

Ferroelectric Properties of PZT thin Films by Rapid Thermal Annealing

鄭圭元** · 朴 暎** · 朱弼淵* · 趙益玄* · 林東建** · 李準信*** · 宋竣泰***

(Kyu-Won Jeong · Young Park · Pil-Yeon Ju · Ik-Hyun Cho · Dong-Gun Lim · Jun-Sin Yi · Joon-Tae Song)

Abstract - PZT thin films(3500Å) have been prepared onto Pt/Ti/SiO₂/Si substrates with a RF magnetron sputtering system using Pb_{1.05}(Zr_{0.52},Ti_{0.48})O₃ ceramic target. We used two-step annealing techniques. As the RTA times and temperatures were increased, crystallization of PZT thin films were enhanced. The ferroelectric characteristics of PZT capacitors fabricated at 700°C for 60 seconds were like these, remanent polarization were 12.1 μC/cm², coercive field were 110 kV/cm, leakage current density were 4.1×10⁻⁷ A/cm², ε_r = 442, and remanent polarization were decreased by 22% after 10¹⁰ cycles, respectively.

Key Words : RTA, RF magnetron sputtering, PZT thin films, hysteresis loop, fatigue

1. 서 론

메모리소자가 대용량, 고집적화됨에 따라 Perovskite 구조의 강유전체 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 perovskite구조의 강유전체 박막 중 Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT), PbTiO₃와 같은 Pb계 강유전체 물질은 수천에 이르는 매우 높은 유전율을 갖고있을 뿐 아니라 인가된 전계에 따라 안정된 두 개의 분극 반전 특성을 가지고 있어 high-density DRAM(≥1 Gbite) 및 FeRAM와 같은 메모리 소자에 응용에 적합하다[1~3]. 또한, PZT 박막은 압전성, 초전성 전기광학 효과를 가지고 있고 Si, GaAs 반도체 소자의 집적화 가능성으로 인해 다기능성 소자로 주목받고 있다[4].

PZT 박막을 증착하기 위한 방법은 sputtering, ion beam deposition, evaporation, laser ablation, chemical vapor deposition, sol-gel법 등이 있으며, 이중 단일타겟을 이용한 RF-magnetron sputtering법은 성장된 박막의 질이 우수하며 성장속도와 온도조절이 용이하다는 이점이 있어 강유전박막을 집적화 하기에 적합한 방법으로 알려져 있다[5].

그러나 PZT 박막 성장 온도가 600 °C 이상의 고온일 경우 하부전극인 Pt 박막이 강유전체 박막내부로 침투하는 hillock을 형성하고, Pb의 휘발로 인한 전기적 특성의 저하가 발생하게 된다[6]. 그리고 낮은 온도에서 성장된 PZT 박막은 대부분 비정질 상태이거나 준 안전상인 pyrochlore 상이며, 안정상인 perovskite상을 형성시키기 위하여 후열처리 공정이 연구되어지고 있다. 후열처리 공정 중 furnace를 이용할 경우

높은 결정화온도와 장시간의 후열처리로 각 계면에서 확산과 산화가 발생하며, PZT 박막의 경우 많은 양의 Pb가 휘발하게 되어 fatigue, imprint, aging현상과 누설전류특성의 저하가 나타나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 안정한 perovskite상 형성에 필요한 최소한의 열처리 시간과 온도만을 주어서 perovskite상으로 형성시키는 급속 열처리 방법인 RTA가 사용된다[7~9].

본 연구에서는 PZT 박막을 RF-magnetron sputtering을 이용하여 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 성장하였다. RTA를 이용하여 500 °C, 600 °C와 700 °C에서 각각 10초, 30초, 60초 동안 후열처리한 후 SEM, XRD를 통하여 박막의 결정 및 성분 분석하였고, 누설전류, 이력곡선, 피로특성 등 전기적 특성을 분석하여, RTA가 PZT 박막의 강유전 특성에 미치는 영향을 고찰하여 기억소자 응용가능성을 타진하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 기판은 thermal oxide가 400 nm 성장된 P-type silicon wafer를 아세톤, 메탄올, 증류수 속에서 각각 10분간 초음파 세척한 후, 최적화된 Pt/Ti 하부전극을 각각 RF-magnetron sputtering법으로 각각 Pt 150 nm, Ti 50 nm의 두께로 성장하여 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판을 제조하였다. Pt 하부전극 성장시 기판온도는 400 °C, RF power는 120 W, 성장압력은 5×10⁻³ torr 이었다. 제작된 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 기판온도 300 °C에서 약 400 nm 두께의 PZT 박막을 증착하였으며, 표 1에 PZT박막의 sputtering 조건을 제시하였다.

