

# Chemical Solution Deposition 방법을 이용한 BiFeO<sub>3</sub>/Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub> 다층박막의 전기적 특성에 대한 연구

차정옥<sup>a</sup> · 안정선<sup>a\*</sup> · 이광배<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>경희대학교 물리학과, 서울 130-701

<sup>b</sup>상지대학교 응용물리전자학과, 원주 220-702

(2009년 8월 31일 받음, 2010년 1월 3일 수정, 2010년 1월 9일 확정)

BiFeO<sub>3</sub>(BFO)/Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>(PZT) bilayer와 multilayer의 다층구조를 만들어 전기적 특성을 측정하여 같은 두께의 BFO 단층박막과 비교해 보았다. BFO와 PZT 용액을 이용하였으며 chemical solution deposition 방법으로 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 각 박막을 증착하였다. X-ray diffraction 분석을 통해 모든 박막이 다배향(multi-orientation) 페로브스카이트(perovskite) 구조를 가졌음을 확인하였다. BFO/PZT Bilayer와 multilayer 박막들은 BFO 단층박막의 비해 누설전류 값이 500 kV/cm에서 약 4, 5차수 정도 감소했으며, 이로 인해 BFO/PZT 다층박막의 강유전체 특성이 크게 향상되었다. BFO/PZT multilayer 다층구조 박막의 경우 안정된 이력곡선(hysteresis loop)을 나타냈으며, 잔류 분극(remanent polarization)의 값은 44.3μC/cm<sup>2</sup>이었으며, 항전계(2Ec) 값은 681.4 kV/cm였다.

주제어 : BiFeO<sub>3</sub> (BFO), PbZrTiO<sub>3</sub> (PZT), 박막, 누설전류, Chemical solution deposition (CSD), 잔류분극, 항전계

## I. 서 론

보통 물질에서는 대부분 전기적 성질과 자기적 성질이 분리되어 있지만, 최근 이 두 가지 성질이 한 물질에 동시에 나타나는 다강체(multiferroic material)가 발견되어 연구되고 있다. 특히 강자성과 강유전성 성질을 동시에 가진 다강체로 메모리 소자를 만들 경우 자기와 전기를 통해 동시에 쓰고 읽을 수 있으며, 기존 메모리에 비해 높은 집적도의 메모리를 만들 수 있어 새로운 메모리 소자로서의 활용이 가능하다. BiFeO<sub>3</sub> (BFO)는 잘 알려진 다강체 물질 중 하나로써 높은 큐리 온도(Curie temperature, TC=863°C)와 넬 온도(Neel temperature, TN=397°C)를 가지고 있으며, 상온에서 강유전체(ferroelectric) 성질과 반강자성체(anti-ferromagnetic) 특성을 보인다 [1]. BFO 물질이 박막으로 제작될 경우 BFO 벌크보다 다강체의 성질이 향상된다는 보고가 있었으며 [2], 이로 인해 BFO 박막에 대한 관심이 집중되었다. 특히 큰 잔류분극(remanent polarization) 값을 가진 박막을 만들 수 있다면, 높은 집

적도를 가지며 낮은 구동전압과 높은 동작 속도를 보이는 비휘발성 FeRAM (ferroelectric random access memory)의 제작이 가능하다. 하지만, 일반적으로 BFO의 전기적 성질의 경우 강유전체의 특성인 히스테리시스 현상을 상온에서 보기 어려운 것으로 알려져 있으며 이는 BFO 박막의 구조적 결함과 화학양론적 조성의 불균형으로 인한 큰 누설전류(leakage current)로부터 비롯되어 진다 [3,4]. 이러한 단점으로 인해 많은 연구자들이 BFO 박막의 전기적 특성을 향상시키기 위해 연구를 해 왔으며, 구조 결함이 없는 페로브스카이트(perovskite) 구조를 가지는 BFO 박막의 증착 연구 [5,6]를 시작으로 Cr, La, Nd 등을 BFO 박막에 도핑하는 연구가 있었다 [7-9]. 그 밖에 BFO와 같은 페로브스카이트 구조를 가진 PbTiO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>을 이용해 solid solution 박막을 만들거나 [10,11], 같은 강유전체 특징을 가지고 있는 물질들을 이용해 다층구조 박막을 만든 보고들이 있었다. 이러한 연구들 중에서 강유전체 특성을 가지는 Bi<sub>3.25</sub>La<sub>0.75</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> [12], (Bi<sub>1/2</sub>Na<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> [13] 박막과 BFO 박막을 다층구조로 만들었을 때, 단층 BFO박막에 비

