論文96-33A-2-11

La 농도가 PLT 박막의 전기적 및 광학적 특성에 미치는 효과

(The Effects of La Content on the Electrical and Optical Properties of (Pb, La)TiO_3 Thin Films)

姜 聲 俊 *, 柳 程 善 *, 尹 英 燮 *

(Seong Jun Kang, Jeong Seon Ryoo, and Yung Sup Yoon)

요 약

Sol-gel 법을 이용하여 제작한 (Pb, La)TiO_3 (PLT) 박막의 광학적 특성 및 전기적 특성에 La 의 농도가 미치는 영향을 조사하였다. PLT 박막의 광학적 특성과 전기적 특성은 La 농도에 크게 영향을 받는다. PLT 박막의 굴절률은 La 농도가 15mol% 에서 33mol%로 변함에 따라 2.23 에서 1.93 까지의 다양한 값을 가진다. 또 PLT 박막의 유전률도 La 농도가 15mol% 에서 33mol%로 변함에 따라 340 에서 870 까지의 값을 가지고 이력 곡선은 La 의 농도가 15mol% 에서 28mol% 로 증가함에 따라 점점 얇아졌다가, 28mol% 에서 33mol% 로 증가하면 다시 약간 넓어진다. 이들 결과에 의하면 PLT(28) 박막이 ULSI DRAM 용 capacitor dielectrics 로 응용될 수 있는 최적의 전기적 특성을 가짐을 알 수 있다. PLT(28) 박막의 100Hz 에서 비유전률과 유전손실은 각각 940 과 0.08 이었고 leakage current density 는 1.5×10^5 V/㎝ 에서 1×10^{-6} A/㎠ 이었다. 또한 PLT(28) 박막의 switching 특성 곡선의 실험값과 simulation 된 값을 비교하여 PLT(28) 박막이 normal dielectrics 처럼 행동함을 확인하였다.

Abstract

We have studied the effects of La concentration on the optical and electrical properties of lead lanthanum titanate (PLT) thin films by using sol-gel method. Both the optical and electrical properties are greatly affected by the La concentration. The refractive indices of the films varied from 2.23 to 1.93 with varying La concentration in the range from 15 to 33 mol%. The dielectric constants of the films vary from 340 to 870 with varying La concentration in the range from 15 to 33 mol%. Hysteresis loop becomes slimmer with the increase of La concentration from 15 to 28 mol% and a little fatter again with the increase of La concentration from 28 to 33 mol%. Among the films investigated in this research, PLT(28) thin film shows the best dielectric properties for the application to the dielectrics of ULSI DRAM's. At the frequency of 100 Hz, the dielectric constant and the loss tangent of PLT(28) thin film are 940 and 0.08, respectively. Its leakage current density at 1.5×10^5 V/㎝ is 1×10^{-6} A/㎠. The comparison between the simulated and the experimental curves for the switching transient characteristics shows that PLT(28) thin film behaves like normal dielectrics.

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

※ 본 연구는 94년도 교육부 신소재분야 연구지원에 의해 이루어졌습니다.

接受日字: 1995年7月29日, 수정완료일: 1995年12月22日

I. 서 론

강유전체 박막은 우수한 전기적 및 광학적 특성을 가지고 있어 여러 종류의 전자 또는 광전자 소자에 응용될 수 있다. 특히 이들 강유전체 박막 중에서 $Pb_{1-x/100}La_{x/100}TiO_3$ (PLT(x), x 는 La 농도) 박막은 La 농도에 따라 ferroelectric phase 에서 paraelectric

