

# 플라스틱 기판위의 기계적으로 유연성을 지닌 강유전체(PZT)커패시터 Mechanically flexible ferroelectric(PZT) capacitor on plastic substrate

\*노종현<sup>1</sup>, #안종현<sup>1,2</sup>, 허욱<sup>1</sup>, 이내응<sup>1</sup>

\*Jonghyun Rho<sup>1</sup>, #Jong-Hyun Ahn<sup>1(ahnj@skku.edu)</sup>, Wook Heo<sup>1</sup>, Nae-Eung Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 신소재공학부, <sup>2</sup>성균관대학교 나노과학기술원

Key words : Ferroelectric, Flexible electronics, Nonvolatile memory, PZT

## 1. 서론

미래 지식정보화 시대에는 시간과 공간의 제약없이 언제 어디서나 사용할 수 있는 새로운 디자인 개념의 융/복합화된 정보화 기기가 요구될 것으로 예상되며, 이로 인하여 플렉시블한 전자소자들에 대한 필요성이 더욱 커지고 있다. 이러한 플렉시블 정보화 기기를 개발하기 위해서 정보화 기기를 구성하는 전자소자들의 유연성이 반드시 확보되어야 하며, 기존의 전자소자와 유사한 수준의 성능또한 요구되고 있다. (1,2) 플렉시블 트랜지스터의 경우 단결정 실리콘을 건식전사법을 통해 고성능의 플렉시블 트랜지스터를 플라스틱 기판위에 구현하는등 많은 연구가 보고되어지고 있으나, 플렉시블 메모리 소자에 대한 연구는 미미한 실정이다. 현재까지 플렉시블 메모리는 유연성 확보를 위해 주로 고분자 등의 유기물 반도체 재료를 사용해왔다.(3,4,5) 하지만, 유기물 재료는 본질적으로 낮은 전기적 특성으로 인하여 정보화 기기에서 요구되고 있는 고성능 소자를 구현하는데 한계성을 갖고 있어 기존 무기물 소재를 이용한 메모리 소자 개발이 최근 주목을 받고 있다.

최근 무기물 소재를 이용한 차세대 메모리 비휘발성 소자로서 ReRAM(resistive RAM), PRAM(phase change RAM), MRAM(magnetoresistive RAM), FeRAM(ferroelectric RAM)등에 대한 연구가 활발하며, 강유전물질의 잔류분극을 이용하는 FeRAM은 낮은 소비전력, 빠른 구동속도와, 집적화의 유리함, 비휘발성이라는 많은 장점으로 인해 차세대 메모리로 주목받고있다.(6,7,8,9) 강유전체 물질에는 PZT, SBT등이 있으며, PZT의 경우 강한 분극특성으로 인하여 FeRAM응용에 널리 사용되고있다.

본 연구에서는 플렉시블 비휘발성 메모리로서의 응용을 위해 실리콘 기판상에 강유전체(PZT) 커패시터를 형성한 뒤, 건식 전사법을 이용한 전사공정을 통하여 기계적으로 유연한 강유전체 커패시터를 플라스틱 기판상에 구현하였다.

## 2. 실험

Fig.1은 플렉시블 PZT 커패시터의 제작공정흐름을 나타낸다. Wet thermal oxidation 공정을 통하여 100nm의 SiO<sub>2</sub>박막을 Si 기판위에 형성한 후, 회 생층과 버퍼층인 a-Si(400nm)와 SiO<sub>2</sub>(300nm)를 증착한다. 스퍼터를 이용한 하부전극 증착과정에서 하부전극과 기판사이의 안정한 계면형성을 위해서 Ti(20nm)가 증착된 후 전극으로서의 역할 뿐만 아니라 PZT와 기판 물질과의 상호확산을 방지하여 PZT와 안정한 계면 형성이 가능한 Pt를 80nm 증착하였다. PZT는 Zr과 Ti의 비율이 30:70인 PZT 용액을 이용하여 Sol-Gel 방법으로 360nm의 PZT박막을 형성하였다. 상부 전극으로 Pt(100nm)를 증착한 후, 650°C에서 30분간의 열처리를 통해 PZT의 격자결함을 완화하여 분극 특성 향상시켜주었다. 일반적인 포토리소 그래피공정과 Ar, Cl<sub>2</sub>, CHF<sub>3</sub>등의 가스를 이용한 건식 식각공정을 통하여 건식 식각을 통하여 100 μm x 400 μm의 PZT 리본을 형성하고, a-Si와 SiO<sub>2</sub>의 높은 식각 선택비를 이용하여 a-Si 회생층을 에칭하였다. PDMS 스탬프에 의해 Si 기판에서 분리된 PZT 리본은 열박리 테이프에 의해 플라스틱 기판으로 최종적으로 전사되며, 플라스틱 기판은 Au(80nm)/Cr(20nm)를 코팅하여 소자들의 하부 전극을 용이하게 만들어준다. 플라스틱 기판으로 전사된 PZT 리본들은 100°C에서 10분 동안의 열처리를 통해 하부 전극을 향상시켜준다. 플라스틱 기판으로 전사된 PZT리본들은 기판으로부터의 박리를 방지하

고, 휘어짐에서 발생하는 스트레스의 완화를 위해 투명한 Epoxy(Su-8)로 코팅되며, 포토리소그래피에 의해 상부전극의 전극을 위한 Via가 형성된다. 완성된 소자는 Sawyer-Tower회로를 이용한 분극 측정을 통해 전기적인 특성을 분석하였다.

