
PLZT(10/y/z) 박막에서 Zr/Ti 농도에 따른 피로와 리텐션 특성

정양희* · 강성준**

Fatigue and Retention Characteristics of PLZT(10/y/z) Thin Films with Various Zr/Ti Concentrations Ratio

Yang-Hee Joung* · Seong-Jun Kang**

본 연구는 여수대학교 2003년도 학술 연구지원비에 의하여 연구되었음.

요 약

Sol-gel 법을 이용하여 La를 10 mol%로 고정시킨 PLZT (10/y/z) 박막을 제작하여 Zr/Ti 조성비에 따른 전기적 특성을 조사하였다. Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량이 증가함에 따라, 10 kHz에서 비유전률은 550에서 400으로 감소된 반면, 유전손실은 0.028에서 0.053로 증가되었으며, 170 kV/cm에서 누설전류밀도는 1.64×10^{-6} 에서 1.26×10^{-7} A/cm²으로 감소되었다. PLZT 박막의 이력곡선을 ± 170 kV/cm에서 측정된 결과, Zr/Ti 조성비가 40/60에서 0/100로 변화함에 따라 PLZT 박막의 잔류분극과 항전계는 6.62에서 12.86 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 32.15에서 56.45 kV/cm로 각각 증가되었다. ± 5 V의 사각펄스를 10⁹회 인가하여 피로특성을 측정된 결과, PLZT(10/40/60) 박막의 잔류분극은 초기분극값으로부터 50 % 감소된 반면, PLZT(10/0/100) 박막은 28 % 감소되었다. 또, 10⁵초의 retention 측정 결과에서 PLZT (10/0/100) 박막은 초기분극값에서 오직 10 %만이 감소된 반면, PLZT (10/40/60) 박막은 40 % 감소되었다.

ABSTRACT

The effects of Zr/Ti concentration ratio in PLZT (10/y/z) thin films prepared by sol-gel method are investigated for the NVRAM application. As Ti amount of Zr/Ti concentration ratio increases, the dielectric constants at 10 kHz decrease from 550 to 400, while the loss tangents increase from 0.028 to 0.053 and the leakage current densities at 170 kV/cm decrease from 1.64×10^{-6} to 1.26×10^{-7} A/cm². In the results of hysteresis loops measured at ± 170 kV/cm, the remanent polarization and the coercive field increase from 6.62 to 12.86 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and from 32.15 to 56.45 kV/cm, respectively, according to the change from 40/60 to 0/100 in Zr/Ti concentration ratio. Fatigue and retention properties also improve much as the Zr/Ti concentration ratio change from 40/60 to 0/100. After applying 10⁹ square pulses with ± 5 V, the remanent polarization of the PLZT (10/40/60) thin film decreases 50 % from the initial state while that of the PLZT (10/0/100) thin film decreases 28 %. In the results of retention measurements of 10⁵s, the remanent polarization of the PLZT (10/0/100) thin film decreases only 10 % from the initial state, while that of the PLZT (10/40/60) thin film decreases 40 %.

키워드

PLZT(10/y/z), Fatigue, Retention, Leakage Current, Hysteresis Loop, Remanent Polarization