phase 로 변하므로 이에 따라 다양한 전기적 및 광학적 특성이 나타난다. 따라서 PLT 박막은 La 농도를 조절함에 따라 다양한 분야에 응용될 수 있다. 예를 들어, La 농도가 15mol% 이하인 PLT 박막은 pyroelectric coefficient (γ) 가 크고 비유전률이 작아 pyroelectric infrared detector 로의 응용에 적합하다.[1] 이러한 IR 센서는 상온에서 동작이 가능하고 감도의 파장 의존성이 없으며 가격이 저렴한 장점을 가지고 있으므로 전자레인지, 자동문, 인체센서, 침입경보기 등의 전자장치와 비접촉 온도 측정, 물체검지 등의 생산 공정에서 사용이 급증하고 있다. La 농도가 28mol% 이하인 PLT 박막은 광학적으로 투명도가 높을 뿐 아니라 박막에 인가해 주는 전기장의 세기에 따라 굴절률의 변화가 일어나는 electrooptic effect 가 크므로 이를 이용한 light shutter, coherent modulator, collor fiter, linear gate array, image storage device 등을 만들 수 있는데 이들 소자는 정보저장이나 광통신 또는 광 computing 등의 핵심부품이다.[2] La 농도가 28mol% 인 PLT 박막은 최근 가장 큰 관심을 끌고 있는 ULSI DRAM 의 capacitor dielectrics 로 응용이 가능하다.[3] 이는 La 이 28mol% 첨가된 PLT(28) 박막은 c/a 비가 1이고 curie temperature 가 약 -25℃ 이므로 DRAM 의 동작온도에서는 paraelectric phase 를 가지고 있으므로[3] 유전손실이 적고, switching time 이 빠르고, 이력현상과 연관된 fatigue 현상도 억제되기 때문이다. 강유전체 박막의 제작방법으로는 RF sputtering 법, CVD 법 등의 여러가지 방법이 있으나 최근에는 이들 방법에 비해 조성 제어가 용이하며, 설비가 매우 간단하여 박막을 제작하는 시간이 짧게 걸려서 장비면에 있어서나 비용면에 있어서 유리하고 표준 반도체 공정과 잘 부합되는 장점이 있는 sol-gel 법이 많이 연구되고 있다. 본 연구에서도 sol-gel 법으로 PLT 박막을 제작하여 여러 분야에서의 응용을 위해서 필수적인 PLT 박막의 물성과 전기적 및 광학적 특성에 미치는 La 농도의 영향을 조사하였다.

Ⅱ. 실험방법

PLT 박막을 sol-gel 법으로 제작할때의 방법에 대한 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다.

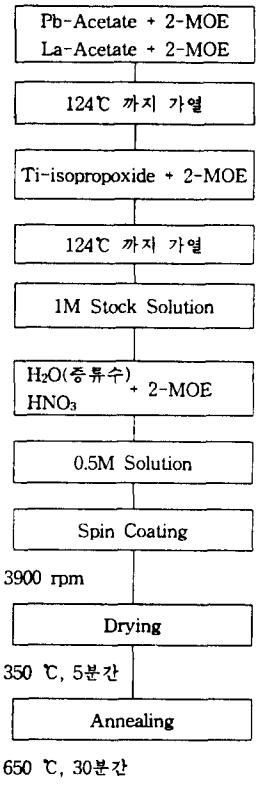

그림 1. PLT 박막의 제작 과정
Fig. 1. Preparation procedure of PLT thin film.

출발물질로는 $Pb(CH_3COO)_2 3H_2O$ (Aldrich), $La(OOCCH_3)_3 \cdot 1.5H_2O$ (Strem), $Ti(O\text{-}iC_3H_7)_4$ (Aldrich) 를 사용했으며 용매로는 비등점 (125℃) 이 높고 증기압이 낮은 2-Methoxyethanol 을 사용하였다. 촉매로는 질산 (HNO_3) 을 사용했으며 가수분해를 위해 증류수를 사용하였다. 출발물질로 사용되는 alkoxide 는 공기중의 수분에 매우 민감하므로 이를 방지하기 위해 질소 분위기의 glove box 내에서 조성에 해당하는 양을 칭량한 후, 질소분위기의 증류장치를 이용하여 stock solution 을 제작하였다. 이때 Pb 부족 때문에 pyrochlore 상이 생기는 것을 막기 위해 5mol% 의 Pb 를 과량으로 첨가하였다. Stock solution 의 제조와는 다른 과정으로 2-Methoxyethanol 에 질산 (HNO_3) 과 증류수를 섞은 hydrolysis solution 을 제조하였다. 이 hydrolysis solution 과 stock solution 을 같은 부피로 섞어 0.5 M coating solution 을 만들었다. 제작된

coating solution 은 spin coating 시 0.2 ㎛ filter (Gelman Science) 를 이용하여 여과시켜 사용하였다. 박막은 clean bench 내에서 spin coater 를 사용하여 3900 rpm 에서 30초간 회전시켜 기판위에 형성시켰다. coating 이 끝나면 350℃ 에서 5분간 건조하고 다시 coating 하는 방법을 사용했으며, 마지막 건조는 350℃에서 15분간 실시하였다. SEM 과 Ellipsometer 를 이용해서 조사한 결과 1회 coating 시 박막의 두께는 1200Å 이었다. 그 후 분위기 제어 없이 650℃에서 30분간 어닐링을 실시하여 박막의 제작을 완료하였다.