\* [전자우편] johnsonahn@khu.ac.kr, kblee@sangji.ac.kr

해 잔류분극의 값과 누설전류 특성이 크게 향상된 보고가 있었으며, 이러한 연구 결과를 토대로 본 연구에서는 BFO의 박막의 전기적 특성 향상을 위해 강유전체 성질로 잘 알려진 Pb(Zr<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>)O<sub>3</sub>(PZT)를 이용하여 BFO박막과 다층 구조를 만들어 그 효과를 조사하였다. PZT는 Zr과 Ti의 비율 변화에 따라 활용되는 분야가 다르며 [14,15], Zr/Ti 비율이 52/48 at.%인 PZT 박막의 경우 강유전체 성질을 보이며, 페로브스카이트 구조를 보이는 비율로 알려져 있다.

BFO 박막을 만드는 방법에는 펄스레이저를 이용한 방법(Pulsed laser deposition) [5], 스퍼터링 방법 [16] 등 많은 증착 방법이 소개되어 왔지만, 본 연구에서는 Chemical Solution Deposition(CSD) 방법을 이용하여 BFO 단층박막 및 BFO/PZT 다층박막을 만들었다. CSD 방법은 적절한 용매와 전구체(precursor)를 이용하면 비교적 쉽게 조성조절이 가능하며 박막 증착 과정이 간결한 장점이 있다. 이전 연구들의 다층구조를 참고하여 [12,17] 본 연구에서는 BFO와 PZT solution을 이용하여 CSD 방법으로 bilayer 구조와 multilayer 구조의 다층구조를 만들고, 각 다층구조의 구조적, 전기적 특성을 조사하여, 같은 두께의 BFO 단층박막의 특성과의 차이를 살펴보았다.

## II. 실험방법

BFO 단층 박막과 BFO/PZT bilayer, multilayer 박막을 CSD 방법을 이용하여 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 증착하였다. 본 실험에서 사용된 BFO용액은 용매로 bis-muth nitrate, iron nitrate를 사용했으며, 용매는 2-methoxyethanol과 acetic acid를 1 : 1 비율로 이용하였다. Bismuth nitrate와 iron nitrate의 비율은 1.05 : 1이었으며, 열처리과정에서 Bi의 손실을 감안하여 Bismuth

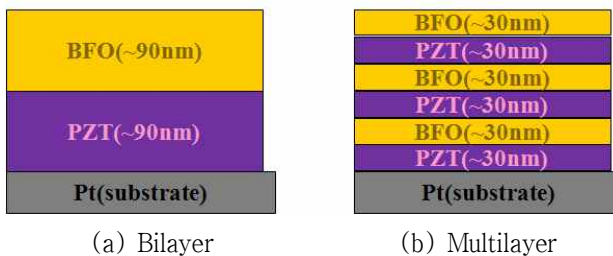


Figure 1. Schematic structures of BFO/PZT (a) bilayer and (b) multilayer thin films.

