
La 농도에 따른 PLZT(x/30/70) 박막의 피로 특성에 관한 연구

강성준* · 정윤근* · 정양희**

Fatigue Characteristics of PLZT(x/30/70) Thin Films with Various La Concentrations

Seong Jun Kang* · Yeun Gun Chung* · Yang Hee Joung**

본 연구는 여수대학교 2003년도 학술 연구지원비에 의하여 연구되었음.

요 약

비휘발성 메모리 소자로의 응용의 관점에서, sol-gel 방법으로 PLZT(x/30/70) 박막을 제작하여 La 농도에 따른 구조적 및 전기적 특성을 조사하였다. La 농도가 0 에서 10 mol% 로 증가함에 따라, PLZT 박막의 유전상수는 450 에서 600 으로 증가된 반면, 유전손실과 100 kV/cm에서 측정된 누설전류밀도는 각각 0.075 에서 0.025 로 5.83×10^{-7} 에서 1.38×10^{-7} A/cm² 으로 감소되었다. 175 kV/cm 에서 측정된 PLZT 박막의 이력곡선을 측정된 결과, La 농도가 0 에서 10 mol% 로 증가함에 따라 박막의 잔류분극과 항전계는 각각 20.8 에서 10.5 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 54.48 에서 32.12 kV/cm 로 감소되었다. PLZT 박막에 $\pm 5\text{V}$ 의 사각펄스를 10^9 회 인가하여 피로특성을 측정된 결과, La 농도가 증가함에 따라 초기 분극값의 감소가 64 에서 40 % 로 개선됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

The effects of La concentration in PLZT(x/30/70) thin films prepared by sol-gel method are investigated for the NVFRAM application. As the La concentration increases, the dielectric constants at 10 kHz increase from 450 to 600, while the loss tangent and the leakage current density at 100 kV/cm decrease from 0.075 to 0.025 and from 5.83×10^{-7} to 1.38×10^{-7} A/cm², respectively. In the results of hysteresis loops measured at 175 kV/cm, the remanent polarization and the coercive field decrease from 20.8 to 10.5 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and from 54.48 to 32.12 kV/cm, respectively, with the increase of La concentration from 0 to 10 mol%. After applying for 10^9 cycles of square pulses with $\pm 5\text{V}$ height, the remanent polarization of the PLZT(10/30/70) thin film decreases 40% from the initial state, while that of the PLZT(0/30/70) thin film decreases 64%.

키워드

PLZT(x/30/70), Fatigue, NVFRAM, Hysteresis loop, Remanent polarization

I. 서론

최근 전자산업 및 정보통신처리 기술의 발달로 시

스템의 자동화에 대한 요구가 급증하고 있다. 이는 근래의 전자기술의 급격한 발달로 시스템의 전자제어가 광범위하게 산업분야에 보급되었기 때문이다. 시스템

* 여수대학교 반도체학과
** 여수대학교 전기공학과

의 자동화를 위해서는 정보를 처리하는 마이크로 프로세서, 정보의 송수신을 담당하는 센서, 정보의 변화량을 제어기에서 판독하는데 필요한 비휘발성 메모리 등의 개발이 필수적이다.^[1,2]

이중 마이크로 프로세서와 센서는 그 동안 많은 연구가 이루어져 급속한 기술진보가 이루어진 상태나 비휘발성 메모리의 개발은 아직까지 만족할 만한 수준에 접근하지 못하고 있다. 현재, 자동화 기기에 사용되는 비휘발성 메모리로는 PROM, EPROM, EEPROM, Flash EEPROM 등이 있으며, 집적도와 기능면에서 괄목할 만한 성장을 이루어 왔다. 그러나, 이들 대부분의 비휘발성 메모리 소자의 동작은 고전압하에서 SiO₂ 를 통한 electron tunneling 방법이 사용됨에 따라, read/write/erase 의 반복에 의해 SiO₂ 가 열화됨으로써 짧은 소자수명 및 느린 처리속도가 큰 문제이다.[3-4] 또, 자동화 시스템의 대부분이 공장의 생산라인에 사용되기 때문에 온도나 습도가 높은 열악한 환경과 고압을 사용하는 모터 릴레이 등에서 오는 전기적인 잡음에 지속적으로 노출되는데 따르는 신뢰성의 저하도 커다란 문제로 남아 있어 자동화 시스템에 적용하는데 어려움이 있어왔다. 따라서, 자동화 시스템의 고신뢰성 및 고기능화를 이루기 위해서는 기존의 비휘발성 메모리를 강유전체 박막을 이용한 비휘발성 메모리, 즉 NVFRAM 으로 교체해야 한다. NVFRAM 은 강유전체 박막의 분극반전과 히스테리시스 특성을 이용한 비휘발성 메모리로서 빠른 동작속도, 저전압 동작, 내잡음 특성 및 내방사선성 등의 장점을 갖는 이상적인 메모리 소자로서 자동화 시스템에서 요구하는 모든 특성을 만족한다.[5-6]