본 실험에서 광학적 특성을 측정하기 위해서 corning glass 7059 를 기판으로 사용하였으며 전기적 특성을 측정하기 위해서 사용한 기판은 $Pt/Ti/SiO_2/Si$ 의 구조를 가지며 P 형 Si wafer 위에 1000Å 의 SiO_2, 1000Å 의 Ti, 1500Å 의 Pt 를 증착하여 사용하였으며 이와같은 기판위에 제작된 PLT 박막위에 직경 0.8㎜ 의 gold dot 를 E-beam evaporator 를 이용하여 증착시켜 planar type 의 capacitor 를 제작하였다. 완성된 capacitor 의 구조는 Fig. 2 에 나타내었다.

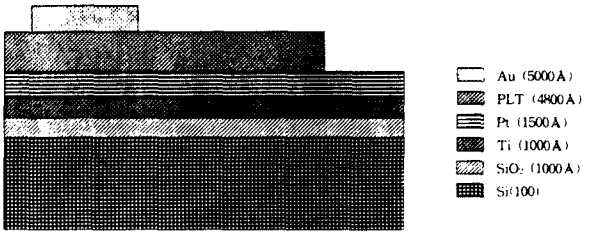

그림 2. PLT 캐패시터 구조의 단면도
Fig. 2. Diagram of the cross section of PLT MIM capacitor structure.

유기물이 분해되는 온도와 perovskite 결정으로 상전이 되는 온도를 확인하고 유기물이 제거되어 최종적으로 얻어지는 무기 산화물인 PLT 의 무게 감량 정도를 확인하기 위해 DTA-TGA 분석을 실시하였다. 결정화 특성 분석을 위하여 XRD 를, 또 막의 미세 구조 관찰은 SEM 을 이용하였다. 광학적 특성 분석은 corning glass 7059 위에 4회 coating 한 후 650℃ 에서 30분간 열처리한 PLT 박막을 가지고 실시하였으며 특성분석으로는 굴절률을 Ellipsometer (PLASMOS SD2300) 를 이용하여 측정하였고 투과도는 Spectrophotometer (Hitachi U3410) 를 가지고 측정하였다. 전기적 특성 분석은 $Pt/Ti/SiO_2/Si$ 구조를 갖는 기판 위에 4회 coating 한 후 650℃ 에서 30분간 열처리한 PLT 박막을 가지고 실시하였으며 주파수에 따른 유전률과 유전손실의 값은 LCR meter (Stanford Research. SR 720) 를 이용하여 측정하였고, Sawyer-Tower 회로를 이용하여 P-E hysteresis curve 를 측정하였다. 또 switching time 을 측정하였고 I-V curve (leakage current) 의 측정에는 Parameter analyzer (HP 4145B) 를 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

PLT 건조 gel 의 열분해 거동을 조사하기 위해 0.5M 의 sol 을 80℃ 에서 열처리하여 gel 화 시킨 후 10℃/min 의 승온속도로 공기중에서 DTA-TGA 분석을 실시하였고 그 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. 100℃ 부근에서 DTA 곡선의 미약한 흡열 peak 와 TGA 곡선의 미약한 중량 감소는 증류수와 용매의 증발에 기인한 것이며 300℃ 부근에서의 큰 발열 peak 와 큰 중량 감소는 금속 산화물의 형성과 용매 및 부산물의 증발에 기인한 것이다. 510℃ 부근에서 나타나는 발열 peak 는 결정 구조의 생성에 기인한 것이다. 전체적인 중량 감소는 약 18% 정도로 관찰되어 졌다. 이와 같은 분석은 PLT 박막의 열처리 조건을 결정하는데 유용한 정보로 참고되었다.

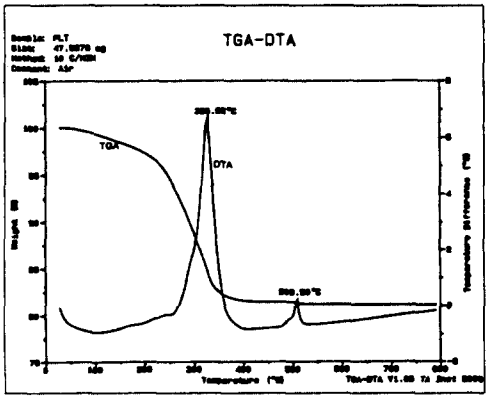

그림 3. 80℃에서 건조한 PLT(28) gel 의 TGA-DTA 특성 곡선
Fig. 3. TGA-DTA curves of the PLT(28) gel heat-tr.eated at 80℃.

PLT 박막들은 균열이 없는 치밀한 구조의 다결정 구조를 가진다. Fig. 4 는 PLT(28) 박막 표면의 SEM 사진이며 사진에서 보듯이 grain 의 크기는 대략 0.3㎛ 이었으며 공공은 관찰되지 않았다. 다른 PLT 박막들의 SEM 표면 사진도 유사하게 관찰되었다.

