

기판 조건에 따른 SBT 강유전체 커패시터의 특성

논문
13-2-9

Capacitor characteristics of SBT Ferroelectric Thin Films depending on substrate conditions

박상준*, 장건익*

(Sang-Jun Park* and Gun-Eik Jang*)

Abstract

Ferroelectric $Sr_xBi_{2+y}Ta_2O_{9+x}$ thin films with various compositions ($x=0.7, 0.8, 1, y=0.3, 0.4$) were prepared by sol-gel method. The film with mole ratio of 0.8:2.3:2.0 in Sr/Bi/Ta, which was deposited on Pt/SiO₂/Si (100), showed better ferroelectric properties than other films. To investigate substrate effects, the same compositions were spin coated on Pt/Ti/SiO₂/Si (100) substrates. At an applied voltage of 5V, the dielectric constant(ϵ_r), remanent polarization (2Pr) and coercive field (Ec) of the $Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta_2O_{9+x}$ thin film prepared on Pt/Ti/SiO₂/Si (100) were about 296, 24 $\mu C/cm^2$ and 40kV/cm while, the $Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta_2O_{9+x}$ thin film deposited on Pt/SiO₂/Si (100) substrates exhibited ϵ_r of 312, 2Pr of about 23 $\mu C/cm^2$ and Ec of 49kV/cm respectively. Both SBT films fired at 800 $^{\circ}C$ revealed no fatigue up to 10¹⁰ cycles. Retention characteristics of these capacitors showed no degradation up to 10¹ sec.

Key Words(중요용어) : Ferroelectric SBT thin films(강유전체 SBT박막), sol-gel method(졸-겔법), dielectric constant(유전상수), remanent polarization(잔류분극), coercive field(항전계)

1. 서 론

PZT와 SBT 강유전체 물질은 최근, 반도체 소자에 응용되어 고집적화, 고속화, 저소비 전력화는 물론 비휘발성까지 겸비한 혁신적인 소자의 개발을 위해 많이 연구되고 있다. 특히, FRAM은 비휘발성 메모리이지만, 고속동작이 가능하기 때문에 휴대정보기기의 메인 메모리나 외부 기억장치를 대체할 유력한 후보로 주목되고 있다. 기존의 비휘발성 램에 가장 많이 응용된 PZT 박막[1]은 만족할 만한 잔류분극력과 작은 구동전압 (5V이하)등 비휘발성 램 적용에 적합한 것으로 연구되어 왔으나, 금속 전극 위에 형성된 PZT는 분극피로 현상 때문에 그 사용에 제한적이다. 반면, Bi 적층 페로브스카이트 SBT 박막은

약 10¹² cycles까지 fatigue문제가 발생하지 않으며 낮은 항전계(coercive field), 낮은 누설전류, 양호한 메모리 특성을 지닌 것으로 보고되고 있다[2, 3].

본 연구에서는 SBT 박막을 졸-겔법[4~8]에 의해 제조하였으며, 전구체 용액의 조성비와 박막의 열처리 조건이 강유전 특성에 미치는 영향을 1차적으로 조사하였다. 이후, 최적의 조성비(Sr:Bi:Ta = 0.8:2.3:2.0)를 가진 전구체 용액을 사용하여 기판 조건에 따른 커패시터의 특성 변화를 조사하였다.

2. 실험

SBT 박막을 Pt(1700Å)/SiO₂/Si(100)와 Pt(1000Å)/Ti(600Å)/SiO₂/Si(100) 기판 위에 졸-겔법으로 제조하였다. 표 1은 SBT 박막 제조 조건이다. SBT 전구체 용액은 제조시 수분에 의한 물질의 휘발을 방지하기 위해 anaerobic chamber내에서 이루어졌다. 출발 물질은 Sr-isopropoxide [Sr(OC₃H₇)₂, Alfa 99%], Bi-acetate [Bi(OOCCH₃)₃, Strem 99%] 그리고 Ta-ethox-