그러나, NVFRAM 의 상업화에는 아직 해결해야 할 문제점이 많이 있다. 그 중 대표적인 것이 강유전체 박막의 피로특성에 대한 연구이다.^[7] 현재, NVFRAM 에 가장 많이 사용되는 PZT 박막은 매우 큰 잔류분극값을 나타내며, 상 형성온도가 600°C 가량으로 반도체 공정에 부합되는 장점을 가지고 있으나, 근본적으로 피로특성이 열악한 단점이 있다.^[8] SrBi₂Ta₂O₉ (SBT) 박막은 층상 perovskite 구조를 가지고 있어 피로특성이 대단히 우수하지만, 박막성형온도가 750~800°C 가량이므로 반도체 공정에 이용하기에는 부적합하다. 반면에 PZT 에 La 이 도핑된 PLZT 박막은 피로발생의 주 원인인 산소공공의 생성 및 확산이 억제됨으로써

피로특성이 우수하고 박막성형온도도 600°C 이므로 반도체 공정에 이용하기가 용이할 뿐만아니라 잔류분극의 값도 비교적 커서 NVFRAM 응용에 유망한 물질로 평가받고 있다.^[9]

본 연구에서는 PZT (30/70) 에 La (0, 3, 7, 10 mol%) 이 첨가된 PLZT 박막을 제작한 후, 피로 특성을 체계적으로 연구하여 이를 토대로 PLZT 박막의 비휘발성 메모리 응용에 대한 가능성을 조사하고자 하였다.

II. 실험방법

본 연구에서 선택한 박막의 조성은 PLZT (x/30/70) 이며, 여기서 x 는 La 농도를 나타낸 것으로 본 실험에서는 0 에서 10 mol% 까지 변화시켰다. 출발물질로는 Pb(CH₃COO)₂·3H₂O (Aldrich), La(OOCCH₃)₃·1.5H₂O (Strem), Zr(OC₃H₇)₄ (70% in propopanol) (Fluka), Ti(O-iC₃H₇)₄ (Alpha) 를 사용하였다. 용매와 안정화제로 acetic acid (Acros) 를 사용하였고, 점도 조절을 향상시키기 위해 n-propanol (Acros) 을 첨가하였다. Fig. 1 에 PLZT(x/30/70) precursor solution 의 제작과정을 상세히 나타내었다.

출발물질로 사용되는 알콕사이드는 공기중의 수분에 매우 민감하므로 이를 방지하기 위해 질소 분위기의 glove box 내에서 조성에 해당하는 양을 칭량한 후, clean bench 내에서 stock solution 을 제작하였다. 본 연구에서는 Pb, La, Zr, Ti 의 stock solution 을 각각 제작하였으며, Pb 용액의 경우, Pb 부족 때문에 파이로클로로 (pyrochlore) 상이 생기는 것을 막기 위해 12.5 mol% 의 Pb 를 과량으로 첨가하였다. 개별적으로 제작된 각 stock solution 을 조성에 맞게 혼합하여 0.4 M 의 coating solution 을 제작하였다. 제작된 coating solution 은 회전 도포시 0.2 μm filter (Gelman Science) 를 이용하여 걸러서 사용하였다. 박막은 clean bench 내에서 회전도포기 (ABLE, AM-4096) 를 사용하여 500 rpm 에서 5 초, 3000 rpm 에서 40 초간 회전시켜 Pt/TiO₂/SiO₂/Si 기판위에 형성시켰다. 코팅이 끝나면 110°C 와 400°C 에서 각각 15 분, 5 분간 건조시키고 다시 코팅하는 방법을 사용하였다. 그 후, 650°C 에서 30 분간 열처리하여 박막제작을 완료하였다. 전기적 특성을 조사하기 위해 직경 0.2 mm 의 Ag 을 thermal

evaporator 로 증착시켜 평판구조의 캐패시터를 제작하였다.