그림 4. 650℃ 에서 열처리한 PLT(28) 박막의 SEM 표면 사진
Fig. 4. SEM micrograph of the PLT(28) thin film annealed at 650℃.

PLT 박막들의 결정 구조는 La 농도가 증가함에 따라 tetragonal ferroelectric perovskite phase 에서 cubic paraelectric perovskite phase 로 변화한다.[14] PLT 박막들의 XRD pattern 들이 Fig. 5 에 나타나 있다. PLT(15) 와 PLT(21) 박막들은 tetragonal 구조를 가지므로 XRD pattern 에서 peak 의 splitting 이 있어야 하는데 이들의 XRD pattern 에서 보듯이 peak 의 splitting 은 관찰되지 않았다. 이에 반해 1~8㎛ 두께의 PLT(5), PLT(10) 박막들과 PLT(10), PLT(15) 분말의 XRD 결과에서는 peak 의 splitting 이 관찰됨이 보고 되고 있다.[15] Peak 의 splittig 이 관찰되지 않는 이유로 PLT(15) 와 PLT(21) 박막들의 unit cell 이 박막 상태에서는 pseudocubic 구조를 가지거나[16] 또는 peak 의 splitting 이 검출되지 못할 방향으로 grain 들이 정렬되어 있을것으로 생각해볼수 있다. 그러나 현재 정확한 원인은 밝혀져 있지 않고 있어 이에 대한 세밀한 연구가 요망된다.

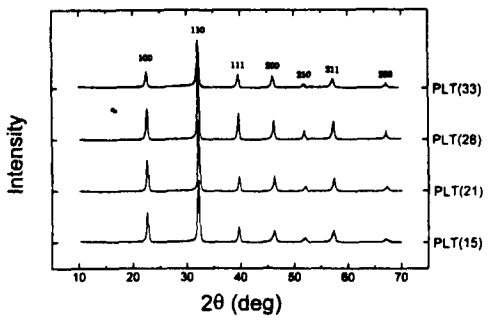

그림 5. 사파이어 기판위에 코팅된 PLT 박막의 La 농도 변화에 따른 XRD 특성
Fig. 5. X-ray diffraction patterns for the PLT thin films on Sapphire with various La concentrations.

PLT 박막의 La 농도에 따른 λ = 633nm 에서 측정한 굴절률의 변화를 Fig. 6 에 나타내었다. La 의 농도가 15mol% 에서 33mol% 로 증가함에 따라 굴절률은 2.23 에서 1.93 까지 선형적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. La 농도가 증가할수록 굴절률이 감소하는 이유는 PLT 박막에서 La^{+3} 이 Pb^{+2} 를 치환하기 때문에 La 농도가 증가하면 Pb 공극이 증가하여 박막의 치밀도가 감소하기 때문이라고 생각된다. 또한 이들 굴절률값을 fitting 하여 La 농도가 0mol% 인 $PbTiO_3$ 박막의 굴절률은 2.48 임을 추정할 수 있다. 이값은 Peng 등[17]이 보고한 $PbTiO_3$ 박막의 굴절률인 2.51 과 거의 일치하고 있다.

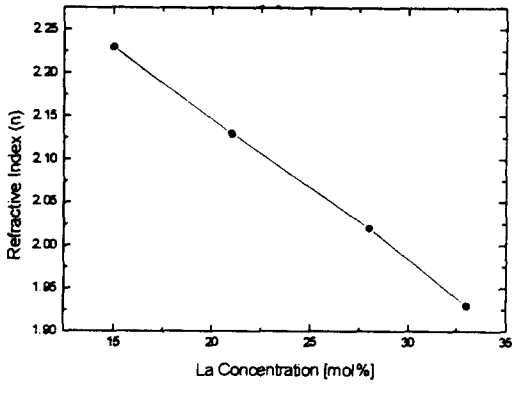

그림 6. PLT 박막의 La 농도 변화에 따른 굴절률 특성
Fig. 6. Refractive indices of PLT thin films as a function of La concentrations.

Corning glass 7059 위에 coating 한 두께 약 5000Å 의 PLT(28), PLT(33) 박막의 투과도 곡선을 Fig. 7 에 나타내었다. La 의 농도가 증가할수록 투과도가 증가하는데 이는 La 농도가 증가할수록 unit cell 의 왜곡이 감소됨으로 인해 결정립의 이방성이 줄어들고 이에 따라 scattering 이 줄어들기 때문이라고 보고되고 있다.[18] PLT(33), PLT(28) 박막의 투과도는 파장에 따라 틀리나 대략 70~80% 정도의 높은 투과도를 가지고 있으므로 광전자 소자로의 응용도 가능함을 알 수 있다.