타겟은 Zr/Ti mole 비가 52/48이고 고온성장시 Pb휘발을 보상하기 위하여 5 mole% Pb-excess된 single ceramic target (순도 99.9%, Super Conductive사)을 사용하였다. 후열처리 온도와 시간에 따른 PZT박막의 특성 평가를 위하여 할로젠 램프가 열원인 RTA 장비를 이용하여 산소분위기에

* 準 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 碩士課程
 ** 正 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 博士課程
 *** 正 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 教授 · 工博
 接受日字 : 1999年 12月 9日
 最終完了 : 2000年 3月 16日

표 1 PZT박막의 sputtering 조건

Table 1 sputtering parameters for PZT thin films

sputtering method	RF magnetron sputtering
target	PZT ceramic target
substrate	Pt(150nm)/Ti(50nm)/SiO ₂ /Si
target-substrate distance	65 nm
base pressure of system	2.0 × 10 ⁻⁶ torr
working pressure	3.0 × 10 ⁻³ torr
(Ar : O ₂) flow rate	9 : 1 sccm
RF power	150 W
substrate temperature	300 °C
film thickness	400 nm

표 2 PZT박막의 RTA 조건

Table 2 RTA conditions for PZT thin films

annealing method	RTA conditions
temperature	as-grown, 500, 600, 700 °C
time	10, 30, 60, 180, 300 sec
flow gas (O ₂)	20 sccm
base pressure of system	2.0 × 10 ⁻⁶ torr
working pressure	12 × 10 ⁻³ torr
rising time	40 °C/sec
cooling	nature

서 10~300초에 걸쳐 500 °C ~ 700 °C까지 후열처리 하였으며 표 2에 PZT박막의 RTA 조건을 나타내었다. RTA를 이용한 후열처리 온도와 시간에 따른 결정화 여부와 결정상의 변화를 규명하기 위하여 XRD를 이용 분석하였으며, SEM를 이용하여 후열처리 전·후 PZT 박막의 미세구조를 관찰하였다. PZT박막의 전기적 특성 측정을 위하여 Dot mask를 이용 PZT 박막의 상부에 thermal evaporation 방법으로 Pd전극을 성장하여 MFM (Metal-Ferroelectric-Metal) 구조의 캐패시터를 형성하였다. Pd/PZT/Pt 캐패시터의 누설전류밀도 측정은 Keithley 617 programmable electro-meter를 사용하였다. 정전용량은 1 kHz의 주파수에서 LCR meter(Kotronic 3520)를 이용하여 측정하였으며, 측정된 정전용량에 의하여 식(1)에 의하여 유전상수를 산출하였다.

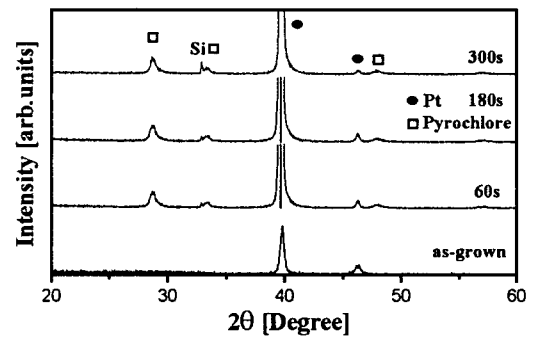
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (1)$$

여기서, ϵ_r : 비유전율, ϵ_0 : 진공중의 유전율, C: 정전용량, A: 전극면적, d: 시편의 두께이다. PZT 박막의 hysteresis loop 및 fatigue 특성은 Radiant사의 RT-66A를 이용 virtual ground mode에서 측정하였다.