* : 충북대학교 재료공학과

(충북 청주시 흥덕구 개신동 산48, Fax : 0431-

274-8925 E-mail : gejang@trut.chungbuk.ac.kr)

1999년 9월 15일 접수, 1999년 12월 28일 심사완료

ide[$Ta(OC_2H_5)_5$, Aldrich 99.98%]로 탄소수가 4 이하인 alkoxide를 사용하여 조성비가 다른 SBT 전구체 용액을 제조하였으며, 용매로는 acetic acid [CH_3COOH]와 pyridine [C_5H_5N]을 사용하였다. Sr-isopropoxide와 Ta-ethoxide를 acetic acid에 녹여 제 1용액을 만든 후, Bi-acetate를 acetic acid와 pyridine으로 분해 시켜 제 2 용액을 제조하였다. 1, 2용액을 혼합하여 SBT 전구체 용액을 제조하였으며, 용액의 전체 농도는 0.1mol/l가 되도록 조성하였다. 이렇게 제조된 SBT 용액을 Pt/SiO₂/Si (100)와 Pt/Ti/SiO₂/Si (100) 기판 위에 2,500rpm으로 30초간 스핀 코팅시킨 후, 250℃에서 약 10분간 Hot Plate 위에서 건조 시켰다. 위 시편을 다시 450℃에서 25분간 산소를 공급해 주면서 중간 열처리를 하였으며, 이러한 과정을 수회 반복하여 두께가 약 3,000~4,000Å인 박막을 얻었다.

표 1. SBT 박막 제조 조건
Table 1. Conditions for preparation of SBT thin films

Sarting materials	Sr-isopropoxide[$Sr(OC_3H_7)_2$] Bi-acetate[$Bi(OOCCH_3)_3$] Ta-ethoxide[$Ta(OC_2H_5)_5$]
Solvents	pyridine[C_5H_5N] acetic acid[CH_3COOH]
Final concentration	0.1mol/l
Substrates	Pt/SiO ₂ /Si(100) Pt/Ti/SiO ₂ /Si(100)
Spin-coating speed and time	2,500rpm, 30sec
Dry temperature and time	250℃, 10min
Prebaking temperature and time	450℃, 25min
Annealing temperature and time	600~800℃, 1h
Diameter of Pt top electrode	0.2mm

산소 분위기하에서 최종 열처리 온도는 600, 650, 700, 750, 800℃로 변화시켜 가며 1시간 동안 열처리하였다. 열처리 온도에 따른 각 박막의 결정구조와 미세구조를 비교 관찰하고자 X-ray diffraction (XRD), Scanning electron microscope(SEM) 분석을 하였다. 하부전극의 표면조직을 살펴보기 위해 Atomic force microscopy(AFM)분석을 하였으며, 박막의 깊이에 따른 조성 변화 및 계면 특성을 조사하기 위하여 Auger Electron Spectroscopy

(AES)분석을 하였다.

상부 전극(Pt)은 직경이 0.2mm인 metal mask를 사용하여 DC Sputtering으로 증착하였으며, 유전상수 값은HP 4194A Impedance Analyzer에서 얻어진 capacitance값으로 계산되었다. 강유전 특성에 관한 P-E(Polarization-Electric Field) 이력곡선, fatigue, retention은 Radiant사의 RT-66A를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

다층 코팅을 위한 중간 열처리 온도는 그림 1의 열중량 분석(TG-DTA) 결과를 토대로 결정하였다. DTA곡선에서 약 57℃의 흡열 피크는 acetic acid와 acetate의 반응으로 생성된acetic ester의 증발에 기인한 것으로 생각되며, 380℃ 부근에서의 발열 피크와 200℃와 400℃ 사이에서의 중량 감소는 기타 유기물의 분해에 의한 것으로 판단된다. 400℃ 이후부터는 온도가 증가함에 따라 중량 감소의 변화가 적게 나타났으며, 본 실험에서는 450℃를 중간 열처리 온도로 설정하였다.

