분극과 항전계는 각각 3.879  $\mu$ C/cm<sup>2</sup>, 7.511  $\mu$ C/cm<sup>2</sup> 및 -3.746 V, -3.033 V로 증착 두께가 증가함에 따라 잔류분극은 증가하고, 항전계는 감소한 것으로 나타난다. 이는 PZT 증착 두께가 증가할수록 유전율과 잔류분극 값은 커지고 항전계는 작아진다는 보고와 일치함을 알 수 있다. PZT 박막의 이력곡선 모두 전계의 방향으로 다소 shift되어 비대칭 모양을 보이고 있다. 이와 같은 특성은 PZT 박막과 전극 사이에 공간 전하가 축적되어 그만큼의 전계가 유도된 것으로 사료된다.

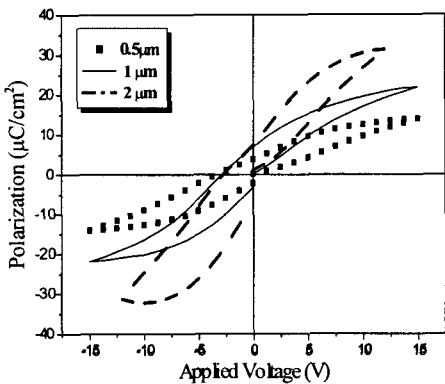


그림 3. 두께 변화에 따른 PZT 박막의 hysteresis 곡선  
Fig. 3. The thickness dependence of hysteresis

loop of PZT films

그림 4는 열처리 온도 750°C에서 두께에 따른 Pt/PZT/Pt 커패시터 구조의 유전율 특성 결과이다. Pt/PZT/Pt 커패시터의 유전율 특성은 두께의 변화에 강하게 영향을 받음을 알 수 있었다. 두께가 증가 할수록 커패시터의 정전용량 값은 감소함을 보인다. 또한 인가전압에 따라 비대칭 현상이 나타남을 볼 수 있는데 이는 상부전극인 Pt와 하부전극인 Pt에 의해 고유전율 박막 내에 내부 전계가 유도되어 그 차이만큼의 전압 관계가 이동되기 때문으로 사료된다.

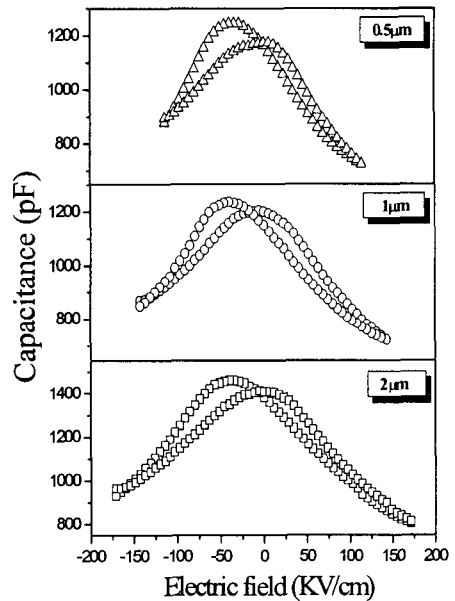


그림 4. 두께 변화에 따른 PZT 박막의 C-V 특성  
Fig. 4. The thickness dependence of C-V characteristics of PZT films

4. 결 론

본 논문에서는 rf 마그네트론 스퍼터링법으로 성장한 두께에 따른 PZT 박막의 구조적, 전기적 특성에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) PZT 박막의 XRD 패턴에서 (110), (111), (211) peak의 크기가 PZT의 두께가 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

- (2) PZT 박막의 SEM 사진으로부터 PZT의 두께가 증가할수록 결정의 증가하는 경향을 보인다.
- (3) PZT 박막의 hysteresis 곡선으로부터 0.5  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$ 에서 증착된 PZT 박막의 잔류분극과 항전계는 각각 3.879  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 7.511  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$  및 -3.746 V, -3.033 V로 이는 PZT 증착 두께가 증가할수록 유전율과 잔류분극 값은 커지고 항전계는 작아짐을 확인 하였다.
- (4) 두께가 증가 할수록 커패시터의 정전용량 값은 감소함을 보인다

이러한 결과는 PZT 박막의 두께가 증가 할수록 Pt/PZT/Pt/Ti 커패시터의 강유전 특성의 향상을 확인 할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] 박홍우, 주병권, 박윤권, 박정호, 김철주, 염상섭, 서상희, 오명환, “센서, 기능성박막 : 결정의존성 식각 / 기판접합을 이용한 MEMS 용 구조물의 제작”, 한국전기전자재료학회, 전기전자재료학회논문지, 11권, 10호, p. 815, 1998.
- [2] Han Geun Yu, L. Zou, K. Deng, R. Wolf, S. Tadigadapa and S. Trolier-McKinstry, “Lead zirconate titanate MEMS accelerometer using interdigitated electrodes”, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 107, Issue 1, p.26, 2003.
- [3] F. F. C. Duval, R. A. Dorey, R. H. Haigh and R. W. Whatmore, “Stable TiO<sub>2</sub>/Pt electrode structure for lead containing ferroelectric thick films on silicon MEMS structures”, Thin Solid Films, Vol. 444, Issues 1-2, p.235, 2003.
- [4] M. H. M. Zai, A. Akiba, H. Goto, M. Matsumoto and E. M. Yeatman, “Highly (111) oriented lead zirconate titanate thin films deposited using a non-polymeric route”, Thin Solid Films, Vol 394, Issues 1-2, p. 96, 2001.
- [5] 이규일, 강현일, 박영, 박기엽, 송준태, “ RF-sputtering법으로 증착한 PZT박막의 타겟의 Pb 함량에 따른 전기적 특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회, 전기전자재료학회논문지, Vol. 16, No. 3, p.186, 2003.