

레이저 어블레이션에 의한 (Pb,La)TiO₃ 박막의 제작조건에 따른 특성

Characteristics of (Pb,La)TiO₃ Thin Film by Deposition Condition of Pulsed Laser Ablation

박정흠*, 박용욱**, 마석범***

(Jeong-Heum Park*, Yong-Wook Park**, Suk-Beom Mah***)

Abstract

In this study, high dielectric materials, (Pb,La)TiO₃ thin films were fabricated by PLD (Pulsed Laser Deposition) method and investigated in terms of structural and electrical characteristics in order to develop the dielectric materials for the use of new capacitor layers of Giga bit-level DRAM. The deposition conditions were examined in order to fabricate uniform thin films through systematic changes of oxygen pressures and substrate temperature. The uniform thickness and smooth morphology of (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃ thin films were obtained at the conditions of substrate-target distance 5.5[cm], laser energy density 2.1[J/cm²], oxygen pressure 200[mTorr] and substrate temperature 500[°C]. After the (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃ thin films were fabricated under the above conditions, they were post-annealed by RTA process in order to increase the dielectric constant. The film thickness of 1200 [Å] had dielectric constant 821. Assuming that operating voltage is 2V, leakage current density of (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃ thin films would result into 10⁻⁷[A/cm²] and satisfied the specification of 256M DRAM planar capacitor, 4×10⁻⁷[A/cm²]

Key Words : dielectric thin film capacitor, (Pb,La)TiO₃ thin films, pulsed laser deposition, in-situ deposition

1. 서 론

강유전체 박막의 응용분야는 반도체소자용 캐패시터, IR 센서, 전기광학소자, micromachine 등의 다양한 분야를 들 수 있다. 특히, Giga bit급 이상

의 ULSI DRAM에서 유전체 캐패시터층으로의 응용을 위해 SrTiO₃, (Ba,Sr)TiO₃, (Pb,La)TiO₃ 등의 강유전체 박막에 관한 연구가 활발히 진행되었다 [1-3]. 본 논문에서는 (Pb,La)TiO₃(이하 PLT)를, 저온에서의 박막형성 및 고품위의 배향성 박막형성에 유리한 것으로 알려진 PLD (Pulsed Laser Deposition)법을 이용하여 박막화시켜 DRAM 캐패시터층 물질로의 응용가능성을 검토하고자 한다.

PLT와 같은 다성분계 화합물은 낮은 용점을 가지는 금속인 Pb를 함유하고 있다. 따라서, 저산소압하에서 박막을 형성하는 것은 기판의 온도가 높게 되면 기판에서 재증발이 발생하여 조성적인 오

* : 김포대학 전자정보계열
(김포시 월곶면 포내리 산14-1,
Fax : 031-989-4387
E-mail : jhpark@kimpo.ac.kr)

** : 남서울대학교 전자정보통신학부

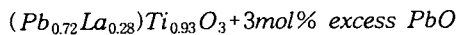
*** : 용인송담대학 전기설비과

2001년 7월 25일 접수, 2001년 8월 22일 1차심사완료
2001년 10월 15일 2차심사완료, 2001년 10월 25일 3차
심사완료

차를 일으키므로 가능한 높은 산소압 및 저온에서 박막을 형성함이 바람직하다[4,5]. PLD법에 의한 박막형성은 타겟으로부터 이온들이 플룸을 통해 운동에너지를 가지고 기판 쪽으로 방출되므로 다른 방법에 비해 높은 분위기압 및 저온에서 막의 형성이 가능하다. 그러나, 분위기압이 너무 높게 되면 대면적의 균일 박막형성이 곤란하고 또한, 분위기압이 막의 결정화 온도에 영향을 미치므로 성막조건에 대한 면밀한 검토가 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 PLD법을 이용하여 $(Pb_{0.72}La_{0.28})TiO_3$ 박막을 제작함에 있어서 성막시의 산소압과 기판의 온도를 체계적으로 변화시켜 산소압이 결정화 온도에 미치는 영향을 고찰하고 이에 따른 박막의 구조적, 전기적 특성의 변화를 평가하였다.

2. 실험 방법

PLD법에 사용된 타겟은 일반적인 산화물 혼합법을 사용하여 아래의 조성식으로 제작하였다.