I. 서 론

강유전체는 유전성, 압전성, 초전성 등의 우수한 전기적 특성과 독특한 광학적 특성을 가지고 있어, 메모리소자, 적외선 검출소자, 전기광학소자 등에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[1]~[4]. 특히, 최근에 강유전체 박막의 고유특성인 분극반전과 히스테리시스 특성을 이용한 새로운 형태의 비휘발성 메모리에 대한 관심이 급증되면서, 강유전체 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직까지 상업성 있는 비휘발성 메모리의 개발에는 미치지 못하고 있다. 강유전체 박막을 이용한 비휘발성 메모리가 실용화되기 위해서는 기존의 CMOS 공정과 병행될 수 있는 강유전체 박막의 제작기술 개발과 더불어 제작된 강유전체 박막의 신뢰성에 영향을 주는 반복되는 쌍극 펄스에 의한 분극량의 손실로 정의되는 강유전체 박막의 피로, 시간에 따른 분극량 보존으로 정의되는 retention 특성 등의 원인 규명과 이들을 해결하기 위한 연구가 선행되어야 한다. 그 동안, 비휘발성 메모리 응용을 위해 가장 광범위하게 연구되어온 강유전체는 큰 잔류분극값과 낮은 결정화 온도라는 장점을 갖고 있는 PZT 박막이었다. 그러나, PZT 박막은 금속전극 위에 증착될 경우, 피로와 retention 특성 등 비휘발성 메모리의 신뢰성에 연관된 문제가 있어 메모리에 실제 적용하는데 커다란 장애가 되고 있다[5]. PZT 박막에 대한 이러한 문제점들을 개선하기 위해서, La이 도핑된 PLZT 박막을 비휘발성 메모리에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[6]~[7]. 그러나, PLZT 박막을 비휘발성 메모리에 적용시키기 위한 피로와 retention 같은 신뢰성에 연관된 열화문제들이 PLZT 박막의 Zr/Ti 조성비 등과 어떠한 연관관계가 있는지를 정확히 분석할 필요가 있지만 이에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 장치 의존성이 크지 않고, 조성제어가 용이하며, 기존의 반도체 공정과 부합될 수 있는 sol-gel 방법을 이용하여 La 농도를 10 mol%로 고정하고, Zr/Ti 조성비를 변화시킨 PLZT (40/60, 20/80, 0/100) 박막을 제작한 후, 강유전성 및 피로특성과 retention 특성 등을 연구하고, 이를 토대로 PLZT 박막의 비휘발성 메모리 응용에 대한 가능성을 조사하고자 하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 이전의 La 농도 변화에 따른

PLZT 박막의 연구로부터 La 농도가 10mol% 인 PLZT (10/y/z) 박막을 선택하였다. 여기서 y와 z는 각각 Zr과 Ti 조성비를 나타낸 것으로 $y+z=100$ 으로 하였다. 본 실험에서는 Zr/Ti의 조성비를 40/60, 20/80, 0/100으로 변화시켰으며, 출발물질로는 $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ (Aldrich), $La(OOCC-H_3)_3 \cdot 1.5H_2O$ (Strem), $Zr(OC_3H_7)_4$ (70 % in prop-panol) (Fluka), $Ti(O-iC_3H_7)_4$ (Alpha)를 사용하였다. 용매와 안정화제로 acetic acid (Acros)를 사용하였고, 점도 조절을 향상시키기 위해 n- propanol (Acros)을 첨가하였다. Pb 용액의 경우, Pb 부족 때문에 파이로클로르 (pyrochlore) 상이 생기는 것을 막기 위해 12.5 mol%의 Pb를 과량으로 첨가하여 0.4 M의 coating solution을 제작하였다. 박막은 clean bench 내에서 회전도포기 (ABLE, AM-4096)를 사용하여 500 rpm에서 5 초, 3,000 rpm에서 40 초간 회전시켜 Pt/TiO_x/SiO₂/Si 기판 위에 형성시켰다. 코팅이 끝나면 110 °C와 400 °C에서 각각 15 분, 5 분간 건조시키고 다시 코팅하는 방법을 사용하였다. 그 후, 650 °C에서 30 분간 열처리하여 박막제작을 완료하였다. 최종적으로 제작된 PLZT 박막의 두께는 약 0.4 μm이었으며, 전기적 특성을 조사하기 위해 직경 0.2 mm의 Ag을 thermal evaporator로 증착시켜 평판구조의 캐패시터를 제작하였다.

Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 PLZT 박막의 결정화 특성과 배향성 변화를 조사하기 위해서 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuKα)를 이용하여 분석하였으며, PLZT 박막의 두께는 ellipsometer (PLASMOS, SD 2300)와 SEM을 이용하여 구하였다. 유전특성과 누설전류밀도는 각각 LCR meter (Stanford Research, SR 720)와 Parameter Analyzer (HP4145B)를 이용하여 측정하였으며, RT-66A Standardized Ferroelectric Test System (Radiant Technologies)을 이용하여 PLZT 박막의 이력곡선, 피로특성, 그리고 retention 특성을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

La 첨가량을 10 mol%로 고정시키고, Zr/Ti의 조성비를 40/60에서 0/100까지 변화시킨 PLZT 박막을 650 °C에서 30 분 동안 열처리 한 후에, X-선 회절실험을 한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 결과로부터 Zr/Ti의 조성비가 40/60인 PLZT 박막의 경우 $2\theta \approx 28^\circ$ 근처에서 전기적 성질을 약화시키는 파이로클로르 (pyrochlore) 상의 peak를 확

인할 수 있었으며, 그 외의 다른 조성을 갖는 박막은 모두 페로브스카이트 (perovskite) 상으로 결정화되었다는 것을 확인할 수 있었다.