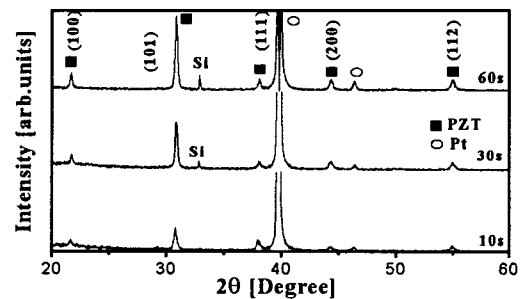
3. 결과 및 고찰

3.1 PZT박막의 결정구조

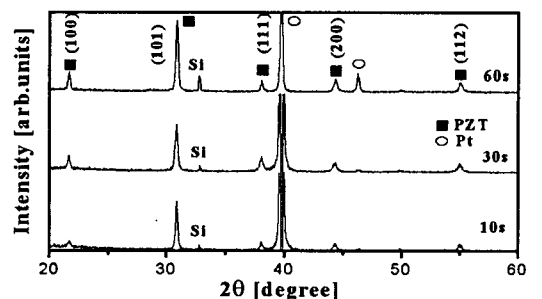
PZT 박막 성장시 기판온도와 후열처리 온도에 따라 결정 구조와 상형성이 민감하게 변화되므로, 최적화된 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 sputtering법으로 300 °C에서 400 nm의 PZT 박막 성장 후, 열처리 온도와 시간에 따른 결정상의 변화 과정을 규명하기 위해 XRD 분석을 실시하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 1 RTA로 후열처리한 PZT박막의 XRD 분석 (a) as-grown 500 °C, (b) 600 °C, (c) 700 °C

Fig. 1 XRD patterns of PZT thin films for RTA temperatures

(a) as-grown 500 °C, (b) 600 °C, (c) 700 °C

그림 1은 as-grown, 500 °C, 600 °C, 700 °C에서 열처리한 PZT 박막의 XRD 분석 결과이다. as-grown, 500 °C에서 열처리한 PZT 박막 모두 어떠한 Perovskite 결정상 없이 Pb-rich의 pyrochlore 상이 지배적으로 나타남을 볼 수 있다. 또한 500 °C에서 300초간 후열처리한 PZT 박막의 경우 장시간의 후열처리 시간에도 불구하고 Perovskite상은 형성되지 않았으며, 준 안정상인 pyrochlore 상이 지배적으로 나타남을 볼 수 있다. 이러한 결과는 열처리 온도가 증가하면 박막내부의 PbO를 휘발시켜 excess-Pb층을 형성하여 표면쪽으로 전이하지만 500 °C이하의 낮은 온도에서는 PZT 박막의 PbO층을 완전히 휘발시키지 못하고 표면에 Pb-rich의 pyrochlore 상이 나타나기 때문이다[10].

후열처리 온도가 600 °C로 높아지면서 2θ=29(29.5) 근처의 Pyrochlore (222)면 (A₂B₂O₆ type)이 perovskite (101) 면으로 상전이 하여 10초 이하의 열처리 시간에도 perovskite 상만을 형성하였으며 열처리 시간이 증가함에 따라 PZT 박막의 결정성은 증가하여, 후열처리 온도가 60초인 경우 PZT (101) 면으로 강한 결정성을 가진 PZT (100), PZT (200), PZT (112) 면으로 성장됨을 볼 수 있다.

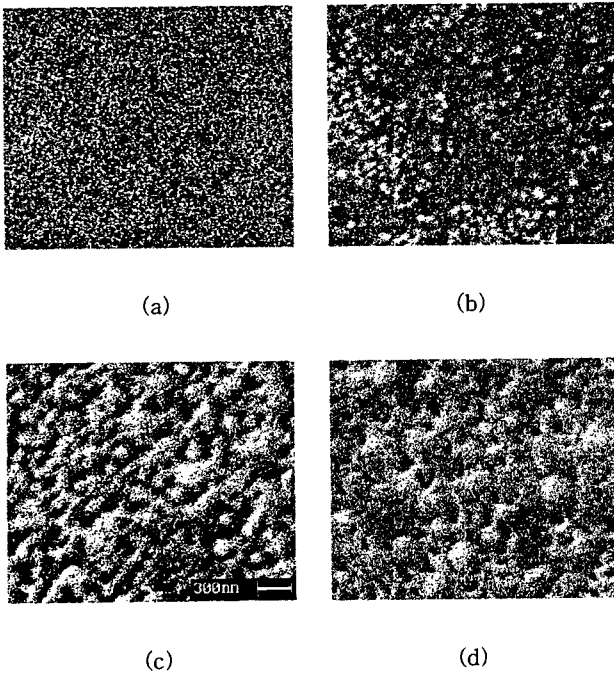


그림 2 RTA로 후열처리한 PZT박막의 SEM 사진
(a) as-grown, (b) 500 °C, (c) 600 °C, (d) 700 °C
Fig. 2 SEM micrographs of PZT thin films before and after RTA (a) as-grown, (b) 500 °C, (c) 600 °C, (d) 700 °C