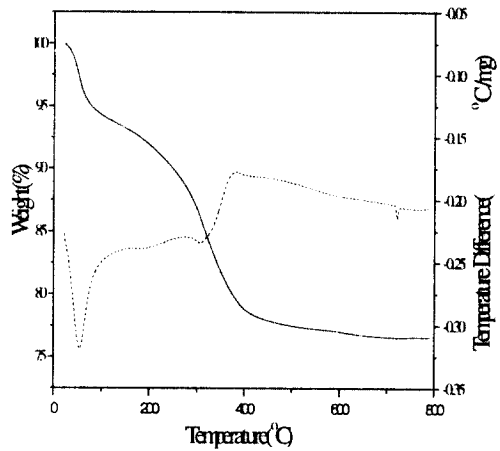


그림 1. SBT 겔 분말의 열중량 분석 곡선
Fig. 1. TGA/DTA curve of SBT gel powder

그림 2는 800℃에서 1시간 열처리한 박막의 조성 과 기판에 따른 XRD 분석 결과이다. 결정성장이 일어나는 온도와 동일한 온도에서의 피크 강도의 부분적 차이를 보여주고 있으나, 대부분 박막의 조성 과 기판에 상관없이 800℃에서 완전한 결정 성장을 나

타내고 있다. 또한 약 29° (105)면에서 높은 회절 강도를 보이지만 (001) 우선 성장 방향은 거의 보이지 않았으며 2차상[9, 10]으로 여겨지는 30° 부근에서의 Bi₂Pt 피크는 관찰되지 않았다.

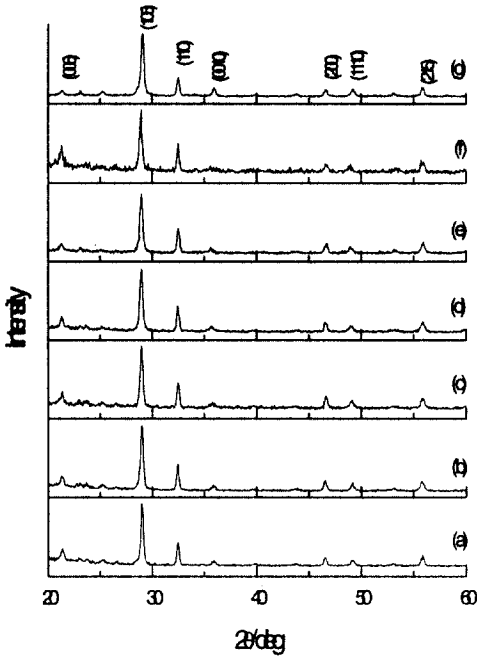


그림 2. 800℃에서 1시간 열처리한 SBT 박막의 조성 과 기판에 따른 XRD 패턴 : (a) Sr_{1.0}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (b) Sr_{1.0}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (c) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (d) Sr_{0.8}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (e) Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (f) Sr_{0.7}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (g) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (a~f : Pt/ SiO₂/Si 기판, g : Pt/Ti/SiO₂/Si 기판)

Fig. 2. XRD patterns of SBT films as a function of compositions and substrates at 800℃ for 1h : (a) Sr_{1.0}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (b) Sr_{1.0}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (c) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (d) Sr_{0.8}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (e) Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (f) Sr_{0.7}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+x} (c) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} (a~f : Pt/ SiO₂/Si substrate, g : Pt/Ti/SiO₂/Si substrate)

그림 3은 Pt/SiO₂/Si 기판 위에 증착시킨 후 800℃에서 1시간 열처리한 박막의 조성별 SEM 분석 결과이다. 800℃에서 1시간 열처리한 박막 모두 rod-

like 구조를 하고 있었으며, Bi/Ta의 몰 비가 일정할 때 Sr 양이 감소함에 따라 결정립의 크기가 점차적으로 커짐을 관찰할 수 있었다. 그리고 Sr/Ta의 몰 비가 일정할 때는 Bi 양이 증가함에 따라 결정립의 크기가 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Atsuki et al.[11]이 보고한 내용과 일치하였다.