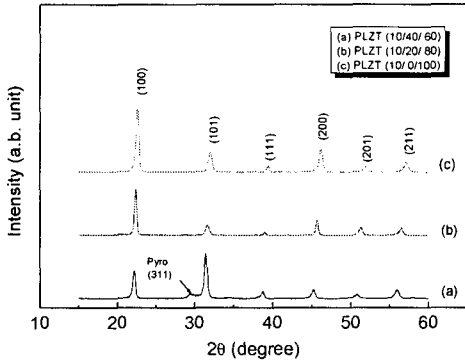


그림 1. 다양한 Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 PLZT(10/y/z) 박막의 XRD patterns
Fig 1. XRD patterns of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio.

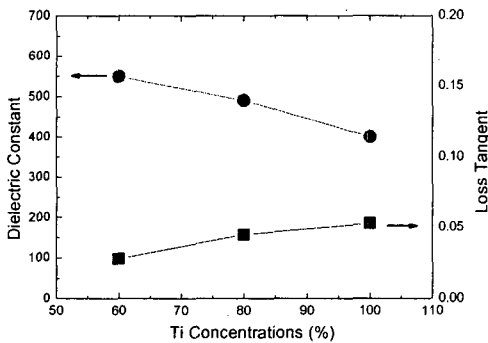


그림 2. 다양한 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT(10/y/z) 박막의 유전특성
Fig 2. Dielectric properties of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio.

PLZT 박막의 Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 유전 특성변화를 Fig. 2에 나타내었다. 10 kHz의 주파수에서 비유전률은 Zr/Ti의 조성비가 0/100에서 40/60으로 변화함에 따라, 400에서 550으로 증가되었다. 이와 같이, Ti 함유량의 감소함에 따라 비유전률이 증가하는 원인은 구조적으로 Ti 함유량이 감소할수록, PLZT 구조가 정방체에서 유사 입방정으로 급격하게 변화되기 때문으로 보고되고 있는데, 이는 정방정에서 입방정으로 전이되기 위해 필요

한 에너지보다 유사 입방정에서 입방정으로 전이되기 위해 필요한 에너지가 낮게 되므로, Tc (Curie temperature)가 상온 쪽으로 이동하게 되어 같은 온도에서 비유전률이 증가하게 되는 것으로 생각된다. 반면에, 유전손실은 Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량이 감소함에 따라, 0.053에서 0.028로 감소하는 추세로 나타내었다. 이러한 유전손실의 감소 경향은 상유전성이 점점 강해져서 도메인들의 영향이 감소되기 때문으로 생각된다.

강유전체 박막을 메모리 소자에 응용시 고려할 중요한 인자중의 하나가 누설전류 특성이다. 누설전류가 증가되면 소비전력이 증가하고, 소자에 인가되는 전기장의 제한되는 등의 문제가 발생하므로 누설전류의 감소는 매우 중요하다[8]. La이 첨가된 PLZT 박막은 PZT 박막에 비해서 누설전류 특성이 개선된다고 보고되고 있는데, 이것은 Pb 계열 강유전체 물질을 열처리 할 경우, PbO의 높은 휘발성 때문에 A-자리 (PZT에서 Pb-자리) 공공들의 이온화에 의해 홀 (hole) 들이 생성됨으로써 전기전도도가 증가되기 때문이다. 그러나, PLZT 박막의 경우 La³⁺이 A-자리인 Pb²⁺로 들어감에 따라 원자간 전기적 중성을 유지하기 위하여 정공의 생성을 억제시켜, 박막 내의 자유캐리어의 수가 감소되기 때문에 전기전도도가 감소된다고 보고되고 있다. 그러나 Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 누설전류 특성변화에 대한 연구들이 거의 진행되고 있지 않기 때문에 본 실험에서는 La를 10 mol%로 고정시키고 이들 조성변화에 따른 누설전류특성을 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. 170 kV/cm의 전기장에서 측정된 누설전류밀도는 Zr/Ti 조성비를 40/