열처리 온도가 700 °C로 증가될 경우 X선 peak의 회절강도는 증가하며, 어떠한 pyrochlore 상없이 안정된 perovskite 결정상인 PZT (101), PZT (111), PZT (200), PZT (112) 상만이 나타남을 볼 수 있다. 이러한 pyrochlore 상에서 perovskite 상으로의 결정학적 변환은 높은 열처리 온도가

PZT 박막의 성장 방향과 결정성을 좌우함을 나타내며[11], I Chung et al.이 주장한 sol-gel 법으로 성장한 PZT 박막의 결정학적 방향의 관계는 결정화 과정과 성장과정 중 서로 다른 에너지 경로가 pyrochlore (222) 면과 perovskite (101) 면으로 나타난다는 것과 일치한다[12].

그림 2에 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 성장한 PZT 박막의 열처리 전·후 SEM 표면 사진을 나타내었다. 열처리 이전의 PZT 박막은 낮은 결정화 에너지로 인한 비정질의 치밀한 구조가 나타나고 있으며, 500 °C에서 열처리한 PZT 박막의 경우 PbO가 우세한 치밀한 상들이 표면에 나타나고 있다. 또한, 600°C에서 후열처리한 PZT 박막의 경우 perovskite상으로 보이는 결정입자가 다소 불균일하게 성장되어 있음을 볼 수 있는데, 이는 XRD 결과에서 나타나지는 않지만 600 °C의 결정화 온도에서도 미소한 PbO가 남아있기 때문으로 판단된다. 열처리 온도가 700 °C로 증가함에 따라 박막의 결정입자의 크기가 다소 증가하였으며[13], 이는 RTA를 이용한 후열처리가 PZT 박막의 pyrochlore상의 grain 배열을 변화시켜, PZT perovskite상으로 나타나는 것으로 사료되며, 이러한 결과는 그림 1에 나타난 XRD 결과와 일치한다.

3.2 PZT박막의 전기적특성

Pt/Ti/SiO₂/Si 기판 위에 성장된 PZT 박막의 결정 구조와 전기적 특성의 관계를 알아보기 위하여 후열처리 조건에 따른 PZT 박막의 I-V, P-E, fatigue, C-V 등의 전기적특성을 조사하였다. 그림 3에 다양한 온도에서 60초간 후열처리한 Pd/PZT/Pt 구조의 캐패시터의 I-V 특성을 나타내었다. 후열처리 이전의 PZT 박막의 경우 100 kV/cm의 전계에서 1.65 × 10⁻⁸ A/cm²의 누설전류 값을 나타내었다.

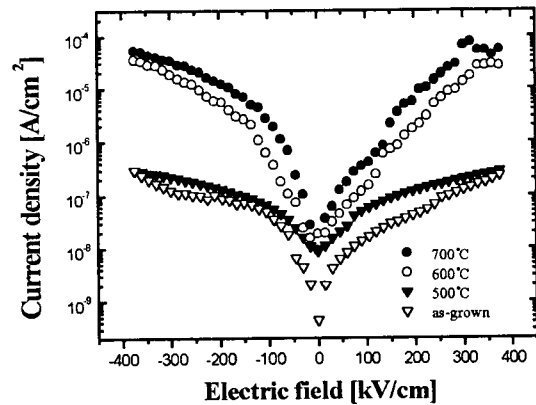
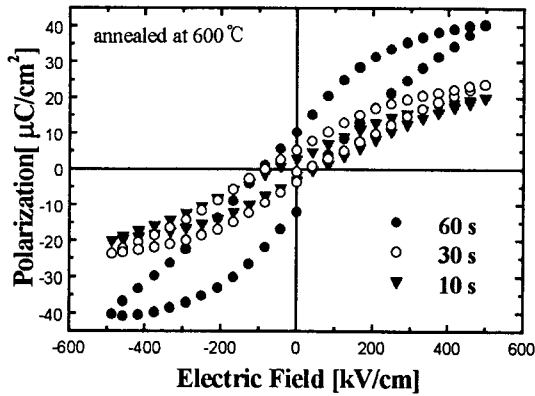
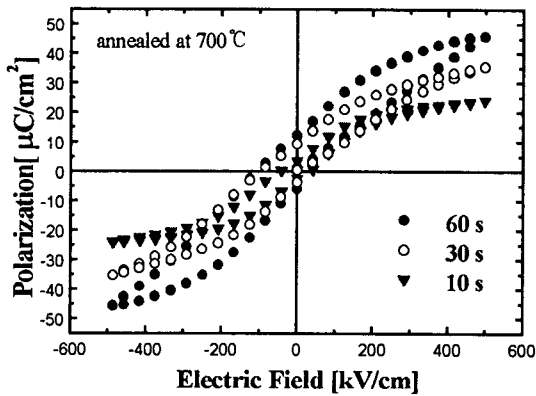