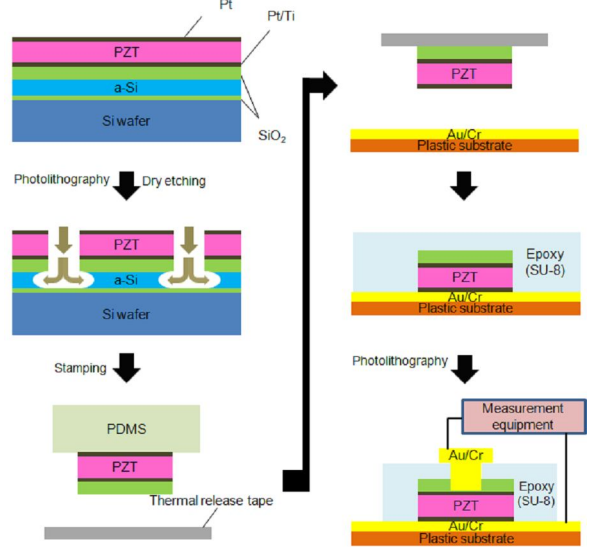


Fig 1. The schematic illustration of the fabrication steps of flexible PZT capacitors. A PZT active layer was formed on the bottom electrodes using the sol-gel method. After deposition of the top electrode and removing the sacrificial layer, the PZT ribbons were transferred onto a plastic substrate coated with a Au film. Finally, the ribbons were coated with an protection layer of epoxy.

## 3. 결과

Fig. 2는 플라스틱 기판위로 전사된 PZT 커패시터의 사진과 최종적인 소자의 광학현미경 사진이다. PDMS와 열박리 테이프를 이용한 전사공정을 거치면서도 잘 정렬된 상태를 유지하고 있으며 유연한 기판에 전사되었음을 보여주고있다.

Fig. 3는 플라스틱 기판위로 전사된 PZT커패시터의 전기적 특성 측정 결과이다. 플라스틱 기판으로 전사되기 전 후의 전기적 특성을 C-V 측정을 통해 비교되었으며 Fig 3-(a)에 나타내었다. 전사 전의 capacitance 최대값은 2.9 μF/cm<sup>2</sup>였으나 전사 공정을 지나면서 약 7%감소하여, 전사후의 최대값은 2.7 μF/cm<sup>2</sup>을 보인다. 이는 전사 공정에서의 기계적인 스트레스에 의한 것으로 생각되며, 전사 공정이 최적화되고, 개선됨에따라 전사 공정에서의 성능저하를 줄일 수 있을 것이다.

Fig 3-(b)는 전사된 PZT 항전계 전압은 약 1.1V, 2V (Pr) : 약 17μC/cm<sup>2</sup>이며, 5V 까지 인가전압을 증가시킬때 잔류분극값은 25μC/cm<sup>2</sup>까지 커진다. 인가전압이 증가함에따라 항전계전압과, 잔류분극값 모두 증가하지만 항전계전압의 경우 그 증가량이 최대분극값 잔류분극값의 증가량에비해 작은 결과를 보여준다. PZT | 분극 특성은 다른 연구에서 보고된 일반적인 PZT

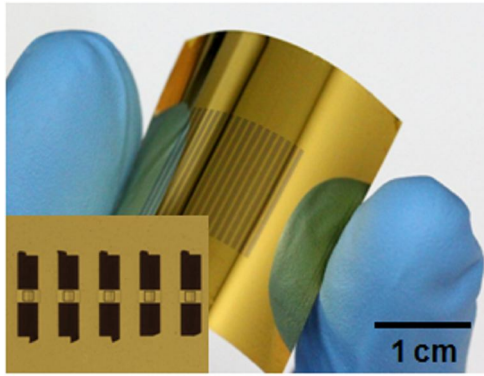


Fig.2 Large area image of the PZT capacitors built on a polyimide substrate. The inset presents a magnified image of the PZT capacitors with the top electrodes.