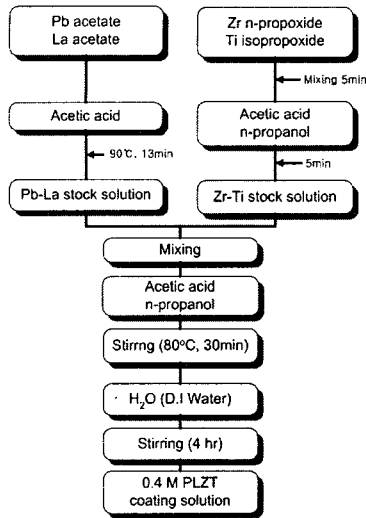


그림 1. Acetic acid 계 PLZT 코팅 용액 제조 공정도
Fig. 1. Fabrication procedure of PLZT coating solution in acetic-acid system.

La 농도의 변화에 따른 PLZT 박막의 결정화 특성과 정방정성을 조사하기 위해서 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuK α) 를 이용하여 분석하였으며, 표면상태는 AFM (Atomic Force Microscopy : Topometrix, Accurex II) 을 이용하여 관찰하였다. 유전특성과 누설 전류밀도는 각각 LCR meter (Stanford Research, SR 720) 와 Parameter Analyzer (HP4145B) 를 이용하여 측정하였으며, RT66A Standardized Ferroelectric Test System (Radiant Technologies) 을 이용하여 PLZT 박막의 이력곡선과 피로특성을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

0 에서 10 mol% 까지 La 농도를 변화시킨 PLZT 박막을 650 °C 에서 30 분 동안 열처리 한 후에, X-선 회절실험을 한 결과를 Fig. 2 에 나타내었다.

모든 PLZT 박막은 특별한 선택적인 방향성을 나타내지 않았으며, 페로브스카이 (perovskite) 상 이외에 파이로클로르 (pyrochlore) 상과 같이 바람직하지 않은

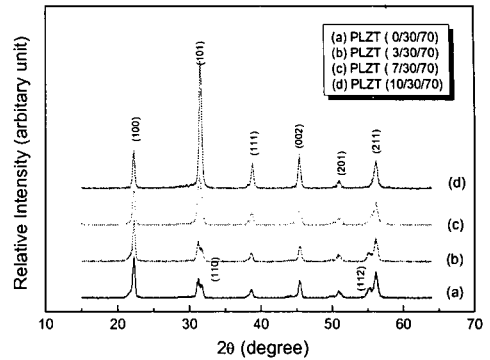


그림 2. La 농도의 변화에 따른 PLZT 박막의 (a) XRD patterns 과 (b) 정방정성

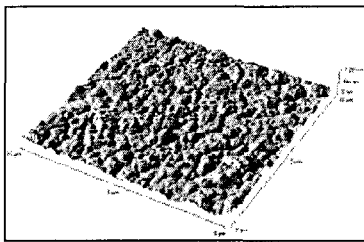
Fig. 2. (a) XRD patterns and (b) tetragonality (c/a) of PLZT thin films with various La concentrations.

제 2 상은 나타나지 않았다. 또한, X-선 회절실험 결과에서 (100) 면과 (001) 면의 피크가 나타내는 회절각을 이용하여 계산한 박막의 정방정성 (c/a) 은 La 농도가 0 에서 10 mol% 로 증가함에 따라, 1.032 에서 1.01 까지 선형적으로 감소되었으며, 이러한 결과는 Klee 등^[10] 에 의해서 보고된 값과 거의 일치하는 것이다. 그러나, La 농도가 0 mol% 인 PZT (30/70) 박막에서 관찰된 정방정성은 bulk 세라믹에서 보고된 값 1.05^[11] 작았다. 이는 bulk 세라믹에 비해서 박막이 매우 작은 결정립을 가지기 때문인 것으로 생각된다.