nitrate를 5 at.% 초과하여 용액을 만들었고 BFO 용액의 최종 농도는 0.5M이었다. PZT용액(INOSTEK Inc.)의 Zr과 Ti의 비율은 52/48 at.%이었고 용액의 농도는 0.2 M이었다. 각 용액을 5,000 rpm에서 30초간 스프린코터를 이용하여 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 증착하였으며, 스프린코팅 후 300°C 환경에서 5분간 건조시켜 용매를 제거하였다. 스프린코팅과 건조과정을 총 6회 반복하여 BFO 단층박막과 BFO/PZT의 bilayer와 multilayer 박막들을 만들었으며 Bilayer와 multilayer 박막들의 구조는 Fig. 1에 나타내었다. 총 6회의 스프린코팅 후 결정성장을 위해 650°C에서 15분간 annealing 과정을 공기(air)중에서 실시했다. 최종적으로 만들어진 박막은 전자주사현미경(FE-SEM, HITACHI S-4700)과 분광 타원 편광 분석기(VASE, J. A. Woollam Co. Inc.)를 이용하여 박막의 두께를 측정했으며, 한 과정에서 증착된 박막의 두께는 30(±2)nm였으며 전체 박막의 두께는 180(±8)nm였다.

제작된 박막의 구조는 X-ray Diffraction (X'pert pro MPD)를 이용하여 분석하였으며, 전기적 특성을 알아보기 위해 각 박막위에 스퍼터링 방법으로 마스크를 이용하여 Pt 전극을 올렸다. Parameter analyzer (HP4155A)를 이용하여 각 박막들의 누설전류를 측정하였으며, P-E 이력 곡선(polarization-electric field hysteresis loops)은 ferroelectric tester (RT 66A, Radiant Tech.)를 이용하여 측정하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 1. 박막의 구조분석

CDS 방법으로 만들어진 BFO 단층 박막과 BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막의 각 XRD 패턴을 Fig. 2에 나타냈다. XRD 패턴은 박막 구조 분석에 많이 사용되는 TFD (thin-film diffractometer, 입사각=2°)방법을 이용하였으며 실온에서 측정하였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 BFO 단층박막과 BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막 모두 비결정상이나 불순물 상이 없는 순수한 페로브스카이트(perovskite) 구조를 보였다. 또한 모든 박막의 페로브스카이트 상이 (100), (110), (111), (200) 방향으로 고르게 성장된 다배향(multi-orientation) 결정립 구조인 것을 확인할

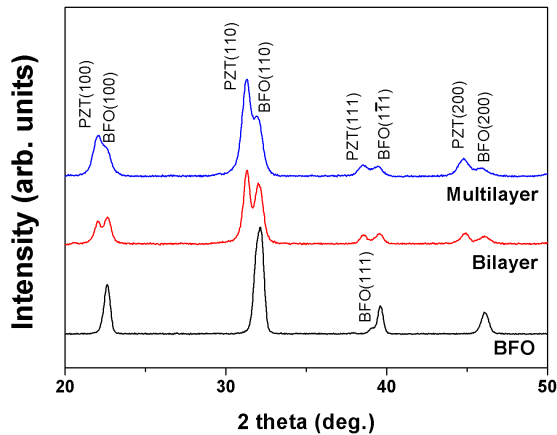


Figure 2. X-ray diffraction (XRD) patterns of the BFO, BFO/PZT bilayer and BFO/PZT multilayer thin films on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100).

수 있었다. 일반적으로 BFO와 PZT 박막의 경우 각 원소들의 화학양론비가 만족되지 못할 경우 pyrochlore 상이 발생하며, 이 상이 나타날 경우 박막의 강유전 특성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 이 실험에서 만들어진 모든 박막들은 XRD 패턴에서 pyrochlore 상이 관측되지 않은 것으로 보아 각각의 화학양론비를 만족하는 박막이 성공적으로 증착되었음을 알 수 있다.

## 2. 누설전류 특성

Fig. 3에 실온에서 측정된 각 박막의 누설전류 값을 나타내었다. 강유전체 성질을 이용하여 박막을 FeRAM 메모리 소자로 이용하기 위해서는 누설전류 값이 작은 박막이 필수적인데, 이는 메모리 소자의 커패시터에 저장된 전하들이 누설전류가 발생되면 저장 정보의 손실이 이루어질 수 있기 때문이다. 두께 180 nm의 BFO 단층박막의 경우 전기장의 값이 100 kV/cm보다 작을 때에는 약  $10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>의 작은 누설전류 값을 보였지만, 전기장의 값이 커지면서 급격히 증가해 500 kV/cm에서는  $4.5 \times 10^{-1}$  A/cm<sup>2</sup>의 매우 큰 누설전류 값을 보였다. 이와는 달리 같은 두께의 BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막과 같이 다층구조로 형성된 경우에는 높은 인가전압에서도 급격히 누설전류가 증가하지 않았으며, 최대인가 전압인 500 kV/cm에서 각각  $1.1 \times 10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup>과  $1.0 \times 10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup>의 값을 보였다. BFO/PZT Multilayer 구조와 bilayer 구조 모두 BFO 단층박막의 높은 누설 전류의 단점을 극복할 수 있었으며, 최대