여기서, Pb자리에 La가 치환됨에 의해 B위치인 Ti 자리에 공극자점이 생기므로[6], 이를 보상하기 위해 Ti를 0.93[mol%]로 평량하였고, 또한 소결 중 발생하는 융점이 낮은 Pb성분의 휘발을 보상하기 위해 3[mol%]의 PbO를 과잉 평량하였다. 성형된 $(Pb,La)TiO_3$ 을 1150[°C]에서 2시간 동안 소결하여 이론밀도 대비 95[%]이상의 밀도를 가지는 세라믹스 타겟을 제작하였다. PLT 박막을 제작하기 위한 기판으로는, Pt(2000Å)/Ti(500Å)/SiO₂(6000Å)/Si(p-type)를 사용하였다. 박막형성은 기판을 결정화 온도까지 가열한 상태에서 형성하는 in-situ 방법을 사용하였다. 챔버를 10⁻⁵ [Torr]까지 진공상태로 만든 후 기판을 성막될 온도로 가열하여, 성막온도에 달하면 목적하는 분위기를 만들기 위해 적당한 압력까지 O₂를 공급하여 성막을 시작한다. 레이저 원으로는 3rd harmonic generator를 이용한 파장 355nm의 Nd:YAG laser를 사용하여 주파수 10[Hz]로 타겟을 ablation하였다. 성막이 끝난 후 1[atm.]의 O₂ 분위기에서 온도를 그대로 유지하면서 10 분간 후열처리를 행한다. 실험에 사용된 조건을 표 1에 요약하였다.

제작된 PLT박막의 구조적 특성을 평가하기 위해 XRD, SEM, AFM, AES 분석을 하였고, 전기

적 특성 측정을 위해 Au를, 진공증착기를 이용하여 상부전극으로 형성시켜, 직경 250µm의 원형캐패시터 구조를 만들었다. 이를 통해 유전특성, 누설전류밀도를 측정하여 박막의 전기적 특성을 평가하였다.

표 1. 산소압 및 기판온도 변화 실험에서의 파라미터.

Table 1. Parameter of experiment O₂ pressure and deposition temperature.

Energy Density	2.1 [J/cm ²]
Target-Substrate Distance	5.5 [cm]
O ₂ Pressure	50, 200, 600 [mTorr]
Deposition Temperature	400~650 [°C]
Deposition Time	20 [min]
Post-anneal condition	1atm O ₂ at Depo. temperature

3. 결 과

3.1 산소압에 따른 박막의 구조적 특성

표 1에서 기술한 조건하에서 20분간 박막을 형성한 결과, 박막의 두께는 기판의 온도와는 무관하고, 산소압에 따라 크게 변화하여 50, 200, 600 [mTorr]의 산소압하에서 각각 1500, 2200, 3000[Å] 두께의 박막이 형성되었다. 산소압의 변화는 성막 속도 뿐만 아니라 박막의 표면 거칠기에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서, 산소압의 변화에 따른, PLT박막의 표면 거칠기를 AFM (Atomic Force Microscopy)으로 관찰하여 그림 1에 나타내었고, 그의 특성인자를 표 2에 나타내었다. PLD법으로 제작된 PLT박막은 산소압이 200[mTorr]일 때 표면이 가장 평탄함을 알 수 있으며, 특성인자들이 이전에 Sol-Gel법으로 제작된 박막[7]의 표면 거칠기와 비슷한 값을 가진다. 따라서 산소압이 200[mTorr]일 때 플룸을 통해 운반된 각 입자들의 상호간 반응이 가장 원활히 이루어진 것으로 판단된다.