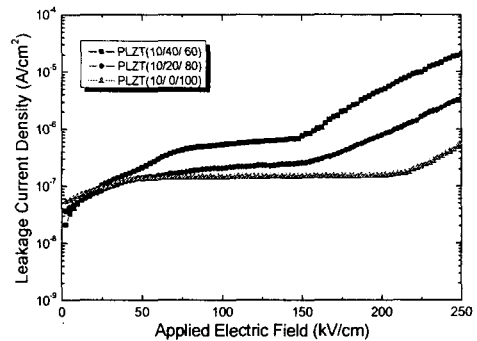
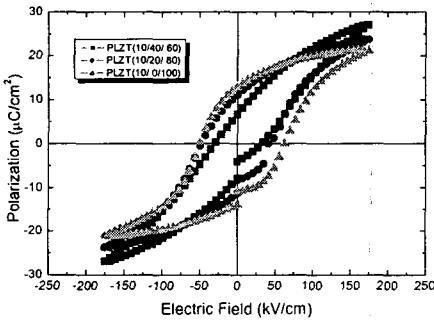


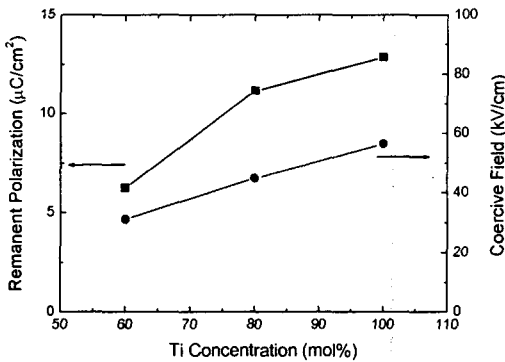
그림 3. 다양한 Zr/Ti 조성비와 전기장의 변화에 따른 PLZT(10/y/z) 박막의 누설전류특성
Fig 3. Leakage characteristics of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio as a function of electric field.

60에서 0/100으로 변화시킴에 따라, 1.64×10^6 A/cm²에서 1.26×10^7 A/cm²으로 감소되었다.

Fig. 4(a)는 Zr/Ti 조성비를 40/60에서 0/100까지 변화시킨 PLZT 박막의 이력곡선을 나타낸 것이며, Fig. 4(b)는 ± 170 kV/cm에서 얻은 PLZT 박막의 잔류분극(P_r)과 항전계(E_c) 변화를 나타낸 것이다. 40/60의 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT 박막은 다른 조성의 박막에 비해서 상대적으로 낮은 잔류분극값 ($6.62 \mu\text{C}/\text{cm}^2$)을 나타내었다. 이는 XRD 결과에서 확인하였듯이, 피로로로르르상이 박막의 이력특성에 치명적인 악영향을 주었기 때문인 것으로 생각된다. Zr/Ti 조성비를 40/60에서 0/100으로 변화시킴에 따라, PLZT 박막의 항전계 (E_c)



(a)



(b)

그림 4. 다양한 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT(10/y/z) 박막의 강유전 특성 : (a) 이력곡선, (b) 잔류분극과 항전계

Fig 4. Ferroelectric characteristics of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio:

(a) hysteresis loops, (b) remanent polarization and coercive field.

는 32.15 kV/cm에서 56.45 kV/cm로 증가되었으며, 잔류분극(P_r) 값도 $6.62 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 $12.86 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 증가되었다. 이와 같이 Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량의 증가에 따른 항전계의 증가는 일반적으로 PZT 박막에서 보고되고 있는 것과 유사한 경향을 나타내었다. 그러나, Ti 함유량이 감소함에 따라, 잔류분극이 감소하는 것은 상유전성의 점진적인 증가와 결정립 크기가 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