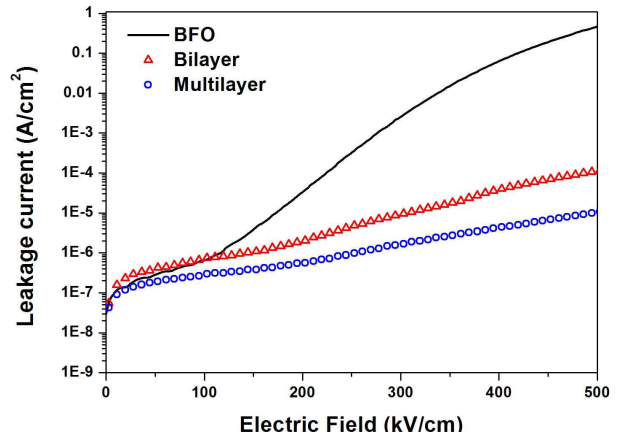


Figure 3. Leakage current characteristics of the BFO, BFO/PZT bilayer and BFO/PZT multilayer thin films on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) measured at RT.

인가전압인 500 kV/cm에서 BFO 단층박막보다 각각 4차수(order)와 5차수 정도 작은 누설전류 값을 보였다.

BFO 박막의 큰 누설 전류값의 원인에 관한 연구들 중에는, Pt 전극위에 BFO 박막을 증착할 때 높은 열처리 온도 (~650°C)에 의해 전극과 BFO 박막 사이의 interlayer가 형성이 되며, 이 때 생성된 interlayer로 인해 BFO 박막의 누설전류 특성이 저하된다는 보고가 있다 [13,18]. 이러한 interlayer 문제를 극복하고자 여러 연구자들이 Pt 전극위에 buffer layer를 증착하거나 다른 강유전체와 함께 multilayer를 형성하여 BFO 박막의 전기적 특성을 향상시켰다 [12,13,17]. 본 실험에 나타난 BFO 단층박막의 누설전류 특성 또한, BFO 박막과 Pt전극 사이의 interlayer의 영향으로 인한 것으로 추정된다. BFO/PZT multilayer와 bilayer 박막 모두에서 BFO 단층박막에 비해 좋은 누설전류 특성이 얻어진 것은, 일반적으로 좋은 누설전류 특성을 보이는 PZT 박막이 BFO와 Pt전극 사이에 훌륭한 절연체 역할을 수행했기 때문으로 판단된다. 또한, PZT와 BFO의 층 사이의 경계면에 의한 stress가 누설전류 특성 향상에 기여한 것으로 판단되며 [17], 이로 인해 bilayer 구조보다는 층 사이의 경계면이 많은 multilayer 구조가 더 좋은 누설전류 특성을 보이는 것으로 생각된다.

## 3. 강유전 특성

Fig. 4 (a)는 최대 인가전압이 1,000 kV/cm 일 때 측정된 BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막들의 상온에서 측