한편, PLD in-situ법을 이용한 성막에 사용된 Pt/Ti/SiO₂/Si기판에서, 버퍼층인 Ti가 Pt쪽으로 확산하여 유전체막 형성시 에피택셜 seed 역할을 하

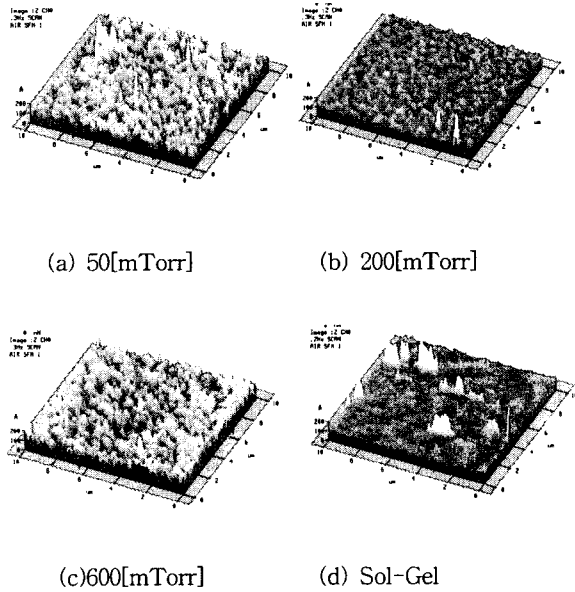


그림 1. 박막의 AFM 표면 이미지.

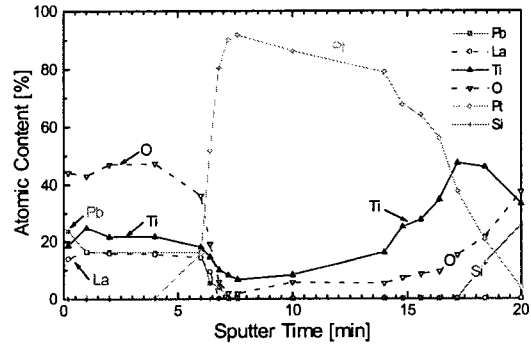
Fig. 1. AFM images of thin films.

는 등의 영향을 끼치는 것으로 보고된 바 있다 [8,9]. 이러한 Ti층의 확산은 주로 가열된 기판의 열에너지에 의한 것이지만 산소압의 영향도 있으리라 예상된다. 따라서, 본 논문에서는 기판온도를, Ti의 확산이 시작되리라고 예상되는 500[°C]로 하고, 두 개의 다른 산소압(50[mTorr], 200[mTorr]) 하에서 성장된 PLT박막을 AES(Auger Electron Spectroscopy)로 분석하였다. 이를 통해 Ti층이 실

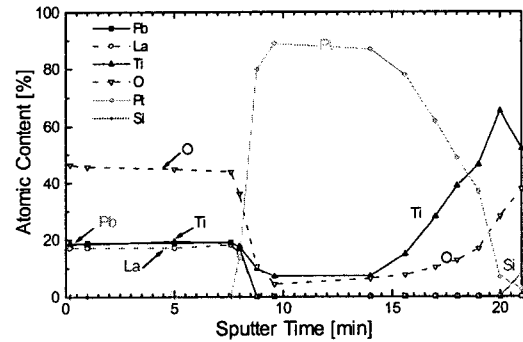
표 2. AFM법에 의한 박막의 표면특성인자.
Table 2. Surface roughness parameters of thin films from AFM method.

Specimen	Rp-v [Å]	RMS roughness[Å]	Aver. roughness[Å]
(a) 50mTorr	570.5	44.3	34.9
(b) 200mTorr	396.4	18.5	14.0
(c) 600mTorr	559.1	48.2	38.3
(d) Sol-Gel	489.4	25.1	14.5

제로 유전체층까지 확산을 일으키는지를 확인하였다. AES분석의 측정값은 AES 시스템이 noise 성분까지 지정된 물질의 피크로 인식하여 구성원자 성분으로 나타낸 것이므로 실제 원소가 존재하지 않는 구간에도 있는 것으로 나타난다. 이것을 보정하기 위해 특정한 스퍼터 구간에서 검출되는 피크를 직접 출력하여 피크의 크기와 Auger Sensitivity Factor로부터 구성원자의 함량을 계산하였고, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 스퍼터 초기에는 PLT박막의 성분인 Pb, La, Ti, Oxygen이 검출되며 이후 Pt가 검출되고 Ti 비퍼층이 나타나다가 SiO₂가 나타나고 있다. 두 시편 모두 Ti 비퍼층이 Pt쪽으로 상당부분 확산한 상태를 보이고 있으며 이 Ti가 500[°C]정도의 비교적 낮은 기



(a) 50[mTorr] Oxygen pressure



(b) 200[mTorr] Oxygen pressure

그림 2. AES를 이용한 박막과 전극층의 산소압에 따른 조성 분석.