기판 표면의 roughness 확인을 위해 Atomic force microscopy(AFM)분석을 하였으며, 이때 scan area는 2×2μm²이었다. 그림 4는 Pt/SiO₂/Si(100)와 Pt/Ti/SiO₂/Si(100)기판의 AFM 분석 결과로써 Ti 완충층을 가지고 있는 그림 4(a)의 Pt/Ti/SiO₂/Si (100)기판 rms 거칠기는 1.897nm로 그림 4(b)의 Pt/SiO₂/Si(100) 기판(3.107nm)보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 따라서 Pt/Ti/SiO₂/Si(100)기판 위에 증착된 SBT 박막이 더 균일하게 증착되리라 예상된다.

그림 3. Pt/SiO₂/Si 기판 위에 증착시킨 후 800℃에서 1시간 열처리한 SBT 박막의 조성에 따른 SEM 이미지 :
 (a) Sr_{1.0}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (b) Sr_{1.0}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ} (c) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (d) Sr_{0.8}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ} (e)
 Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (f) Sr_{0.7}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ}
 Fig. 3. SEM images of SBT thin films with different compositions prepared on Pt/SiO₂/Si at 800
 °C for 1h : (a) Sr_{1.0}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (b) Sr_{1.0}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ} (c) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (d) Sr_{0.8}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ}
 (e) Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} (f) Sr_{0.7}Bi_{2.4}Ta₂O_{9+δ}

그림 5는 위의 두 기판 위에 증착된 Sr_{0.8}Bi_{2.3}-Ta₂O_{9+δ} 박막의 단면 사진으로, 800℃에서 열처리되는 동안 Ti는 Pt로 부분적으로 확산되었지만 Pt와 SiO₂는 크게 반응하지 않음을 그림 5(a), (b)에서 관찰할 수 있었다.

SBT막과 하부 전극 사이의 계면 특성을 알아보기 위해 AES 분석을 하였다. 그림 6은 Pt/SiO₂/Si(100)와 Pt/Ti/SiO₂/Si(100)기판 위에 증착된 SBT 박막의 sputtering 시간에 따른 AES depth profiles이다.

SBT 박막은 비교적 조성에 따라 전체적으로 균일 하였으며 SBT 박막과 Pt와의 계면에서 Ta과 Bi층의 Pt로의 확산이 부분적으로 확인되었다. 이러한 확산은 XRD 분석 결과에서는 나타나지 않았지만 BiPt, Bi₂Pt의 형성에 의해서 막과 계면 사이의 접촉에 악 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다[12].

SBT 박막의 유전상수(ε_r)와 손실계수(tan δ)로써 유전 특성을 측정하였다. 그림 7은 Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착된 조성별 SBT 박막의 주파수 100kHz에서의 Sr양에 따른 유전상수(ε_r)과 손실계

그림 4. (a) Pt/SiO₂/Si(100)와 (b) Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 기판의 AFM 이미지

Fig. 4. AFM images of (a) Pt/SiO₂/Si(100) and (b) Pt/Ti/SiO₂/Si(100) substrate

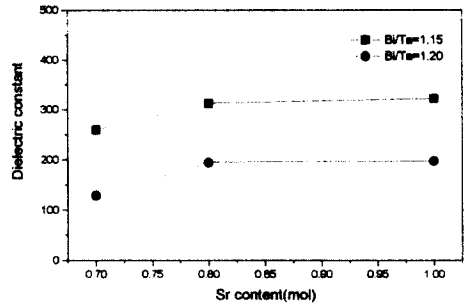
수($\tan \delta$)값을 도식화하였다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 Sr 양이 감소함에 따라 그리고 Bi의 양이 증가함에 따라 유전상수(ϵ_r) 값도 감소하였다. 그림 7(b)에서는 Sr양에 따른 손실계수($\tan \delta$)값의 규칙성은

그림 5. 기판 종류에 따른 단면 사진 : (a) SBT/Pt/SiO₂/Si(100) (b) SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si(100)