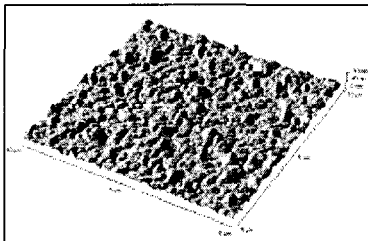
표면 거칠기와 같은 표면상태는 강유전체 박막을 메모리 소자에 응용할 경우, 상부전극과 강유전체 박막과의 계면특성에 영향을 미쳐 전기적 특성 등에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다. 특히, 표면상태의 개선은 박막의 누설전류밀도에 큰 영향을 미친다. 따라서, 본 연구에서는 PLZT 박막의 표면 거칠기를 정량적으로 분석하기 위해서 AFM 을 이용하였으며, 그 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. PLZT 박막의 표면 거칠기는 La 농도가 0 에서 10 mol% 로 증가함에 따라, 110 에서 60 Å 으로 감소되었다. 이러한 표면 거칠기의 개선은 La 농도의 증가에 따른 PLZT 박막의 결정립 크기의 감소와 반지름이 1.032 Å 인 La³⁺ 이온이 1.19 Å 인 Pb²⁺ 이온을 치환하므로서, 정방성이 감소하여 결정의 배향성이 저하되기 때문인 것으로 생각된다. AFM 에 의해서 관찰된 것처럼, La 농도의 증가에 따른 표면 거칠기의 개선과 결함 보상에 따른 캐리어수의 감소

등과 같은 상호작용에 의해서 누설전류밀도가 개선된다고 보고되고 있는데,^[12] 이는 Fig. 5의 누설전류밀도에 대한 실험결과와 일치한다.

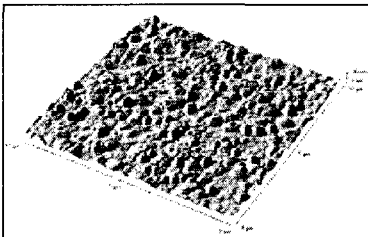
PLZT 박막의 La 농도 변화에 따른 유전특성변화를 Fig. 4에 나타내었다. 10 kHz의 주파수에서 유전상수는 La 농도가 0에서 10 mol%로 증가함에 따라, 450에서 600으로 증가되었다. 이러한 유전상수의 증가는 Teowee^[13] 등의 연구결과와 일치하는 것이다. 이와 같이 La 농도가 증가함에 따라 유전상수가 증가하는 원인은 구조적으로 La 농도가 증가할수록, PLZT 구조가 정방정에서 유사 입방정으로 변화되기 때문으로 보고되고 있는데, 이는 정방정에서 입방정으로 전이되기 위해 필요한 에너지보다 유사 입방정에서 입방정으로 전이되기 위해 필요한 에너지가 낮게 되므로, T_c (Curie temperature)가 상온 쪽으로 이동하게 되어 같은 온도에서 유전상수가 증가하기 때문이다.



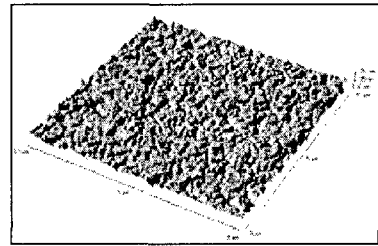
(a) 0 mol% La



(b) 3 mol% La



(c) 7 mol% La



(d) 10 mol%

그림 3. La 농도에 따른 PLZT 박막의 AFM 사진
Fig. 3. 3D AFM images of PLZT thin films with various La concentrations.

또한, 원자적인 측면에서는 La^{3+} 가 Pb^{2+} 을 치환하게 되어 발생하는 Pb^{2+} 공공이 도메인의 스위칭을 촉진시켜 유전상수를 증가시키는 것으로 생각된다. 반면에, 유전손실은 La 농도가 증가함에 따라, 0.075에서 0.025로 감소하는 추세로 나타내었다. 이러한 유전손실의 감소 경향은 La 농도가 증가함에 따라 박막의 치밀도가 향상되어 교류저항 특성이 향상되며 또한, 상 유전성이 점점 강해져서 도메인들의 영향이 감소되는 것과 같은 복합적인 상호작용 때문인 것으로 생각된다.

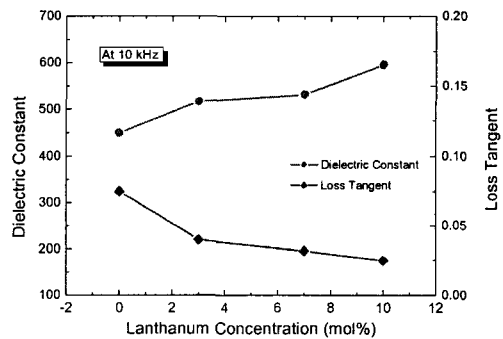


그림 4. 다양한 La 농도를 갖는 PLZT 박막의 비유전률과 유전손실

Fig. 4. Dielectric constant and loss tangent of PLZT thin films with various La concentrations.