Fig. 2. Atomic content analysis of thin films and electrode layers of varying Oxygen pressure by AES.

판온도에도 불구하고 유전체 PLT층까지 확산함을 알 수 있다. 한편 Pt-Ti층과 PLT유전체층이 공존하는 영역이 일부 존재하는데 이 부분은 전극성분에 의한 페로브스카이트 구조 형성의 미숙으로 형성된 것으로 생각되며 이 경우, 이 영역은 전도성이 강하고 낮은 유전율을 가지는 선형유전체층으로 기능하게 되리라 판단된다[10]. 한편, $(\text{Pb}_{0.72}\text{La}_{0.28})\text{TiO}_3$ 박막에서의 조성비는 상당히 부정확한 것으로 나타나는데, 이는 보정을 하였다고 해도 AES장비에 따라 각 원소에 대한 검출감도가 달라 정량적으로 정확한 측정은 곤란하기 때문에 판단된다. 그러나, 두 개의 서로 다른 산소압 조건에서의 조성비의 상대적인 비교는 가능하다고 판단되며 이러한 관점에서 볼 때, 50[mTorr] 산소압하에서는 200[mTorr]하에서보다 Ti가 상당부분 결핍된 박막이 형성되는 것으로 보인다. 이러한 저산소압하에서 Ti결핍의 원인으로는 상대적으로 가벼운 금속인 Ti원자가 타겟으로부터 ablation에 의해 박리된 후 저산소압하에서는 아주 큰 운동에너지를 가지고 가열된 기판 위로 충돌됨에 따라 기판면 위에서 다시 스퍼터링됨에 의한 것으로 예상된다[11].

3.2 산소압과 기판온도에 따른 박막의 유전 특성

그림 3에 성막온도에 따른 XRD분석 결과를 나타내었다. 600[°C]이상의 온도에서는 PLT (100), (200) peak가 급격히 감소하여, Si와 Pt 이외의 PLT peak는 관찰되지 않는데, 이는 박막의 결정화가 진행되지 않은 것이 아니고, 결정이 (111)방향으로 우선배향된 결과, 다른 peak는 나타나지 않고, PLT (111) peak는 Pt (111) peak와 중첩되어 구분이 되지 않는 것으로 판단된다. (111) PbTiO_3 peak는 Pt (111) peak보다 작은 각도에 존재하지만 La의 치환으로 격자정수가 감소하여 (111) PLT peak가 Pt (111) peak로 이동하여 구분이 곤란하게 된다[12]. 한편, 36[°]와 38[°]근방에서 전 시편에 걸쳐 이상 피크가 보이는데, 이는 성막 중 열처리 동안에 기판에서의 Ti가 위로 확산하여 Pt와 반응해서 생성된 Pt-Ti 금속간화합물의 피크로 판단된다. 이러한 Pt-Ti 화합물은 perovskite 핵 생성 site를 제공하며 방향성에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다[10].

사진 1에 성막온도에 따른 미세구조의 변화를 SEM 사진을 통하여 나타내었다. (a)의 500[°C]에서 성막된 시편은 낮은 성막온도로 인해 결정화가

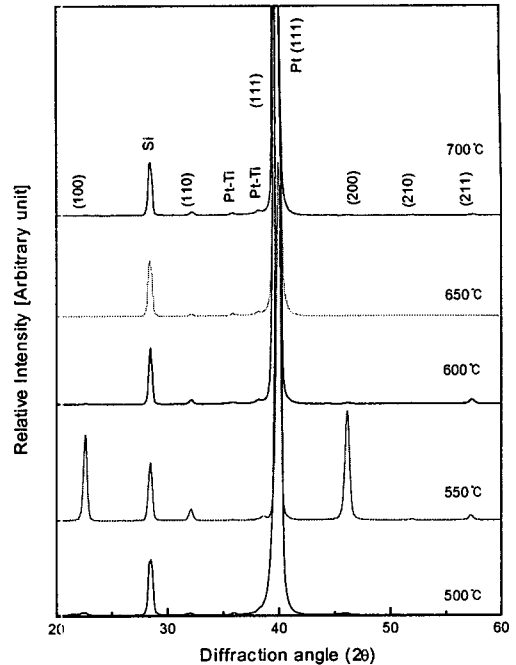


그림 3. 성막온도에 따른 XRD 분석.