그림 3 RTA 온도에 따른 PZT박막의 I-V특성
Fig. 3 Current-Voltage characteristics of PZT thin films for RTA times

또한, 후열처리 온도가 증가할수록 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 누설전류 값은 증가하여 600 °C, 700 °C에서 60초간 후열처리한 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 경우 100 kV/cm의 입력전계에서 각각 1.5 × 10⁻⁷ A/cm², 4.1 × 10⁻⁷ A/cm²의 누설전류값을 나타내었다. 이는 열처리 온도 상승에 따른 PZT 박막의 다



(a)



(b)

그림 4 RTA시간에 따른 P-E 이력특성
(a) 600 °C, (b) 700 °C

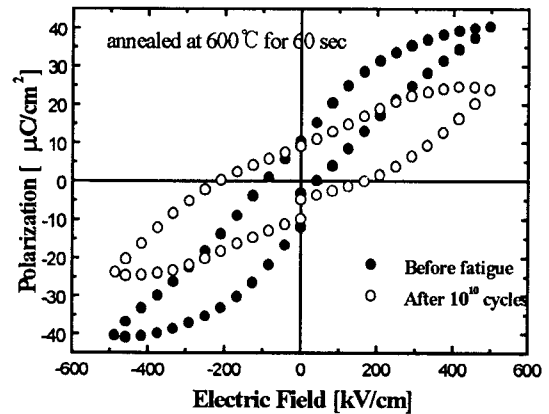
Fig. 4 ferroelectric P-E hysteresis characteristics for RTA times (a) 600 °C, (b) 700 °C

결정화로 인한 결정립계로의 누설전류의 상승에 기인하기 때문이다[14].

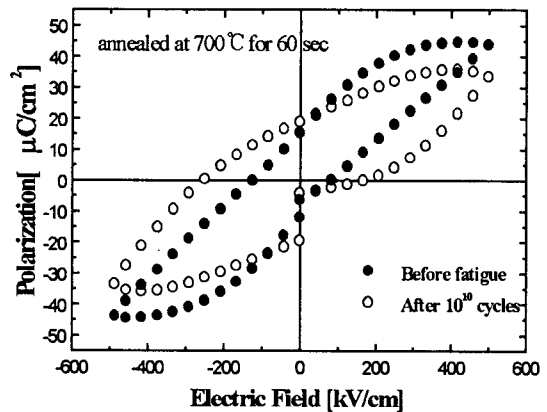
그림 4에 600 °C, 700 °C에서 후열처리한 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 RTA시간에 따른 P-E이력곡선 특성을 나타내었다. 600 °C, 700 °C에서 후열처리한 PZT 박막 모두 시간에 관계없이 전형적인 이력곡선 특성을 나타내고 있으며, 이는 600 °C 이상에서 RTA한 PZT박막의 경우 시간에 관계없이 perovskite상이 나타나는 XRD와 SEM의 결과와 일치함을 나타낸다. 600 °C에서 60초간 후열처리한 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 경우 항전계(E_c)와 잔류분극(P_r) 자발분극(P_s)은 각각 90 kV/cm, $10.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, $38 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 을 나타내었다. 또한, 700 °C에서 60초간 후열처리했을 경우 각각 110 kV/cm, $12.1 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, $47 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 을 나타내었다. 이는 XRD와 SEM의 결과에서와 같이 후열온도가 증가함에 따라 PZT박막의 결정성이 증가하여 P_r 과 P_s 가 커졌으며, 전극과 PZT박막 사이의 계면에서 확산 및 산화의 증가로 E_c 가 증가하였기 때문이다. 또