정된 P-E 이력곡선(polarization-electric field hysteresis loop)을 나타냈으며, 측정 주파수는 모두 1 kHz이었다. 그리고 각 단층/다층 박막들의 최대인가전압에 따른 잔류 분극(Remanent polarization, P<sub>r</sub>)값을 Fig. 4 (b)에 나타내었다. BFO 단층박막의 경우 포화되지 않은 모양의 P-E 이력곡선 형태를 보였으며 잔류 분극 값이 매우 불안정하였다. BFO 단층박막의 이력곡선이 불안정한 이유는 Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 120 kV/cm 이상의 전기장이 가해질 때 급격하게 높아지는 누설전류 값으로 인한 영향으로 판단된다. BFO 단층박막의 잔류분극 값은 가해진 최대 전압이 440 kV/cm 이상일 경우 측정이 어려웠으며, 최대 전압이 440 kV/cm 일 때 BFO 박막의 잔류분극 값은 2.4 μC/cm<sup>2</sup>이었다. 이와 달리 다층 구조인 BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막에서는 안정적인 강유전체의 P-E 이력곡선 모양을 얻을 수 있었으며, multilayer 박막 보다는 bilayer 박막의 이력곡선이 좀 더 포화된 모양의 이력곡선을 보였다. 최대전압이 440 kV/cm일 때 BFO/PZT bilayer와 Multilayer 박막의 잔류분극 값은 각각 5.6μC/cm<sup>2</sup>, 6.2μC/cm<sup>2</sup>로 같은 조건으로 측정된 BFO 단층박막에 비해 2배 이상의 값을 나타내었다. BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막의 잔류분극값은 Fig. 4 (b)에서 볼 수 있듯이 가해진 최대전압이 커질수록 증가하였으며, 800 kV/cm 이하인 경우 bilayer와 multilayer의 잔류 분극 값은 비슷한 증가 값을 보였으나, 최대전압이 1,000 kV/cm 일 때는 multilayer 박막의 잔류분극 값은 44.3μC/cm<sup>2</sup>로

같은 조건에서 측정된 bilayer의 39.9μC/cm<sup>2</sup>보다 큰 값을 보였다. 또한, 최대 인가전압이 1,000 kV/cm 일 때 bilayer와 multilayer의 항전계값(Coercive field, 2E<sub>c</sub>)은 각각 1103.8 kV/cm와 681.4 kV/cm로 multilayer구조가 bilayer구조로 만들어진 박막에 비해 약 40% 작은 값을 나타냈다. 강유전체 특성이 메모리 소자로 사용되기 위해 요구되는 사항은 높은 잔류분극 값과 낮은 항전계 값이다. Fig. 4 (a), (b)의 결과로 미루어 보아 BFO 단층 박막의 매우 불안정하고 약한 이력곡선 특성을 BFO/PZT 다층박막 구조로 극복이 가능했으며, 이는 다층박막에서의 향상된 누설전류 특성에 기인한 것으로 판단된다. 또한, FeRAM소자로의 응용 면에서는 더 높은 잔류분극 값과 작은 항전계 값을 보인 BFO/PZT multilayer박막이 bilayer 박막에 비해 더 적합한 박막구조인 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 BiFeO<sub>3</sub>(BFO) 박막의 누설전류 특성 및 강유전체 특성의 향상을 목적으로, 페로브스카이트(perovskite) 구조를 가지며 강유전체 특성을 보이는 Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>(PZT) 박막(Zr/Ti=52/48 at.%)을 이용하여 BFO 박막과 다층구조를 만들었다. Chemical solution Deposition (CSD)방법을 이용하여 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 BFO 단층박막과 BFO/PZT 다층박막을 증착하였으며,