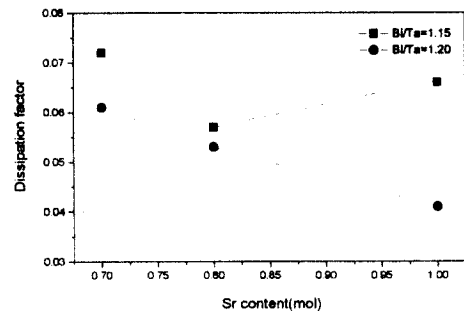
Fig. 5. Cross sectional images as a function of substrates : (a) SBT/Pt/SiO₂/Si(100) and (b) SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si(100)

관찰되지 않았지만 Bi 양이 증가함에 따라 손실계수 값은 감소하였다. 위의 두 결과를 토대로 Sr과 Bi의 양이 유전 특성에 많은 영향을 미침을 알 수 있었으며, 향후 이 부분에 대한 연구는 좀 더 필요한 듯 하다.

100kHz에서 측정된 Pt/Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/SiO₂/Si 커패시터의 유전상수와 손실계수 값은 각각 312, 0.0568인 반면, Pt/Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/Ti/SiO₂/Si 커패시터에서는 296의 유전상수와 0.0458의 손실계수 값이 측정되었는데, AFM 분석에서도 알



(a)



(b)

그림 7. Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착된 SBT 박막의 Sr의 양에 따른 (a) 유전상수와 (b) 손실계수

Fig. 7. Dielectric constants (a) and dissipation factors (b) of SBT thin films as a function of Sr contents prepared on Pt/SiO₂/Si(100)

그림 6. (a) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt and (b) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/Ti의 AES 분석 데이터
Fig. 6. AES depth profiling data of (a) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt and (b) Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/Ti

수 있듯이 전극의 거칠기에 따른 SBT막과 전극간의 접촉이 유전 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

그림 8은 3~7V에서 측정된 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} 커패시터의 기판에 따른 hysteresis 곡선을 나타내었다. 800℃에서 1시간 열처리한 Pt/Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/SiO₂/Si 커패시터의 hysteresis 곡선은 Pt/Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x}/Pt/Ti/SiO₂/Si 커패시터의 hysteresis 곡선에 비해 다소 높은 항전계 값을 나타내었다. Pt/SiO₂/Si 기판 위에 증착된 두께가 380nm인 SBT 박막의 잔류분극 값(2Pr)과 항전계 값(Ec)은 ±5V의 범위에서 각각 23μC/cm², 49kV/

cm 이었고, Pt/Ti/SiO₂/Si 기판 위에 증착된 두께가 300nm인 SBT 박막은 24μC/cm²의 2Pr 값과 40kV/cm의 Ec 값이 측정되었다. 위의 결과들을 토대로 SBT막과 기판간의 반응이 적을수록, 기판의 표면이 양호할 수록 낮은 손실계수와 항전계 값이 측정되었다. 따라서 기판의 조건은 전기적 특성을 향상시키기 위한 중요한 요소임을 알 수 있었다.

그림 9는 800℃에서 1시간 열처리한 후 bipolar voltage bias하에서의 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} 커패시터 fatigue 측정 결과이다. ±5V bipolar square pulse를 인가하여 10¹⁰cycles까지 진행 시켰을 시 거의 fatigue 현상은 관찰되지 않았다.

그림 10은 800℃에서 1시간 열처리한 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} 커패시터의 retention 측정 결과이다. V_{wr}