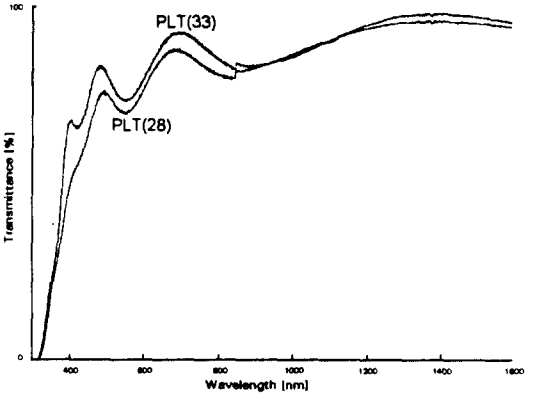

그림 7. PLT(28), PLT(33) 박막의 투과도 특성
Fig. 7. Transmittance curves for PLT(28), PLT(33) thin films on corning glass substrate.

PLT 박막들의 유전 특성에 미치는 영향을 Fig. 8 에 나타내었다. 1㎑ 에서 측정한 유전특성은 La 의 농도가 15mol% 에서 28mol% 로 증가함에 따라 유전률은 460에서 870으로 증가하고, La 농도가 33mol% 로 증가하면 340 으로 감소하였다. 이 측정값들은 bulk PLT 세라믹에서 보고된 값들보다 작다.[19] 그러나, RF-sputter 로 증착된 PLT 박막들과는 거의 일치한다.[15] 유전손실은 La 농도에 거의 의존하지 않으며 값의 범위는 0.05~0.08 사이로 측정되었다.

누설전류밀도가 La 농도와 전기장의 함수로서 Fig. 9 에 나타나 있다. 1.5×10^5 V/㎝ 이하의 전기장에서 누설전류밀도는 PLT(28) 박막을 제외하고는 La 농도에 따라 증가한다. 이 결과는 Boulton et al's 의 결과와 일치한다.[18] 2×10^5 V/㎝ 이상의 전기장에서 PLT(33) 박막의 누설전류 밀도는 여전히 PLT(15) 박막보다 크지만 PLT(21) 박막보다는 작게된다. 1.5×10^5 V/㎝ 이하의 전기장에서 PLT(28) 박막의 경우 누설전류밀도가 1×10^{-6} A/㎠ 으로 가장 작으나 2×10^5 V/㎝ 이상의 전기장에서는 가장 큰 값을 가진다. 주목할만한 점은 PLT(15), PLT(21), PLT(28) 박막의 전기장에 따른 누설전류밀도 증가 비율은 거의 같으나 PLT(33) 박막은 다른 박막들과 다른 경향을 보여준다.

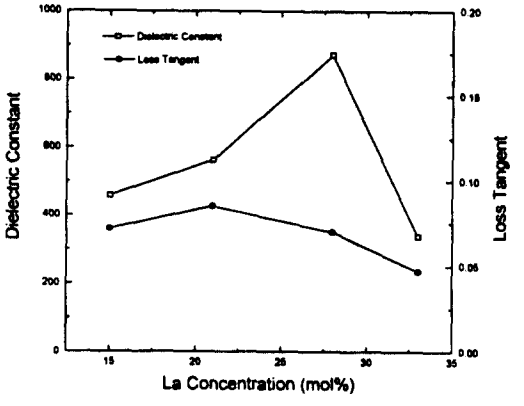

그림 8. La 농도에 따른 PLT 박막의 유전률과 유전 손실
Fig. 8. Dielectric constant and loss tangent of PLT thin films as a function of La concentration.

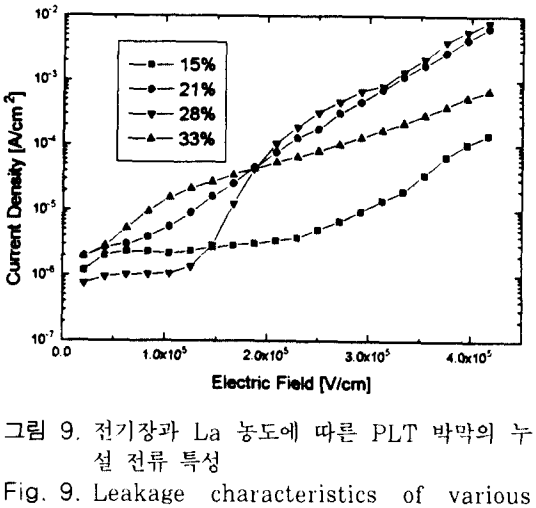

그림 9. 전기장과 La 농도에 따른 PLT 박막의 누설 전류 특성
Fig. 9. Leakage characteristics of various PLT thin films as a function of electric field.