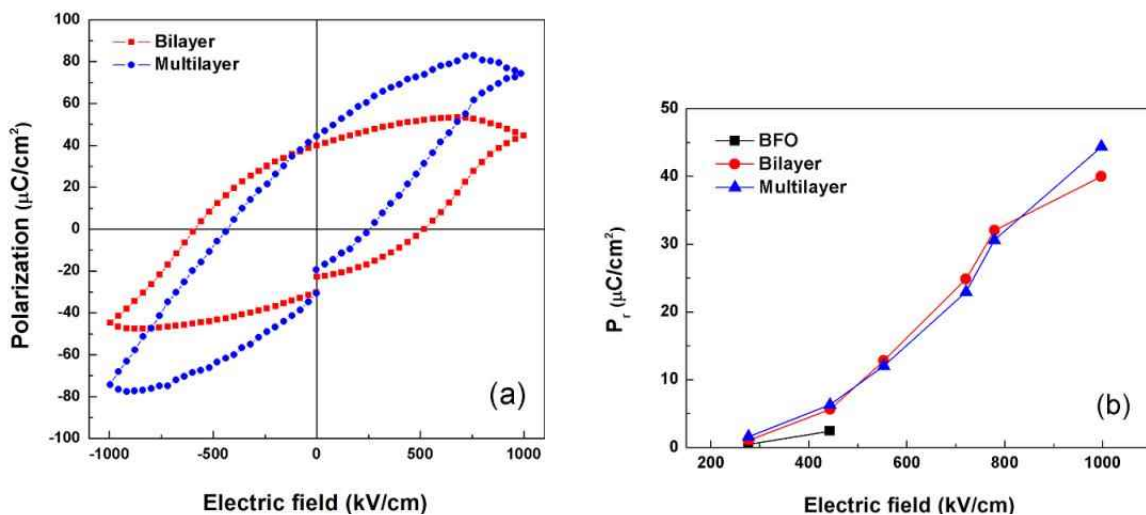


Figure 4. (a) P-E hysteresis loops of the BFO/PZT bilayer and multilayer thin films measured at 1 kHz. (b) The values of remanent polarization (P<sub>r</sub>) as a function of the electric field.

다층 박막은 bilayer 구조와 multilayer 구조로 만들었다. X선 회절(XRD)과 parameter analyzer, ferroelectric tester를 이용하여 BFO 단층박막과 BFO/PZT 다층박막들의 구조적, 전기적 특성을 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. X선 회절(XRD) 분석 결과 BFO 단층박막과 BFO/PZT bilayer와 multilayer 다층 박막 모두 페로브스카이트 상이 (100), (110), (111), (200), (220) 방향으로 크게 성장한 다배향 결정립 구조가 생성되었음을 알 수 있었다. 또한, 모든 박막이 비결정상이나 불순물 상이 없는 순수한 페로브스카이트 구조를 보임을 확인하였다.

2. BFO 박막의 누설전류 값은 인가전압이 120kV/cm 이상일 때 급격히 증가하였으며, 최대 인가전압인 500kV/cm에서  $4.5 \times 10^{-1}$  A/cm<sup>2</sup>의 매우 큰 누설전류 값을 보였다. 이와 달리 BFO/PZT bilayer와 multilayer 다층박막 모두에서 안정적인 누설전류 곡선을 보였으며, 최대 인가전압인 500kV/cm에서 BFO 단층박막 보다 각각 4차수(order)와 5차수 정도 작은 누설전류 값을 보여, BFO 단층 박막의 높은 누설 전류의 단점을 극복할 수 있었다.

3. BFO 단층박막은 매우 불안정하고 약한 P-E 이력곡선은 보이는 반면, BFO/PZT bilayer와 multilayer 박막은 BFO 단층박막과는 달리 안정적인 P-E 이력곡선을 보였으며 이는 BFO/PZT 다층박막의 향상된 누설전류 특성에 기인한 것으로 판단된다. BFO/PZT bilayer와 multilayer의 잔류분극 값은 각각 최대인가전압 1,000 kV/cm에서 각각 39.9 $\mu$ C/cm<sup>2</sup>, 44.3 $\mu$ C/cm<sup>2</sup>이었다. 항전계 값(2Ec)은 multilayer 구조가 bilayer 구조보다 약 40% 작은 681.4 kV/cm을 보였다.

### 감사의 말

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 10583).

### 참고문헌

[1] G. A. Smolenskii and I. Chupis, *Sov. Phys. Usp.* **25**, 475 (1982).  
 [2] J. Wang, J. B. Neaton, H. Zheng, V. Nagarajan,