한, 후열처리 시간이 증가할수록 E_c 와 P_r 과 P_s 가 각각 증가하였다. PZT 박막의 이력곡선 모두 전계의 방향으로 다소 shift 되어 비대칭 모양을 보이고 있다. 이와 같은 특성은 PZT 박막과 전극 사이에 공간 전하가 축적되어 그만큼의 전계가 유도된 것으로 판단된다[15~16].

600 °C, 700 °C의 온도에서 60초간 후열처리한 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 fatigue 특성을 그림 5, 6에 나타내었다. 600 °C에서 10^7 cycle까지는 P_r 이 약 13.5% 정도 감소하였으며, 10^{10} cycle 이후에는 약 37.5%가 감소하였다. 또한, 700 °C에서 10^7 cycle까지는 P_r 이 약 5.3% 정도 감소하였으며, 10^{10} cycle 이후에는 약 22%가 감소하였다. 이것은 계속되는 분극 반전으로 전극, 강유전체 계면간의 산소공공의 영역이 강유전체 내부로 성장되어 나타난 것으로 생각된다. 또한, 700 °C의 경우가 600 °C 보다 양호한 fatigue 특성을 나타내는 것은 600 °C 이하의 후열처리 온도가 PZT 박막 표면에 존재하는 excess-Pb 층을 완전히 휘발시키지 못하기 때문이다.



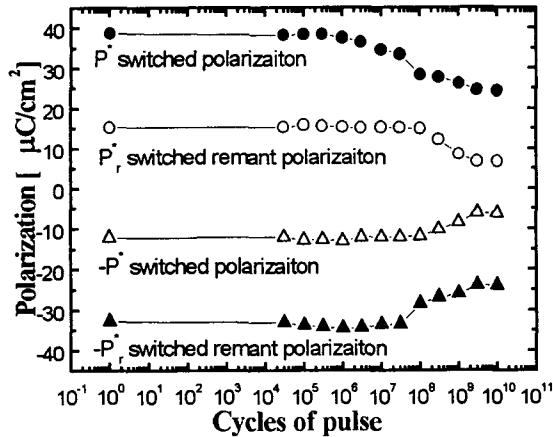
(a)



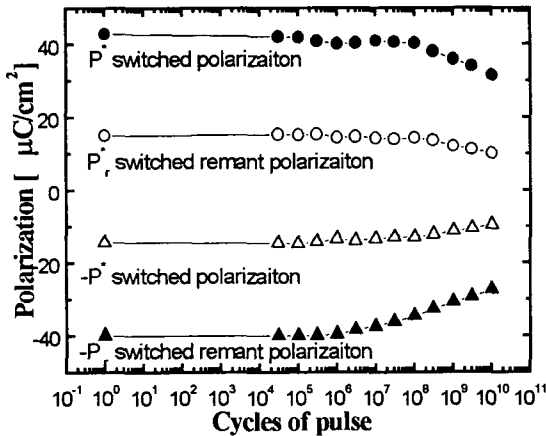
(b)

그림 5 온도에 따른 PZT박막의 fatigue특성
(a) 이력곡선 변화(600 °C), (b) 이력곡선 변화(700 °C)

Fig. 5 Fatigue characteristics of PZT thin film (a) P-E hysteresis at 600 °C, (b) P-E hysteresis at 700 °C



(a)



(b)

그림 6 온도에 따른 PZT박막의 fatigue cycles 변화

(a) 600 °C, (b) 700 °C

Fig. 6 Fatigue cycles of PZT thin films (a) at 600 °C, (b) at 700 °C

700 °C의 온도에서 60초간 후열처리한 Pd/PZT/Pt 캐패시터의 C-V특성을 그림 7에 나타내었다. 좌·우에 두 개의 잘 발달된 peak이 나타났으며, 이는 PZT박막의 전계에 따른 분극의 변화가 캐패시터 값에 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 이력곡선이 전계 방향으로 다소 shift 되어 비대칭 모양을 보이고 있다. 이와 같은 특성은 상부전극 Pd와 하부전극 Pt의 일함수 차이에 의해 PZT 박막내에 내부전계가 유기되어 그만큼의 전압관계가 이동하였기 때문이다. 1[kHz]의 주파수에서 측정된 비유전율은 식(1)에 의해 산출한 결과 $\epsilon_r = 442$ 이었다.