강유전체 박막을 메모리 소자에 응용시 고려할 중요한 인자중의 하나가 누설전류 특성이다. 누설전류가 증가되면 소비전력이 증가하고, 소자에 인가되는 전기

장이 제한되는 등의 문제가 발생하므로 누설전류의 감소는 매우 중요하다.^[14] Fig. 5 는 La 농도에 따른 PLZT 박막의 누설전류밀도를 나타낸 것이며, 100 kV/cm 의 전기장에서 측정된 누설전류밀도는 La 농도가 0 에서 10 mol% 로 증가함에 따라, 5.83×10^{-7} 에서 1.38×10^{-7} A/cm² 으로 감소하는 추세를 나타내었다. 이와 같이 La 농도가 증가함에 따라 누설전류 특성이 개선되는 데에는 다음 세 가지 원인의 상호작용에 의한 것으로 생각된다. 첫 번째는 Pb 계열 강유전체 물질을 열처리 할 경우, PbO 의 높은 휘발성 때문에 A-자리 (PZT 에서 Pb-자리) 공공들의 이온화에 의해 홀 (hole) 들이 생성됨으로써 전기전도도가 증가하게 된다. 그러나, PLZT 박막의 경우 La³⁺ 이 A-자리인 Pb²⁺ 로 들어감에 따라 원자간 전기적 중성을 유지하기 위하여 공공의 생성을 억제시켜, 박막내의 자유캐리어의 수가 감소되기 때문에 전기전도도가 감소된다. 두 번째는 La 농도가 증가됨에 따라 PLZT 박막의 격자상수가 감소하여 하부전극인 백금 (Pt) 의 격자상수에 근접하게 되고 결과적으로 격자 부정합에 의한 응력이 감소함으로써 박막의 미세균열이 최소화되기 때문이며, 세 번째로 결정립 크기의 감소에 기인한 표면 거칠기의 개선 때문인 것으로 생각된다.

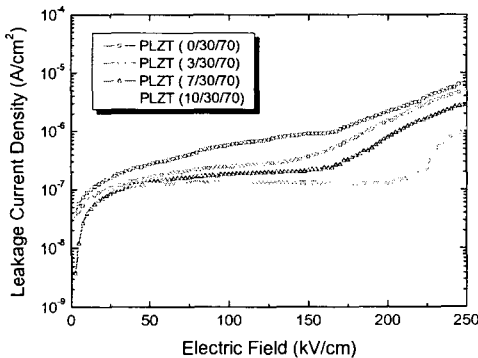


그림 5. 다양한 La 농도와 전기장의 변화에 따른 PLZT 박막의 누설 특성

Fig. 5. Leakage characteristics of PLZT thin films as a function of electric field with various La concentrations.

Fig. 6 은 La 농도를 0 에서 10 mol% 까지 변화시킨 PLZT 박막의 이력곡선을 나타낸 것이다. La 농도가 0

에서 10 mol% 로 증가함에 따라, 175 kV/cm 에서 얻은 PLZT 박막의 잔류분극 (P_r) 과 항전계 (E_c) 는 각각 20.8 에서 10.5 μC/cm² 로 54.48 에서 32.12 kV/cm 로 감소되었다. La 농도의 증가에 따른 잔류분극과 항전계의 감소는 PLZT 박막에서 공공의 존재로 설명할 수 있다. La 농도가 증가함에 따라, Pb 공공의 수가 증가되는데, 이것이 PLZT 박막에서 원자의 이동도를 증가시킨다. 이렇게 촉진된 원자의 이동도는 낮은 전계에서 도메인 운동을 활발하게 하여 항전계를 감소시키게 된다고 생각된다. 또한, 잔류분극의 감소는 앞서 결정학적 특성에서 살펴본 바와 같이 La 농도가 증가함에 따라 정방정성이 감소하여, Ti 이온의 이동이 감소되기 때문으로 생각된다.