강유전체 박막을 비휘발성 메모리에 응용할 경우, 반복되는 읽기/쓰기 횟수가 증가함에 따라 전기적 스트레스를 받은 강유전체 박막의 분극량이 감소되는 피로현상이 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서, 강유전체 박막에 대한 피로특성의 연구는 비휘발성 메모리 응용에 필수적이다. 현재 보고되고 있는 강유전체 박막의 피로발생기구는 domain wall의 pinning 또는 고온 소결시 PbO의 높은 휘발성 때문에 발생하는 산소공공이 하부전극과 강유전체 박막 사이의 계면에 축적되어 분극을 감소시키기 때문인 것으로 알려져 있다[9]~[10]. 따라서, 피로현상을 개선시키기 위해서는 이러한 산소공공의 생성을 억제시켜야 한다. PLZT 박막은 PZT에 La를 donor-dopant로 첨가한 것으로, 피로현상의 주된 원인이라고 알려져 있는 산소공공의 생성이 억제되어 피로특성이 개선된다고 보고되고 있다. 이러한 La 농도 변화에 따른 피로 특성 개선에 대한 연구는 일부 보고되고 있지만, Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 피로 특성 변화에 대한 연구는 거의 보고되고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 La를 10 mol%로 고정시키고, Zr/Ti 조성

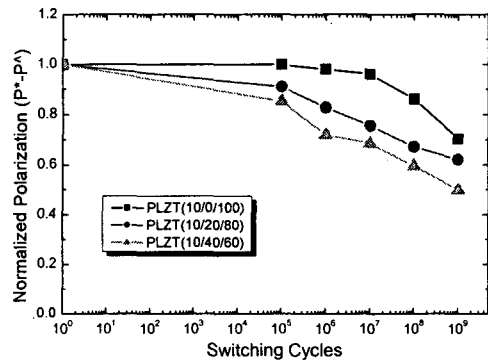


그림 5. 다양한 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT(10/y/z) 박막의 표준화된 피로 특성

Fig 5. Normalized fatigue properties of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio.

비의 변화가 피로특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 Zr/Ti 조성비를 40/60에서 0/100까지 변화시키면서 PLZT 박막의 피로특성을 조사하였다.

Fig. 5는 PLZT 박막에 50 kHz의 ± 5 V의 사각펄스(square pulse)를 인가하여 분극반전횟수에 대한 표준화된 분극값(P^*P^*)을 나타낸 것이다. Zr/Ti 조성비가 40/60인 PLZT 박막은 10^5 회 이후에 급격한 분극량의 감소를 나타내었으며, 10^9 회에서의 분극값은 초기값에 비해 약 50% 감소하였다. 그러나, Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량이 증가됨에 따라, 분극반전 횟수에 따른 분극량의 감소가 억제되어, Zr/Ti 조성비가 0/100인 PLZT 박막의 경우, 10^9 회에서의 분극값은 초기값에 비해 약 28%만이 감소되었다. 이것은 반복되는 switching cycles에 따른 피로 현상이 산소공공 뿐만 아니라, 기계적인 내부 응력이 누적되어 피로현상이 발생된다는 것을 의미하는 것이다. Jiang 등은[11] MPB (Morphotropic Phase Boundary) 조성으로 갈수록 격자의 뒤틀림이 증가되어 분극반전시에 발생하는 내부 응력이 증가되기 때문에 피로특성이 열악해지는 반면, Zr 함유량 또는 Ti 함유량이 증가할수록 이러한 응력은 감소되어 피로특성이 개선된다고 보고하였는데, 이는 본 실험의 결과와 일치하는 것이다.

시간의 변화에 따른 분극 손실로 정의되는 retention 성질은 누설전류 및 피로특성과 더불어 비휘발성 메모리의 신뢰성 문제를 발생시키는 주요 현상임에도 불구하고 많은 연구가 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 PLZT 박막의 retention 특성을 조사하기 위해서 RT66A 를 이용하여, -5 V의 write 사각펄스를 인가하고 최종적으로 +5 V와 -5 V 두 개의 read 사각펄스를 인가하여 그 특성을 조사하였다. Write 펄스 폭과 read 펄스 폭은 각각 8.6 μ s와 2 ms 로 정하였으며, write 펄스와 read 펄스 사이의 시간간격을 retention time으로 정하였다. Fig. 6은 La을 10 mol%로 고정시키고 Zr/Ti 조성비의 변화에 따른 PLZT 박막의 표준화된 retention 특성을 나타낸 것이다. 40/60의 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT 박막의 경우에 분극량은 빠른 속도로 감소되어, 10^5 초의 retention time 후에 초기값에 비해 약 40% 감소되었다. 그러나, Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량이 증가됨에 따라, retention 특성은 상당히 개선되어, Zr/Ti 조성비가 0/100을 갖는 PLZT 박막의 경우 10^5 초의 retention time 후에도 초기값에 비해 약 10%만이 감소되는 비교적 우수한 특성을 나타내었다.