PLT(15), PLT(21), PLT(28), PLT(33) 박막의 이력곡선들이 Fig. 10 에 나타나 있다. 이력곡선의 모양은 La 농도가 28mol% 에 이르기 까지는 점점 얇아

진다. 그러나, 28mol% 에서 33mol% 로 La 의 농도가 증가하면 이력곡선은 다시 약간 넓어진다. PLT(28), PLT(33) 박막은 paraelectric 특성을 가지므로 P-E 이력곡선은 직선 형태를 가져야 한다. 그러나 실제 측정 결과는 직선 대신에 매우 폭이 좁은 이력곡선이 얻어졌다. 이는 미세 영역에서의 불균일성 때문에 야기되는 diffuse phase transition 때문인 것으로 생각되고 있다.[10]

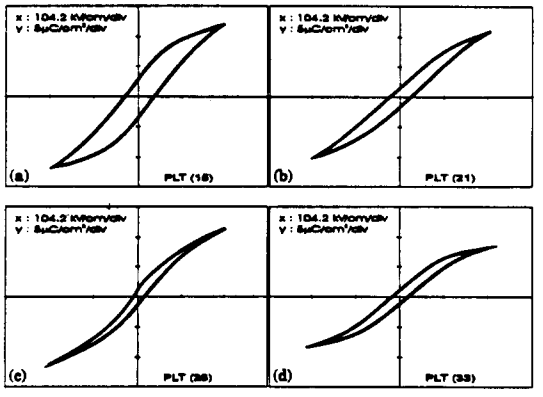

그림 10. La 농도 변화에 따른 PLT 박막의 P-E 이력 곡선

Fig. 10. P-E hysteresis loops of PLT thin films with various La concentrations.

La 농도에 따른 PLT(x) 박막의 잔류분극(P_r)과 항전계(E_c)의 변화를 Fig. 11 에 나타내었다. La 의 농도가 28mol% 가 될 때까지는 잔류분극과 항전계값은 점진적으로 감소한다. 이는 La 농도의 증가에 따른 c/a 비의 감소 때문이다. 그러나 La 농도가 28mol% 에서 33mol% 로 증가하면 잔류분극 값은 거의 같은 값을 가지지만 항전계값은 약간 증가한다. 항전계값의 증가는 La 농도가 증가함에 의해 발생하는 미세영역의 불균일성이 증가하기 때문이라고 생각된다.

PLT(28) 박막의 주파수에 따른 유전특성을 Fig. 12 에 나타내었다. 100Hz 에서 유전률과 유전손실의 값은 각각 940 과 0.08 이었다. 유전률은 주파수가 증가함에 따라 감소하게 되는데, 이는 grain boundary 뿐만 아니라 전극과 유전체 사이의 계면에서 발생하는 계면분극효과 때문이다.[11] 10㎑ 까지의 주파수 범위에서는 주파수가 증가함에 따라 유전손실이 감소하나, 10㎑ 이상의 주파수에서 유전손실은 다시 증가한다. 일반적으로 유전손실은 주파수에 반비례하는 것으로 알려져 있다.[12] 10㎑ 이상에서 유전손실이 증가하는 것은 잔류공극에 의한 유전전도도의 증가에 기인한 것으로 생각되고 있다.[12]

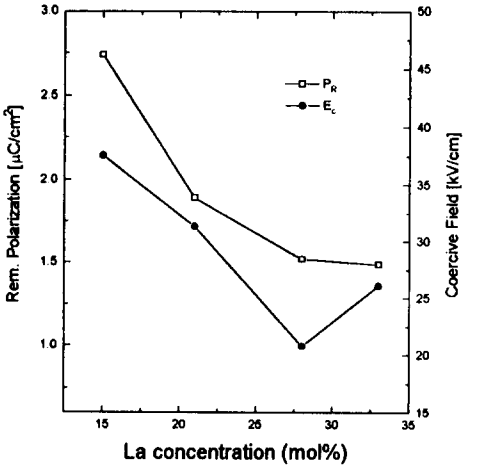

그림 11. La 농도에 따른 PLT 박막의 잔류분극과 항전계

Fig. 11. Remanent polarization and coercive field of PLT thin films as a function of La concentration.