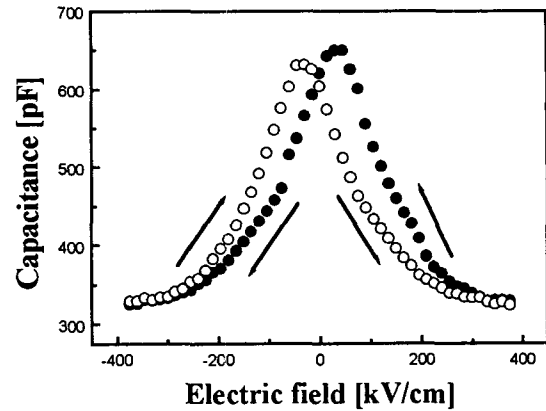


그림 7 700°C에서 PZT박막의 C-V특성

Fig. 7 Capacitance versus voltage results at 700°C

4. 결론

본 연구에서는 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 RF-magnetron sputtering법으로 300 °C의 기판온도에서 성장한 PZT 박막을 500 °C, 600 °C와 700 °C에서 각각 10초, 30초, 60초 동안 RTA한 결과, 500 °C에서는 pyrochlore 상이 형성되었고, 600 °C이상에서는 perovskite상만이 형성되었다. 또한, 열처리온도와 시간이 증가할수록 PZT박막의 결정성이 증가하였으며, (101)면으로 강한 결정성을 보였다. I-V특성은 600 °C에서 $1.5 \times 10^{-7} \text{A/cm}^2$, 700 °C에서 $4.1 \times 10^{-7} \text{A/cm}^2$ 로 열처리 온도가 증가하면 누설전류가 증가하였다. P-E이력곡선 특성은 600 °C에서 60초간 RTA시 $E_c=90\text{kV/cm}$, $P_r=10.3 \mu\text{C/cm}^2$, $P_s=38 \mu\text{C/cm}^2$ 이었고, 700°C에서 60초간 RTA시 $E_c=110\text{kV/cm}$, $P_r=12.1 \mu\text{C/cm}^2$, $P_s=47 \mu\text{C/cm}^2$ 이었다. fatigue 특성은 600 °C에서 60초간 RTA시 10^7 cycle 까지는 P_r 이 약 13.5% 정도 감소하였으며, 10^{10} cycle 이후에는 약 37.5%가 감소하였다. 또한, 700 °C에서 60초간 RTA시 10^7 cycle 까지는 P_r 이 약 5.3% 감소하였으며, 10^{10} cycle 이후에는 약 22%가 감소하였다.

감사의 글

본 연구는 성균관대학교의 1998년 성균학술 연구비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Carrano, J, Sudhama, C, Chikarmane, V, Lee, J, Tasch, A, Shepherd, W and Abt, N "Electrical and Reliability Properties of PZT Thin-Films for ULSI DRAM Applications" IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control 38(6), pp.690-703, 1991.
- [2] L. E. Sanchez et al, "Process Technology

Developments For GaAs Ferroelectrics Nonvolatile Memory", Integrated Ferroelectrics, vol. 2, pp.231-241, 1992