Fig. 3. XRD analysis of varying deposition temperature.

비교적 덜 진행된 것으로 보인다. 이는 XRD분석 결과에서 상대적으로 작은 결정피크를 보인 것으로도 확인할 수 있었다. (b)의 550[°C]에서 성막된 시편은 결정 성장은 이루어 졌으나, 결정의 형태가 평판 형태를 보인다. 600[°C]이상에서 성막된 경우는 사진 (c)와 (d)에 나타난 것처럼 결정립이 주상으로 잘 성장하였음을 알 수 있었다.

그림 4에 산소압과 기판온도에 따른 $(\text{Pb}_{0.72}\text{La}_{0.28})\text{TiO}_3$ 박막의 유전율의 변화를 나타내었다. 먼저, 각 산소압하에서 최대 유전율이 나타나는 기판온도는 산소압이 50[mTorr]일 때 500[°C], 200[mTorr]에서 525[°C], 600[mTorr]에서 550[°C]로, 산소압이 감소할수록 최대유전율을 보이는 기판온도도 감소한다. 이의 원인으로 생각되는 것은 첫째로, 낮은 분위기압에서는 타겟으로부터 방출되는 adatom의 이동도가 더 커지므로 박막의 결정화가 비교적 저온에서도 이루어진 결과로 생각된다[13]. 두 번째 원인으로, Ti확산에 의한 하부전극에서의 이상형성을 고려할 수 있다. 비교적 가벼운 금속인 Ti입자는 기판가열에 의해 열에너지를 받아 Pt쪽으로 확산되어 유전체막과의 경계면에서 유전

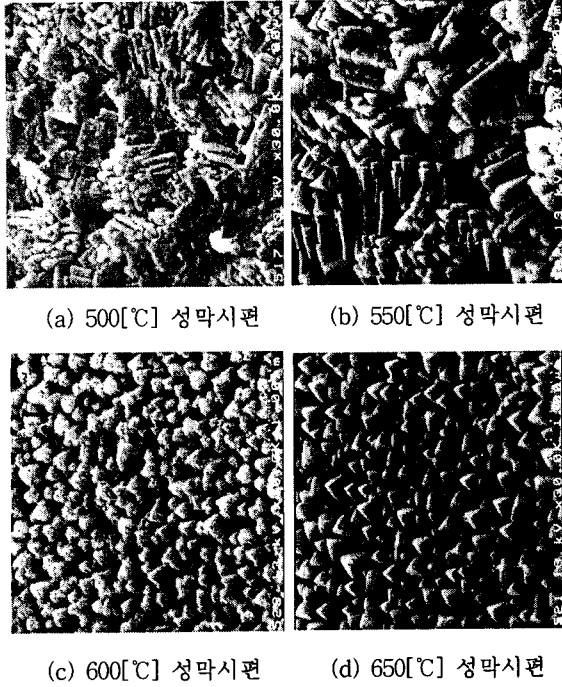


사진 1. 성막온도에 따른 박막의 미세구조(3만 배).
Photo 1. Microstructure of thin films of varying deposition temperature.

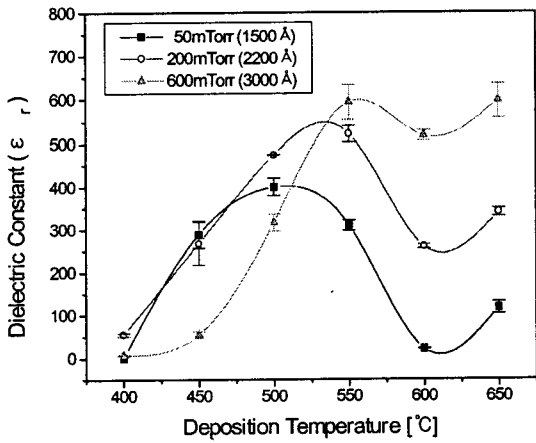


그림 4. 기판온도와 산소압에 따른 유전율.
Fig. 4. Dielectric constant of varying substrate temperature and oxygen pressure.