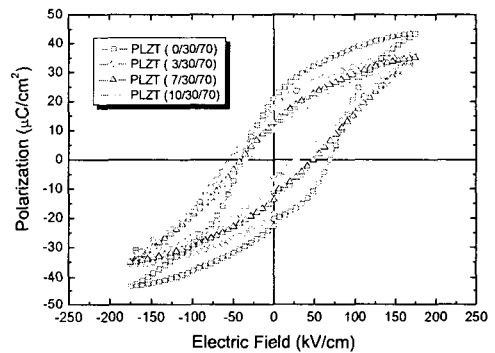
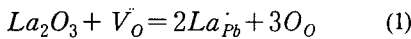


그림 6. 다양한 La 농도를 갖는 PLZT 박막의 강유전 이력곡선

Fig. 6. Ferroelectric hysteresis loops of PLZT thin films with various La concentrations.

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. 본 연구에서는 La 농도가 피로특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 La 농도를 0 에서 10 mol% 까지 변화시키면서 PLZT 박막의 피로특성을 조사하였다. Fig. 7 은 PLZT 박막에 ±5V 의 사각펄스 (square pulse) 를 인가하여 분극반전횟수에 대한 표준화된 분극값 (P⁺-P⁻) 을 나타낸 것이다. La 농도가 0 mol% 인 PLZT 박막은 10⁵ 회 이후에 급격한

분극량의 감소를 나타내었으며, 10^9 회에서의 분극값은 초기값에 비해 약 64% 감소하였다. 그러나, La 농도가 10 mol% 인 PLZT 박막의 경우 분극반전 횟수에 따른 분극량의 감소가 La 농도가 0 mol% 인 PLZT 박막에 비해서 억제되었으며, 10^9 회에서의 분극값은 초기값에 비해 약 40% 만이 감소되었다. 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.^[15-16] 따라서, 피로현상을 개선시키기 위해서는 이러한 산소공공의 생성을 억제시켜야 한다. PLZT 박막은 PZT에 La를 donor-dopant로 첨가한 것으로, 다음 식에 표현되어진 것처럼 산소공공의 생성을 억제시킬 수 있다.



이러한 원인에 기인하여 La 농도가 증가함에 따라 피로현상의 주된 원인이라고 알려져 있는 산소공공의 생성이 억제되며 또한, La 농도가 증가하면 PLZT 박막은 점점 상유전상을 가지게 되어 강유전체 도메인의 영향이 줄어들게 되기 때문에 피로특성이 개선되는 것으로 보인다.

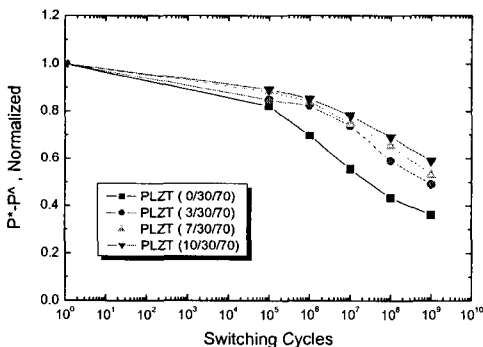


그림 7. 다양한 La 농도를 갖는 PLZT 박막의 표준화된 피로 성질

Fig. 7. Normalized fatigue properties of PLZT thin films with various La concentrations.

IV. 결론

비휘발성 메모리 응용을 위해 가장 적합한 PLZT 박막을 선정하기 위해, La 농도 변화에 따른 PLZT (x/30/70) 박막을 sol-gel 방법으로 제작하여, 구조적 및 전기적 특성을 조사하였다. PLZT 박막의 X-선 회절시험으로부터, 페로브스카이트 상 이외에 파이로클로르 상과 같이 바람직하지 않은 제 2 상은 나타나지 않았으며, La 농도가 0에서 10 mol%로 증가됨에 따라 정방정성 (c/a)은 1.032에서 1.01로 감소하였다. 또한, 10 kHz에서 측정된 비유전률은 La 농도가 0에서 10 mol%로 증가에 따라, 450에서 600으로 증가된 반면, 유전손실은 0.075에서 0.025로 감소되었다. 누설 전류밀도는 La 농도가 0에서 10 mol%로 증가함에 따라 100 kV/cm의 전기장에서 5.83×10^{-7} 에서 1.38×10^{-7} A/cm²으로 감소되었다. 175 kV/cm에서 이력곡선을 측정된 결과, La 농도가 증가함에 따라 잔류분극 (Pr)과 항전계 (Ec)는 각각 20.8에서 10.5 μ C/cm²로, 54.48에서 32.12 kV/cm로 감소되었다. 피로특성 측정 결과, La 농도가 10 mol%인 경우, 분극반전횟수에 따른 분극량의 감소는 La 농도가 0 mol%인 PLZT 박막에 비해서 억제되었으며, 10^9 회에서도 초기 분극값에 비해 약 40% 만이 감소되었다. 이로부터, La의 첨가가 강유전체 박막의 피로현상을 개선시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Deborah J. Taylor, Handbook of Thin Film Devices: Ferroelectric Films Devices, Academic Press, San Diego, pp. 71~75, 2000.
- [2] 유희준, 김시호, 유병관, 미래의 메모리 : FRAM, 시그마프레스, pp. 114~118, 2000.
- [3] K. Sakamaki, T. Hirai, T. Uesugi, H. Kishi and Yasuo Tarui, "Characteristics of a Metal/Ferroelectric/Insulator/Semiconductor Structure Using an Ultrathin Nitrided Oxide Film as the Buffer Layer", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, No. 4B, pp. L451~L453, 1999.
- [4] T. Sumi, "Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology", IEEE Trans. Electron., Vol. E79, pp.