- [3] J. F. Scott and C. A. Paz de Araujo, "Ferroelectric Memories", Science, 246, pp.1400. 1989
- [4] B. Jaffe, et al., Piezoelectric Ceramics, Academic Press, pp.2. 1971
- [5] S. B. Krupanidhi, "Recent advances in the deposition of ferroelectric thin films", Proceedings of the 3rd International Symposium on Integrated Ferroelectrics, pp. 10-29, 1991.
- [6] 박영, 정세민, 문상일, 정규원, 김성훈, 송준태, 이준신, "PZT 강유전체 박막 캐패시터와 하부전극에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 12, No. 7, pp. 592, 1999.
- [7] G Velu, D. Remiens, and B. thierry, "Ferroelectric properties of PZT thin films prepared by sputtering with stoichiometric single oxide target: comparison between conventional and rapid thermal annealing" Journal of the European Ceramic Society, Vol. 17, pp. 1749, 1997.
- [8] 백동수, 김현권, 최형욱, 김준한, 박창엽, 신현용 "금속 열처리에 의한 PZT 강유전 박막의 제작", 대한전기학회 1993년도 하계학술대회 논문집 (B),1 pp.1106-1109, 1993.
- [9] Kim. CJ, Yoon. DS, Lee. JS, Choi. CG, No. K "A study on the microstructure of preferred orientation of PZT thin films", Journal of Materials Research, Vol. 12 No. 4 ,1997.
- [10] Katsuhiko Aoki and Yukio Fukuda, "Formation of reliable Pb(Ti,Zr)O₃ thin-film capacitors for read/write endurance of ferroelectric non-volatile memories." IEICE Trans. Electron., Vol. E81 C, No. 4, April. 1998.
- [11] Young-Min Kim, Won-Jae Lee, Ho-Gi Kim, "Deposition of PZT films by MOCVD at low temperature and their change in properties with annealing temperature and Zr/Ti ratio", Thin Solid Films, Vol. 279 No. 1-2, 1996.
- [12] Il Sub Chung, June Key Lee, Chang Jung Kim, and Chee Won Chung, Integrated Ferroelectric, Vol. 16, pp. 705, 1997.
- [13] 임동길, 최세영, 정형진, 오영제, "줄-겔법으로 제조한 PbTiO₃ Interlayered PZT 박막의 미세구조와 강유전 특성", 요업학회지, Vol. 32, No. 12, pp. 1408, 1995.
- [14] Yamauchi S, Yoshimaru M, "Growth of [111] oriented PZT thin film with smooth surface to improve electrical properties", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol. 35, No .2B, pp. 1553, 1996.
- [15] Lee EG, Wouters DJ, Willems G, Maes HE, "Voltage shift and deformation in the hysteresis loop of PZT thin film by defects", Applied Physics Letters, Vol. 69 No. 9, pp. 1223, 1996.

- [16] R. Ramesh, Thin film ferroelectric materials and devices, pp. 221, 1997.

저 자 소 개



정규원 (鄭圭元)

1967년 7월 17일생. 1993년 성균관대 공과대 전기공학과 졸업(학사), 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료

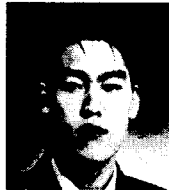
Tel : 0331-290-7163, Fax : 0331-290-7159
E-mail:kwjeong@nature.skku.ac.kr



박영 (朴暎)

1973년 11월 6일생. 1992년 동신대 물리학과 졸업(학사), 2000 성균관대 전기전자컴퓨터공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

E-mail:ypark@nature.skku.ac.kr



주필연 (朱弼淵)

1976년 11월 17일생. 1999년 성균관대 전기공학과 졸업(학사), 현재 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정

E-mail:zurcamp@ece.skku.ac.kr



조익현 (趙益玄)

1972년 1월 25일생. 1998년 성균관대 전기공학과 졸업(학사), 2000년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(석사). 현재 삼성 정보통신 통신연구소 IMT2000단말개발 그룹 연구원

E-mail:zenix@orgio.net



임동건 (林東建)

1970년 1월 4일생. 1997년 성균관대 공과대 전기공학과 졸업(학사), 1999년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

E-mail:dglim@ece.skku.ac.kr



이 준 신 (李 準 信)

1982년 12월 7일생. 1989년 성균관대 공과대 전기공학과 졸업(학사), 1991년 뉴욕주립대 공대 전기공학과 졸업(석사), 1994년 동 대학원 졸업(공학박), 현재 성균관대 공대 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수

Tel : 0331-290-7139, Fax : 0331-290-7179

E-mail: yi@yurim.skku.ac.kr



송 준 태 (宋 竣 泰)

1952년 2월 15일생, 1975년 연세대 전자공학과 졸업(학사), 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1981년 동 대학원 졸업(공학박), 1985년~1986년 Rensselaer Polytechnic

Institute Post Doc, 1997년~ 1998년 University of Surrey 교환교수, 1981년~현재 성균관대 공대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수

Tel : 0331-290-7105, Fax : 0331-290-7159

E-mail : jtsong@yurim.skku.ac.kr