이러한 retention 현상이 발생하는 주요 원인은

표면공간전하와 ferroelastic에 의한 탈분극 (depolarization) 전계로 보고되고 있으며,[12] 특히, Fridkin[13]은 분극손실을 야기하는 탈분극 전계는 산소공공 (V'')에 의해서 발생된다는 것을 실험적으로 확인하였으며, Lee[14]는 PZT 단결정과 다결정을 이용하여 retention 특성을 조사한 결과 입계에 의해서 발생하는 탈분극전계가 retention 특성에 악영향을 미친다고 보고하였다. 따라서, 본 실험에서 측정된 retention 결과값은 La 치환에 기인한 산소공공의 감소와 Ti 함유량의 증가에 따른 결정립 크기의 증가에 의한 입계부피의 감소에 의해서 탈분극전계가 감소되므로 retention 특성이 개선된 것으로 생각된다.

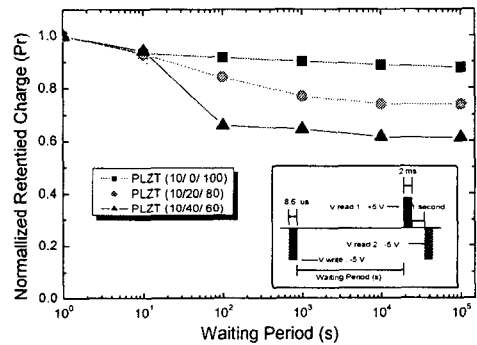


그림 6. 다양한 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT(10/y/z) 박막의 표준화된 retention 특성

Fig 6. Normalized retention properties of PLZT(10/y/z) thin films with various Zr/Ti concentrations ratio.

IV. 결론

La 농도를 10 mol%로 고정시키고 Zr/Ti (40/60 ~ 0/100) 조성비의 변화에 따른 PLZT (10/y/z) 박막을 sol-gel 방법으로 제작하여, 전기적 특성을 조사하였다. PLZT 박막은 Ti 함유량이 증가함에 따라 (100) 배향성이 점진적으로 증가되었으며, Zr/Ti 비가 40/60인 박막의 경우 pyrochlore 상이 존재함을 확인할 수 있었다. 10 kHz에서 측정된 비유전률은 Zr/Ti 조성비가 0/100에서 30/70으로 변화됨에 따라, 400에서 550으로 증가된 반면, 유전손실은 0.053에서 0.028로 감소되었다. Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유량이 증가함에 따라, 누설전류밀도는 170 kV/cm의 전기장에서 1.64×10^6 A/cm²에서 1.26×10^7 A/cm²로 감소되었으며, ± 170 kV/cm에서 이력곡선을 측정된 결과, Zr/Ti 조성비에서 Ti 함유

량이 증가함에 따라, 잔류분극 (P_r) 과 항전계 (E_c)는 각각 $6.62 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 $12.86 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 $32.15 \text{ kV}/\text{cm}$ 에서 $56.45 \text{ kV}/\text{cm}$ 로 증가되었다. 비휘발성 메모리의 신뢰성 문제 중에서 가장 중요한 것 중의 하나로 제기되고 있는 피로특성을 조사한 결과, 40/60의 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT 박막의 경우 10^9 회에서의 분극값은 초기값에 비해 약 50 %로 급격히 감소하였으나, Zr/Ti 조성비가 0/100 인 경우, 10^9 회에서도 초기 분극값에 비해 약 28 % 만이 감소되었다. 또, 피로특성과 함께 강유전체 박막을 이용한 비휘발성 메모리 소자의 신뢰성에 영향을 주는 retention 특성을 측정 한 결과, 40/60의 Zr/Ti 조성비를 갖는 박막은 초기 분극량에 비해 40 %로 급격한 감소를 나타내었으나, 0/100의 Zr/Ti 조성비를 갖는 PLZT 박막은 10 %만이 감소되는 우수한 retention 특성을 나타내었다. 이를 토대로 피로와 retention 특성의 주된 열화원인이 강유전체 박막과 하부전극 사이의 산소공공에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

본 연구결과로부터, La이 10 mol%으로 고정되고 Zr/Ti 조성비가 0/100인 PLZT (10/0/100) 박막이 낮은 누설전류밀도와 큰 잔류분극, 그리고 비교적 우수한 피로 및 retention 특성을 나타내기 때문에 비휘발성 메모리 응용시 가장 적합한 것으로 판정되었다.