812~818, 1996.

[5] T. Nakamura, Y. Fujimori, N. Izumi and A. Kamisawa, "Fabrication Technology of Ferroelectric Memories", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, No. 3B, pp. 1325~1327, 1998.

[6] M. Shimizu, H. Fujisawa and T. Shiosaki, "Properties of Ferroelectric (Pb,La)(Zr,Ti)O₃ Thin Films by MOCVD", Integrated Ferroelectrics, Vol. 10, pp. 23~30, 1995.

[7] T. Kijima, S. Satoh, H. Matsunaga and M. Koba, "Ultra-Thin Fatigue-Free Bi₄Ti₃O₁₂ Films for Nonvolatile Ferroelectric Memories", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, No. 2B, pp. 1246~1250, 1998.

[8] B. Yang, T. K. Song, S. Aggarwal and R. Ramesh, "Low voltage performance of Pb(Zr,Ti)O₃ capacitors through donor doping", Appl. Phys. Lett., Vol. 71, pp. 3578~3580, 1997.

[9] J. Yin, T. Zhu, Z. G. Liu and T. Yu, "Enhanced Fatigue and Retention Properties of Pb(Ta_{0.05}Zr_{0.48}Ti_{0.47})O₃", Appl. Phys. Lett., Vol. 75, No. 23, pp. 3698~3700, 1999.

[10] M. Klee, R. Eusemann and R. Waser, "Processing and Electrical Properties of Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ (x=0.2-0.75) Films: Comparison of Metallo-organic Decomposition and Sol-gel Process", J. Appl. Phys. vol. 72. no. 4, pp. 1566~1576, 1992.

[11] Yuhuan Xu, "Ferroelectric Materials and Their Applications", North-Holland, Amsterdam, pp. 101~162, 1991.

[12] H. Maiwa and N. Ichinose, "Dielectric Properties of (Pb,La)TiO₃ Thin Films by Multiple-Cathode Sputtering and Its Application to Dynamic Random Access Memory Capacitors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, No. 9B pp. 4976~4979, 1996.

[13] G. Teowee, J. M. Boulton, C. D. Baerteion, R. K. Wade and D. R. Uhlmann, "Electrical Properties of Sol-gel Derived La-Doped PbTiO₃-Coating Films", Integrated Ferroelectrics, Vol. 4. pp. 231, 1994.

[14] K. Koyama, and T. Sakuma, "A Stacked Capacitor with (Ba_xSr_{1-x})TiO₃ for 256 M DRAM", IEDM Tech. Digit., pp. 823~826, 1991.

[15] A. Thomas and D. Dearson, "Aging of Pizeoelectric Barium Titanate", IEEE 6 th International

Symposium on Applications of Ferroelectric, pp. 111, 1986.

[16] I. K. Yoo and S. B. Desu, "Ferroelectric Parameters of Lead Zirconate Thin Films", Mat. Res. Soc. Symp., Proc. vol. pp. 323~328, 1992.

저자약력

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 반도체학과 조교수
 ※관심분야 : VLSI 공정, 강유전체 박막 및 신소재

정운근(Yeun-Gun Chung)



1983년 2월 중앙대 물리학과 졸업 (이학사)
 1985년 2월 중앙대 물리학과 졸업 (이학석사)
 1988년 8월 중앙대 물리학과 졸업 (이학박사)

현재 여수대학교 반도체학과 교수
 ※관심분야 : 반도체 특성 분석 및 simulation

정양희(Yang-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