율이 낮은 이상을 형성시키는데[10], 분위기압이

낮을수록 더 낮은 기판온도에서 확산이 시작되므로 이상의 출현온도가 낮아져서 이 결과, 온도증가에 따른 유전율의 감소부분이 산소압이 낮을수록 더 낮은 온도에서 시작되게 된다. 한편 산소압과 무관하게 기판온도 600[°C]에서 가장 낮은 유전율을 보이는 것은 이 온도가 형성된 이상의 영향이 가장 큰 기판온도임을 나타내고 있고, 또한 두께가 가장 두꺼운 600[mTorr] 성막시편에서 유전율의 감소가 가장 적은 것으로도 계면의 이상에 의한 유전율의 감소임을 추측할 수 있다. 산소압과 무관하게 모든 시편이 650[°C]에서 다시 유전율이 증가하는 것은 이상의 형성은 종료되고, SEM사진에서 확인한 바와 같이 PLT박막의 결정립이 성장함에 의한 것으로 판단된다. 가장 높은 유전율은 600[mTorr]의 산소압에서 기판온도 550[°C]에서 형성된 막에서 나타났다.

그러나, 그림 4에 나타난 것처럼, 박막의 부위에 따른 유전율의 편차가 크다는 문제가 있고, 또한 막의 두께가 다른 산소압에서의 시편보다 두껍기 때문에 이상의 영향이 상대적으로 작아 비교적 큰 유전율을 나타낸 것으로 보인다. 이에, 산화막 유효 두께 $T_{ox,eq}$ 를 계산하여 그림 5에 나타내어 두께에 따른 유전율의 증가분을 고려한 결과, 산소압 50[mTorr]인 시편에서는 기판온도 500[°C]에서, 산소압 200, 600[mTorr]인 두 시편에서 기판온도 550[°C]에서 가장 낮은 $T_{ox,eq}$ 를 보였다. 그림 5의 결과와, 그림 4에서의 유전율의 편차를 고려할 때, 산소압 200[mTorr], 기판온도 500[°C]에서 제작된 박막이 유전율의 오차가 가장 작고 비교적 높은 유전율을 가지므로 이 조건이 가장 적합한 성막조건으로 판단된다. 그러나, 이 조건에서 제작된

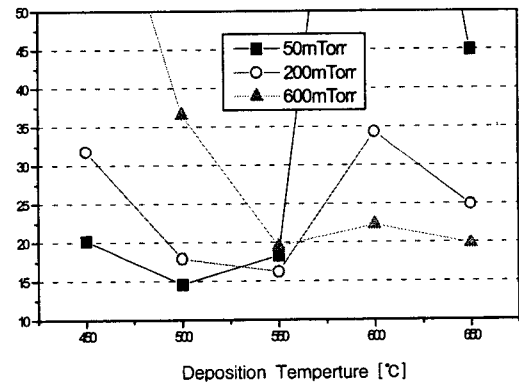


그림 5. 기판온도와 산소압에 따른 등가 T_{ox} .
Fig. 5. T_{ox} of varying substrate temperature and oxygen pressure.

(Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃박막의 유전율은 약 490, T_{ox,eq}는 18Å 정도로 이전의 Sol-Gel법으로 제작된 비슷한 두께의 (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃박막의 유전율[7]에 비해 50[%]이상 작은 값을 가진다. 이는 낮은 열처리온도로 인해 박막에서의 결정립들이 충분히 성장하지 못한 결과로 생각되므로 유전율을 높이기 위해서는 전극-유전체막 사이에서 이상의 형성을 막으면서 결정립을 성장시킬 수 있는 후열처리 조건을 검토할 필요가 있다.