참고문헌

- [1] C. P. de Araujo, J. F. Scott and G. W. Taylor, "Ferroelectric thin films: synthesis and basic properties", Gordon and Breach Publishers, Amsterdam, pp. 1-8, 1996.
- [2] Seong Jun Kang and Yung Sup Yoon, "Optical and Electrical Properties of Lanthanum-Modified Lead Titanate Thin Films with Various Lanthanum Concentrations", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 7A, pp. 4459-4465, 1997.
- [3] Seong Jun Kang, Vladimir B. Samoilov and Yung Sup Yoon, "Low-Frequency Response of Pyroelectric Sensors", IEEE Trans. on Ultras., Ferroelec., and Freq. Control., Vol. 45, No. 5, pp. 1255-1260, 1998.
- [4] F. Wang and G. H. Heartling, "A PLZT Optical Phase Modulator and Its Applications", Proc. of 1992 IEEE Intern. Symp. on Appl. of Ferroelec., pp. 596-599, 1992.
- [5] C. J. Kim, T. Y. Kim, I. Chung and I. K. Yoo, "The Role of Processing Parameters in Variation of Microstructure of Sol-gel Derived Lead Zirconate Titanate Thin Films", Mat. Res. Soc. Symp. Proc, Vol. 541, pp. 399-410, 1999.
- [6] K. Miura and M. Tanaka, "Effect of La-doping on Fatigue in Ferroelectric Perovskite Oxide", J. Appl. Phys. Vol. 35. No. 6A, pp. 3488-3491, 1996.
- [7] K. Tominaga, Y. Sakashita and M. Okada, "Ferroelectric Properties of PLZT Thin Films Prepared By MOCVD", Integrated Ferroelectrics, Vol. 5, pp. 287-291, 1994.
- [8] K. Koyama, and T. Sakuma, "A Stacked Capacitor with $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ for 256 M DRAM", IEDM Tech. Digit., pp. 823-826, 1991.
- [9] A. Thomas and D. Dearson, "Aging of Pizelectric Barium Titanate", IEEE 6th Intern. Symp. on Appl. of Ferroelec., pp. 111, 1986.
- [10] I. K. Yoo and S. B. Desu, "Ferroelectric Parameters of Lead Zirconate Thin Films", Mat. Res. Soc. Symp., Proc. Vol. pp. 323-328, 1992.
- [11] Q. Y. Jiang, E. C. Subbarao and L. E. Cross, "Effect of Composition and Temperature on Electric Fatigue of La-doped Lead Zirconate Titanate Ceramic", J. Appl. Phys., Vol. 75. No. 11. pp. 7433-7443, 1994.
- [12] J. J. Lee and S. B. Desu, "Retention and Imprint Properties of Ferroelectric Thin Films", Phys. State. Sol., Vol. (a)151, pp. 171-182, 1995.
- [13] V. M. Fridkin, Ferroelectric Semiconductor, Plenum Press, 1980.
- [14] J. S. Lee, C. S. Kim and S. K. Joo, " Fatigue and Data Retention Characteristics of Single-Grained PZT Thin Films", ISAF 2000 Symp., pp. 129, 2000.

저자소개

강성준 (Seong-Jun Kang)

1989년 2월 인하대 응용물리학과 졸업 (공학사)
1994년 8월 인하대 전자재료공학과 졸업 (공학석사)
1999년 2월 인하대 전자재료공학과 졸업(공학박사)
2000년~현재 여수대학교 반도체·응용물리학과 조교수

* 관심분야 : VLSI 공정, 강유전체 박막 및 신소재

정양희(Ynag-Hee Joung)

1983년 2월 단국대 응용물리학과 졸업(공학사)
1985년 8월 인하대 응용물리학과 졸업(공학석사)
1993년 8월 인하대 전자재료공학과 졸업(공학박사)
1988년~1995년 LG반도체 선임연구원
1995년~현재 여수대학교 전기공학과 부교수

* 관심분야 : VLSI 공정 및 반도체물성