S. B. Ogale, B. Liu, K. Viehland, V. Vaithyanathan, D. G. Schlom, U. V. Waghmare, N. A. Spaldin, K. M. Rabe, M. Wutting, and R. Ramesh, *Science*. **299**, 1719 (2003).  
 [3] Y. P. Wang, L. Zhou, M. F. Zhang, X. Y. Chen, J. M. liu, and X. G. Liu, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 1731 (2004).  
 [4] V. R. Palkar and R. Pinto, *Pramana J. Phys.* **58**, 1003 (2002).  
 [5] J. Li, J. Wang, M. Wutting, R. Ramesh, N. Wang, B. Ruetter, A. P. Pyatakov, A. K. Zvezdin, and D. Viehland, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 5261 (2004).  
 [6] S. K. Singh, K. Maruyama, and H. Ishiwara, *J. Appl. Phys.* **100**, 064102 (2006).  
 [7] J. K. Kim, S. S. Kim, W. J. Kim, A. S. Bhalla, and R. Guo, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 222903 (2005).  
 [8] D. Lee, M. G. Kim, S. Ryu, H. M. Jang, and S. G. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 222903 (2005).  
 [9] F. Z. Huang, X. M. Lu, W. W. Lin, X. M. Wu, Y. Kai, and J. S. Zhu, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 242914 (2006).  
 [10] J. R. Cheng and L. E. Cross, *J. Appl. Phys.* **94**, 5188 (2003).  
 [11] M. M. Kumar, A. Srinivas, and S. V. Suryanarayana, *J. Appl. Phys.* **87**, 855 (2000).  
 [12] J. G. Wu, G. Q. Kang, H. J. Liu, and J. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 172906 (2009).  
 [13] F. Z. Huang, X. M. Lu, W. W. Lin, W. Cai, X. M. Wu, Y. Kan, H. Sang, and J. S. Zhu, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 252903 (2007).  
 [14] H. M. Kim, K. H. lee, J. S. Ahn, and K. B. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* **50(6)**, 1740 (2007).  
 [15] X. J. Meng, J. L. Sun, X. G. Wang, T. Lin, M. J. Ha, S. L. Guo, and J. H. Chu, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 4035 (2002).  
 [16] J. O. Cha, J. S. Ahn, and K. B. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* **54**, 844 (2009).  
 [17] L. Hongri, S. Yuxia, and W. Xiuzhang, *J. Phys. D.* **41**, 095302 (2008).  
 [18] S. Yakovlev, J. Zekonyte, C. H. Solterbeck, and M. Es-Souni, *Thin Solid Films.* **493**, 24 (2005).  
 [19] S. Iakovlev, C. H. Solterbeck, M. Kuhnke, and M. Es-Souni, *J. Appl. Phys.* **97**, 094901 (2005).

## Ferroelectric, Leakage Current Properties of $\text{BiFeO}_3/\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ Multilayer Thin Films Prepared by Chemical Solution Deposition

J. O. Cha<sup>a</sup>, J. S. Ahn<sup>a\*</sup>, and K. B. Lee<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>*Department of physics, Kyung Hee University, Seoul 130-701,*

<sup>b</sup>*Dept. of Applied Physics & Electronics, Sangji University, Wonju 220-702*

(Received August 31, 2009, Revised January 3, 2010, Accepted January 9, 2010)

$\text{BiFeO}_3/\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (BFO/PZT) multilayer thin films have been prepared on a Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si(100) substrate by chemical solution deposition. BFO single layer, BFO/PZT bilayer and multilayer thin films were studied for comparison. X-ray diffraction analysis showed that the crystal structure of all films was multi-orientated perovskite phase without amorphous and impurity phase. The leakage current density at 500 kV/cm was reduced by approximately four and five orders of magnitude by bilayer and multilayer structure films, compared with BFO single layer film. The low leakage current density leads to saturated P-E hysteresis loops of bilayer and multilayer films. In BFO/PZT multilayer film, saturated remanent polarization of  $44.3\mu\text{C}/\text{cm}^2$  was obtained at room temperature at 1 kHz with the coercive field( $2E_c$ ) of 681.4 kV/cm.

Keywords :  $\text{BiFeO}_3$  (BFO),  $\text{PbZrTiO}_3$  (PZT), Thin film, Leakage current, Chemical solution deposition (CSD), Remanent polarization, Coercive field

\* [E-mail] johnsonahn@khu.ac.kr, kblee@sangji.ac.kr