3.3 후열처리조건에 따른 박막의 전기적 특성

그림 6에 기판온도 500[°C], 산소압 200[mTorr]에서 in-situ로 10분간 형성시킨 두께 1200[Å] (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃박막의 후열처리온도에 따른 유전 특성을 나타내었다. 후열처리는 Ti의 확산에 의한 유전체-금속 계면의 이상 생성을 억제하기 위해 RTA를 이용하여 500~700[°C] 온도범위에서 30초간 행하였다. 그 결과 RTA온도가 증가함에 따라 유전율도 증가하여 650[°C]에서 최대값인 821을 가졌고 그 이상의 온도에서 감소하였다. 온도 증가에 따른 유전율의 증가는 결정립의 성장에 기인하며 단락부분이 적고 박막 전체에 걸쳐 대체로 안정한 특성을 나타냈다. 고온에서의 유전율의 감소는 전극부분의 열화 때문으로 판단된다[12]. 이상에서, RTA를 이용한 후열처리를 통해 계면에서의 이상을 억제하면서 박막의 결정립을 성장시켜 유전율을 높이는 효과를 얻을 수 있었다. 이 결과, 1200[Å] 두께의 박막이 821의 유전율을 가지며 이 값

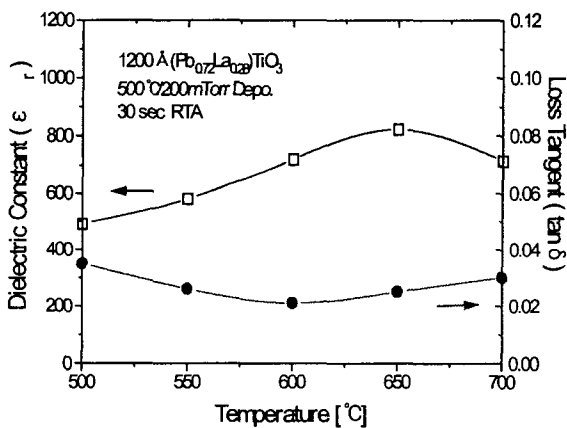


그림 6. 후열처리 온도에 따른 유전특성.
Fig. 6. Dielectric constant and loss tangent of varying post-anneal temperature.

은 T_{ox,eq}=5.7[Å]에 해당하므로 256M DRAM의 planar 캐패시터의 조건인 T_{ox,eq}=4.6[Å]에 근접한다.

그림 7에서는 RTA온도에 따른 시편의 누설전류밀도를 나타내었다. 600[°C]시편이 안정한 작은 누설전류를 보이고 있으며 전체적으로 저전계에서는 10⁻⁸ order[kV/cm²]이하의 우수한 특성을 나타내었다. 100[kV/cm]이상의 고전계에서는 곡선의 기울기가 커지면서 증가하지만, 600[°C], 650[°C]시편의 경우는 500[kV/cm]까지 10⁻⁵order[A/cm²]이하의 우수한 특성을 보이고 있다. 동작전압을 2[V]로 가정했을 때 1200[Å]인 막에는 167[kV/cm]의 전계가 인가되므로 이 때 누설전류밀도는 10⁻⁷ [A/cm²]이하로, 256M DRAM planar 캐패시터의 조건인 4×10⁻⁷[A/cm²]에 대체로 근접하는 것으로 보인다.

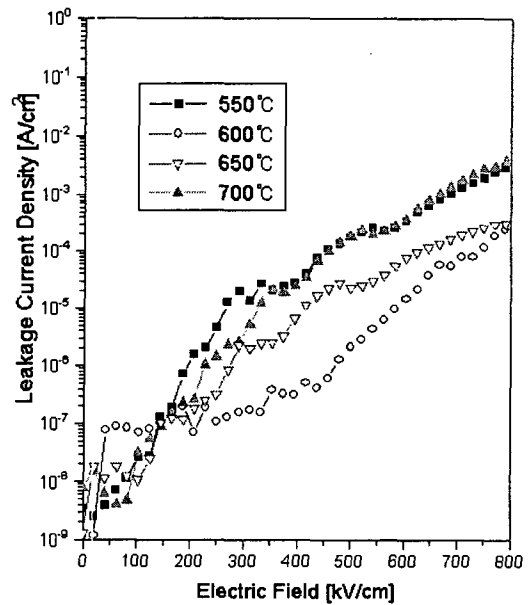


그림 7. 후열처리 온도에 따른 누설 전류밀도.
Fig. 7. Leakage current density of varying post-anneal temperature.