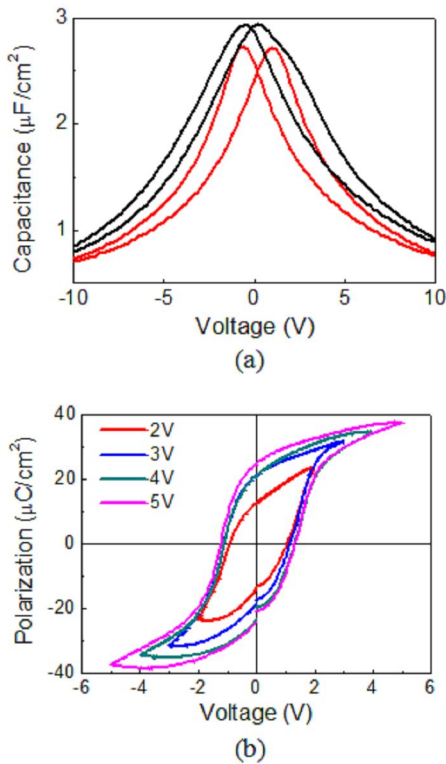


Fig. 3 (a) The results of the C-V measurement of the PZT capacitors. The capacitance was measured on a bulk wafer and after the transfer process [Black: on bulk wafer, Red: on plastic substrate]. (b) The polarization hysteresis loop of PZT capacitors on plastic substrate under various applied voltages

#### 4. 결론

본 연구에서는 고성능의 플렉시블 PZT 커패시터를 플라스틱 기관위에 구현하는 방법을 제시하였다. 건식 식각과, 건식 전사법을 이용하여 기계적인 유연성을 가진 PZT 커패시터를 플라스틱 기관위에 구현하였고, 전기적 특성 측정결과, 기존 연구에서의 PZT가 가지는 특성들과 유사한 수준의 전기적 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 이러한 연구결과는 비휘발성 플렉시블 메모리 소자의 개발에 있어서 무기물 소재를 기반으로 하여 고성능의 비휘발성 플렉시블 메모리 소자 개발에 대한 가능성을 제시하였다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업(No. 10033309)의 연구지원에 의해 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

1. Ricky J. Tseng, Jiaying Huang, Jianyong Ouyang, Richard B. Kaner and Yang Yang, "Polyaniline Nanofiber/Gold Nanoparticle Nonvolatile Memory", *Nano Lett.*, vol.5, p.1077, 2005
2. Tae-Wook Kim, Hyejung Choi, Seung-Hwan Oh, Minseok Jo, Gunuk Wang, Byungjin Cho, Dong-Yu Kim, Hyunsang Hwang and Takhee Lee, "Resistive Switching Characteristics of Polymer Non-volatile Memory Devices in a Scalable Via-hole Structure" *Nanotechnology*, vol.20, 025201, 2009
3. Liang Li, Qi-Dan Ling, Siew-Lay Lim, Yoke-Ping Tan, Chunxiang Zhu, Daniel Siu Hhung Chan, En-Tang Kang, Koon-Gee Neoh, "A flexible polymer memory device", *Organic electronics*, vol. 8, p.401, 2007
4. Ronald C.G.Naber, Cristina Tanase, Paul W. M. Blom, Gerwin H. Gelinck, Albert W. Marsman, Fred J. Tauslager, Sepas Setayesh and Dago M. De Leeuw, "High-performance solution-processed polymer ferroelectric field-effect transistors", *Nature Materials*, vol. 4, p. 243, 2005
5. L.P Ma, J. Liu, Y. Yang, "Organic electrical bistable devices and rewritable memory cells", *Appl. Phys. Lett.*, vol.80, p.2997, 2002
6. Y. Hosoi, Y. Tamai, T. Ohnishi, K. Ishihara, T. Shibuya, Y. Inoue, S. Yamazaki, T. Nakano, S. Ohnishi, N. Awaya, I. H. Inoue, H. Shima, H. Akinaga, H. Takagi, H. Akoh, and Y. Tokura "High speed unipolar switching Resistance RAM (RRAM) technology. *IEEE* 2007
7. S.L. Cho, J.H. Yi, Y.H. Ha, B.J. Kuh, C.M. Lee, J.H. Park, S.D. Nam, H. Horii, B.O. Cho, K.C. Ryoo, S.O. Park, H.S. Kim, U-In. Chung, J.T. Moon, and B. I. Ryu. "Highly scalable on-axis confined cell structure for high density PRAM beyond 256Mb" *IEEE Symposium on VLSI Technology Digest of Technical*, 2005
8. N. Engel, J. Åerman, B. Butcher, R. W. Dave, M. DeHerrera, M. Durlam, G. Grynkewich, J. Janesky, S. V. Pietambaram, N. D. Rizzo, J. M. Slaughter, K. Smith, J. J. Sun, and S. Tehrani "A 4Mb toggle MRAM based on a novel bit and switching method" *IEEE Transactions on magnetics*, VOL. 41, NO. 1, 2005
9. Longhai Wang, Jun Yu, Yunbo Wang, Junxiong Gao, Suling Zhao, Zhihong Wang, and Huizhong Zeng "Domain structure and electric properties of double side layers Pt/PZT/Pt thin films" *Integrated Ferroelectrics*, Vol.85 2006