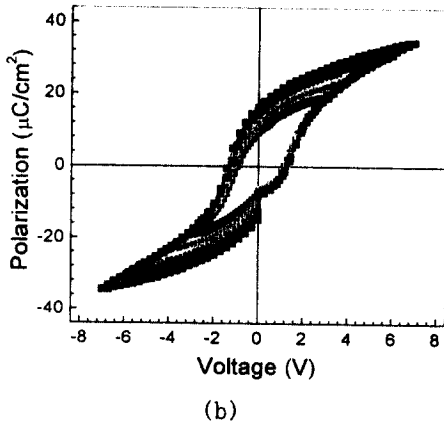
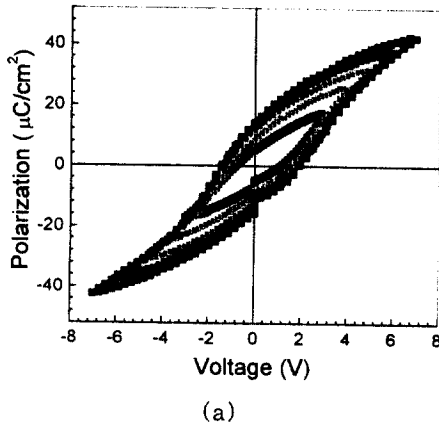


그림 8. (a) Pt/SiO₂/Si(100) and (b) Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 기판 위에 제조된 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} 박막의 인가 전압 3~7V에서의 hysteresis 곡선

Fig. 8. P-E hysteresis loops of Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} thin films prepared on (a) Pt/SiO₂/Si(100) and (b) Pt/Ti/SiO₂/Si(100) substrates at the applied voltage of 3 to 7V

는 -5V, V_{rd1}과 V_{rd2}는 각각 +4, +4V가 가해졌고, 실온에서 3×10⁴초 동안의 전환 분극량과 비전환 분극량의 변화를 관찰하였다. 3×10⁴초 후 초기값에 대한 분극량의 변화는 약 0.77μC/cm² 이었고 감쇄율은 0.17μC/cm² 이었다. 이러한 결과로부터 비추어 볼 때 10년 동안의 분극량 감소는 약 1.45μC/cm² 이 예상되어 FRAM 소자에 적용시 큰 문제가 없을 것으

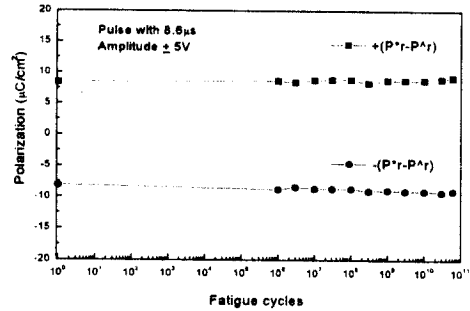


그림 9. Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착시킨 후 800℃에서 1시간 열처리한 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} 박막의 fatigue 특성

Fig. 9. Fatigue characteristics of Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} thin film deposited on Pt/SiO₂/Si(100) at 800℃ for 1h

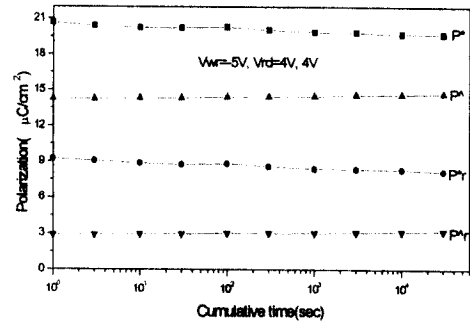


그림 10. Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착시킨 후 800℃에서 1시간 열처리한 Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} 박막의 retention 특성

Fig. 10. Retention characteristics of Sr_{0.8}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+δ} thin film deposited on Pt/SiO₂/Si(100) at 800℃ for 1h

로 생각된다.

4. 결 론

최적의 Sr/Bi/Ta 조성비와 기판의 영향력을 알아보기 위해 줄-겔법으로 다양한 조성의 SBT 박막을 스펀 코팅시켜 제조하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

A. SBT 전구체 용액의 조성에 따라 약간의 상대 회절 강도 차이는 있으나, 대부분 산소 분위기하 800℃에서 열처리된 박막은 결정화가 잘 이루어졌다.

B. 800℃에서 열처리된 SBT 박막들은 조성에 따라 입자구조와 결정화에는 커다란 변화를 주지 않았

으나, 결정립과 유전상수 값은 Sr과 Bi 양에 따라 큰 변화가 있었다.

C. Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착한 후 800℃에서 열처리한 서로 다른 조성의 SBT 박막들 중 Sr/Bi/Ta비가 0.8:2.3:2.0인 박막에서 가장 우수한 강유전 특성을 얻을 수 있었으며 2Pr, Ec값은 ±5V의 범위에서 각각 23μC/cm², 49 kV/cm 이었다. 이때 SBT막의 두께는 380nm 이었다.

D. Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 기판 위 두께가 300nm로 증착된 SBT(Sr:Bi:Ta=0.8:2.3:2.0) 박막의 잔류 분극 값은 Pt/SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착된 값과 비슷하였으나, 항전계 값은 비교적 낮은 값을 나타내었고 더 잘 포화된 P-E 곡선을 나타냈다 : 2Pr=24 μC/cm², Ec=40 kV/cm.

E. 기판의 조건에 상관없이 동일한 조성(Sr:Bi:Ta=0.8:2.3:2.0)으로 제조된 두 커패시터는 10¹⁰ switching cycles까지 fatigue가 관찰되지 않았으며 10⁴초 후에도 분극량 손실이 적은 우수한 메모리 특성을 나타내었다.

이상의 결과로부터 SBT 전구체 용액의 조성비와 기판의 조건은 박막의 결정화, 미세구조, 전기적 특성에 상당한 영향을 미치고 있어 FRAM 응용에 중요한 요소임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 한국과학재단의 한·독 국제 공동연구 연구(과제번호 : 976-0800-005-2)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] T. Mihara, H. Watanabe, and C. A. Paz de A raujo, "Evaluation of imprint properties in Sol-Gel ferroelectric Pb(ZrTi)O₃ thin film capacitors", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 4168-4174, 1993.
 [2] C. A-Paz de Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. M cMillian, M. C. Scott, and J. F. Scott. "Fatigue-free ferroelectric capacitors with platinum electrodes", Nature. Vol. 374, pp. 627-629, 1995.
 [3] T. Osaka, S. Ono, A. Sakakibara, and I.

Koiwa, IEEE. Trans. Elect., "Structural defects in Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O₉ thin film for ferroelectric memory", Vol E81 C, pp. 545-550, 1998.
 [4] H. Takahashi and T. Hara, "Chemical processing and dielectric properties of ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 4952-4955, 1996.
 [5] K. Amanuma, T. Hase, and Y. Miyasaka, "Preparation and ferroelectric propertise of SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Appl. Phys. Lett. Vol. 66, pp. 221-225, 1996.
 [6] I. Koiwa, T. Hase, J. Mita, T. Iwabuchi, T. Osaka, S. Ono and M. Maeda, "Crystallization of Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+x} thin films by chemical liquid deposition", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 4946-4951, 1996.
 [7] S. B. Desu and T. Li, "Fatigue-free SrBi (Ta_xNb_{1-x})₂O₉ ferroelectric thin films", Materials Science and Engineering, B34, L4-L8, 1995.
 [8] M. Klee and U. Mackens, "Sol-Gel and MOD processing of layered perovskite films", Integrated Ferroelectrics, Vol. 12, pp. 11-22, 1996.
 [9] T. hase, T. Noguchi, K Amanuma and Y. Miyasaka, "Sr content dependence of ferroelectric properties in SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Integrated Ferroelectrics, Vol. 15, pp. 127-135, 1997.
 [10] T. Hayashi, H. Takahashi and T. Hara, "Chemical processing and dielectric properties of ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 4952-4955, 1996.
 [11] T. Atsuki, N. Soyama, T. Yonezawa and K. Ogi, "Preparation of Bi-based ferroelectric thin films by sol-gel method", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp. 5096-5099, 1995.
 [12] K. Watanabe, A. J. Hartmann, R. N. Lamb and J. F. Scott, "Electronic characteristics of the SrBi₂Ta₂O₉-Pt junction", J. Appl. Phys. Vol. 84, pp. 2170-2175, 1998.