4. 결론

본 논문에서는 차세대 Giga급 DRAM에 요구되는 새로운 캐패시터층용 유전체 물질의 개발을 위

하여 고유전을 재료인 (Pb,La)TiO₃를, PLD법을 사용하여 박막화한 후 그의 구조적, 전기적 특성을 고찰하여 적절한 제작조건을 검토하였다. 그 결과 기판-타겟거리 5.5[cm], 레이저 에너지 밀도 2.1[J/cm²]의 조건에서 산소압 200[mTorr], 기판온도 500[°C]가 적절한 조건으로 판단되었다. 산소압에 따른 박막과 기판의 두께에 따른 조성을 AES를 통해 분석하였고, 이 결과 500[°C]의 비교적 저온에서도 하부전극인 Ti의 확산이 있는 것으로 확인하였다. 따라서, Ti확산에 의한 이상생성을 억제하면서, 결정립을 성장시켜 유전율을 높이기 위해, RTA로 열처리하여 1200[Å] 두께의 (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃박막을 제작하였으며, 그 결과 650[°C], 30초간 RTA시 821의 유전율을 가지는 박막을 제작할 수 있었다. 이 값으로부터 PLD법에 의한 (Pb_{0.72}La_{0.28})TiO₃ 박막은 T_{ox,eq}가 5.7[Å]을 가지는 것으로 계산되었다. 누설전류밀도는 200[kV/cm]의 인가전계까지 10⁻⁷[A/cm²]이하의 값을 가짐으로써, DRAM 캐패시터층으로의 응용이 유망하리라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2001학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] K. Koyama, International Electron Devices Meeting Technology Digest, p.823, 1991.
 [2] S. J. Kang, J. S. Ryoo, Y. S. Yoon, "The Effects of La Concentration on the Properties of PLT Thin Films : From the Perspective of DRAM Application", Material Research Society, Vol. 361, p.281, 1995.
 [3] 김형찬, 신동석, 최인훈, "Pt/SrTiO₃/Pb_x(Zr_{0.52}, Ti_{0.48})O₃/SrTiO₃/Si 구조의 전기적 특성 분석 및 SrTiO₃박막의 완충층 역할에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권 6호, pp.436-441, 1998.
 [4] 이상렬, "펄스레이저 증착법의 원리와 응용", 전기학회지 제45권, p.17, 1996.
 [5] J. Lee, "Ferroelectric Properties and Reliability of La-Sr-Co-O/Pb-La-Zr-Ti-O/La-Sr-Co-O Heterostructures on Si for

Non-Volatile Memory Applications", Integrated Ferroelectrics, Vol.8, pp.317-333, 1995.
 [6] D. Hennings and K. H. Hardtl, "The Distortion of Vacancies in Lanthan-Doped Lead Titanate," *Phys. stat. Sol. (a)* 3, p.465, 1970.
 [7] 구본혁, 박정흠, 장낙원, 마석범, 박창엽, "Sol-Gel법에 의한 (Pb,La)TiO₃ 박막의 전기적 특성", 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, 1997.
 [8] T. Tani, Z. Xu, David A. Payne, "Preferred Orientation for Sol-Gel Derived PLZT Thin Layer", MRS Symp. Proc., Vol.310, p.269, 1993.
 [9] 박정흠, 김준한, 이상렬, 박종우, 박창엽, "레이저 어블레이션에 의한 (Pb,La)TiO₃ 박막의 제작", 전기전자재료학회논문지, 11권 2호, pp.133-137, 1998.
 [10] 김창정, "배향성 PZT 박막제조와 배향성기구 분석 및 전기적 특성에 관한 연구", KAIST 박사학위논문, p.141, 1995.
 [11] Douglas D. Chrisey, Graham K. Hubler, "Pulsed Laser Deposition of Thin Films", John Wiley & Sons Inc, p.232, 1994.
 [12] D. B. Beach, R. B. Laibowitz, T. M. Shaw, A. Grill, W. F. Kane, "Thickness dependent dielectric properties of sol-gel prepared lead lanthanum titanate films" Integrated Ferro., Vol.7, p.161, 1995.
 [13] M. H. Yeh, K. S. Liu, I. N. Lin, "Formation of secondary phase in the Pb-containing perovskite films by pulsed laser deposition", J. Mater. As., Vol.9, No.9, p.2379, 1994.