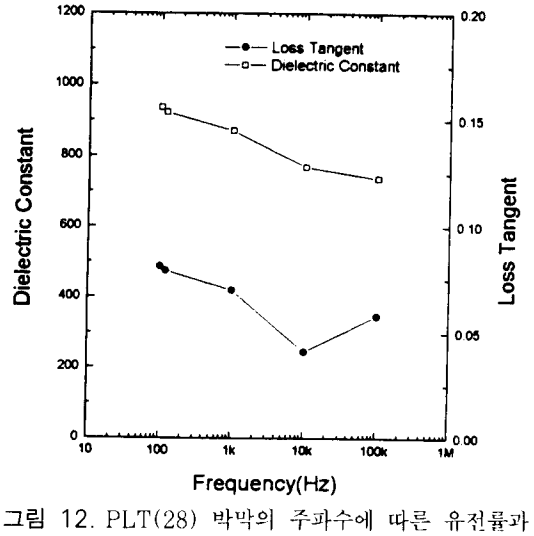

그림 12. PLT(28) 박막의 주파수에 따른 유전률과 유전손실

Fig. 12. Dielectric constant and loss tangent as a function of frequency for PLT(28) thin film.

DRAM 에서 capacitor 의 switching time 은 소자의 속도를 결정하는 매우 중요한 요소이다. Fig. 13

에 PLT(28) 박막의 5V 에서의 switching 특성을 실험결과와 simulation 결과로 나누어 나타내었다. Test circuit 에는 3.3kΩ 의 load resistance 가 사용되었는데 이는 on 상태의 pass transistor 가 3.3 kΩ 의 effective channel resistance 를 가지고 있기 때문이다.[13] 이론적인 simulation 은 capacitor dielectric 이 normal dielectric 처럼 행동한다는 가정을 세우고 SPICE 로 수행하였다. 그 결과 실험적인 측정치와 거의 일치함을 볼 수 있으며, 따라서 PLT(28) 박막은 normal dielectrics 처럼 행동함을 알 수 있다.

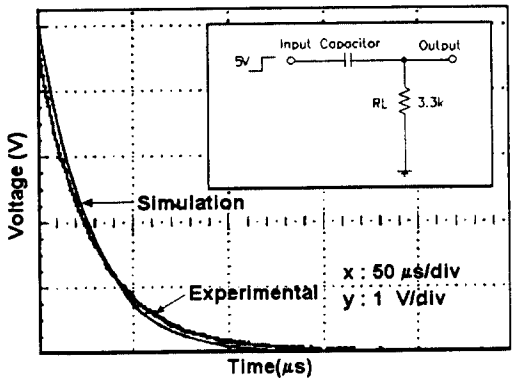

그림 13. PLT(28) 박막의 스위칭 특성
Fig. 13. Switching characteristics of the PLT(28) thin film.

Ⅳ. 결 론

La 의 농도가 15, 21, 28, 33mol% 인 PLT 박막이 sol-gel 법에 의해 제작되었다. La 농도에 따른 구조 변화를 관찰하기 위해 XRD 측정을 행하였다. 그러나 XRD pattern 으로부터 peak splitting 과 같은 La 농도에 따른 tetragonality 의 변화에 대한 증거는 관찰하지 못했다. Peak splitting 이 발견되지 않는 원인은 PLT(15) 나 PLT(21) 박막이 실제로 pseudocubic 구조를 가지거나 peak 의 splitting 이 검출되지 못할 방향으로 grain 들이 정렬되어 있기 때문이라고 생각된다. 광학적 특성을 측정한 결과 굴절률은 La 농도가 15mol% 에서 33mol% 로 증가함에 따라 2.23 에서 1.93 으로 감소하는 경향을 보였으며 PLT(33), PLT(28) 투과도는 파장에 따라 틀리나 대략 70~80% 정도의 높은 투과도를 가지고 있다. 전기적 특성을 측정한 결과 유전률은 La 의 농도가 15mol% 에서 33mol% 까지의 범위에서 340 에서 870 범위의 값을 가진다. PLT(28) 박막의 유전률은 870 으로 최대값을 가진다. 유전손실값은 이 범위에서 La 농도에 따라 크게 변하지 않으며 값의 범위는 0.05 에서 0.08 로 측정되었다. 이력곡선의 모양은 La 농도가 15mol% 에서 28mol% 로 증가됨에 따라 점점 얇아지다가 28mol% 에서 33mol% 로 La 농도가 증가하면 다시 약간 넓어진다. 상온에서 paraelectric 특성을 가지는 PLT(28) 과 PLT(33) 박막의 이력곡선이 직선 대신에 매우 폭이 좁은 형상을 갖는 것은 미세 영역의 불균일성에 의해 야기되는 diffuse phase transition 때문인 것으로 생각된다. 잔류분극과 항전계값도 La 의 농도가 15mol% 에서 28mol% 로 증가함에 따라 감소하지만 La 의 농도가 28mol% 에서 33mol%로 증가하면 잔류분극값은 거의 같지만 항전계값은 다시 증가한다.

본 연구 결과 PLT(28) 박막이 DRAM 응용을 위한 최적의 유전특성을 보임을 알 수 있었다. 100Hz 에서 유전률과 유전손실이 각각 940 과 0.08 로 측정되었고 PLT(28) 박막의 두께 480nm 는 SiO_2 equivalent thickness 로 환산하면 1.94nm 이다. PLT(28) 박막의 누설전류밀도는 1.5×10^5 V/cm 의 전기장에서 1×10^{-6} A/cm² 이었다. PLT(28) 박막의 switching 특성은 실험적인 측정치와 SPICE 를 사용하여 simulation 한 값과 거의 일치하므로 PLT(28) 박막이 normal dielectric 처럼 행동함을 알 수 있다. 이들 결과로부터 capacitor 제작 기술을 좀 더 발전시키면 PLT(28) 박막은 G-DRAM 에도 적용되어 질 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] Nobuaki Nagao, Takayuki Takeuchi and Kenji Iijima, "Preparation and Properties of (Pb, La)TiO_3 Pyroelectric Thin Films by RF-Magnetron Sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 32, pp. 4065~4068, Sep. 1993.

[2] G.H. Haertling, "PLZT Electrooptic Materials and Applications-A Review", *Ferroelectrics*, vol. 75, pp. 25~55, 1987.

[3] D. Henning and K. H. Hardtl, "The distribution of vacancies in lanthana-doped lead titanate", *Phys. Status Solidi (a)*, vol.3, pp. 465~474, 1970.

[4] G. H. Haerdtling and C.E. Land, "Hot-pressed (Pb, La)(Zr, Ti)O_3 ferroelectric ceramics for electrooptical applications", *J. Amer. Ceram. Soc.*, vol. 54, no. 1, pp. 1~11, 1971.

[5] Kenji Iijima, Ryoichi Takayama, Yoshihiro Tomita, and Ichiro Ueda, "Epitaxial growth and the crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties of lanthanum-modified lead titanate thin films", *J. Appl. Phys.* vol. 60, no. 8, pp. 2914~2915, 15. Aug. 1986.

[6] R. W. Schwartz, B. A. Tuttle, D. H. Doughty, C. E. Land, D. C. Goodnow, C. L. Hernandez, T. J. Zender, and S. L. Martinez, "Preparation and Characterization of Chemically Derived (Pb, La)TiO_3 Thin Films", *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. 38, pp. 677~683, Nov. 1991.

[7] C. H. Peng, S. W. Park, and S. B. Desu, "Characterization of Chemically Deposited PZT Films", *Ceramic Transactions*, vol. 25, pp. 169~186, 1992

[8] G. Teowee, J. M. Boulton, C. D. Baertlein, R. K. Wade, and D. R. Uhlmann, "Electrical Properties of Sol-gel Derived La-doped $PbTiO_3$-containing Films", *Integrated Ferroelectrics*, vol. 4, pp. 231~238, Apr. 1994.

[9] D. Berlincourt, *Sandia Corp. Tech. Rep.*, "Piezoelectric ceramic materials", SC-4203(TR), U. S. Dept. Commerce, Washington DC, 1958.

[10] W. Ren, Y. Liu, J. Qiu, L. Zhang, and X. Yao, "Properties of PLT Thin Films by Thermal Decomposition of Metallo-organic Compounds", *Ferroelectrics*, vol. 152, pp. 201~206, 1994.

[11] S. K. Dey and R. Zuleeg, "Processing and Parameters of sol-gel PZT thin-film for GaAs memory applications", *Ferroelectrics*, vol.112, pp. 309~319, 1990.

[12] W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics* 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 937, 1976.

[13] S. K. Dey and J.-J. Lee, "Cubic Paraelectric (Nonferroelectric) Perovskite PLT Thin Films with High Permittivity for ULSI DRAM's and Decoupling Capacitors", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 39, pp. 1607~1613, Jul. 1992.

저 자 소 개

尹 英 燮(正會員)

1952년 9월 7일생. 1975년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월 한국과학원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 12월 U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph.D). 1987년 3월 ~ 1988년 5월 Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월 ~1989년 6월 UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월 ~ 1992년 2월 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1992년 3월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 조교수. 주관심분야는 ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectrid 센서, SAW Device 등임.

柳 程 善(正會員)

1971년 3월 29일생. 1994년 2월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1994년 3월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야는 ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막 등임

姜 聲 俊(正會員)

1965년 7월 10일생. 1989년 2월 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 2월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1994년 9월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심분야는 메모리응용을 위한 강유전체 박막, pyroelectric 센서 등임.