

MOD법에 의한 강유전성 $Sr_xBi_yTa_2O_{9+\alpha}$ (SBT) 박막의 제조 및 후열처리 효과에 관한 연구

논문
11-3-10

Fabrication and Post-Annealing Effects of Ferroelectric $Sr_xBi_yTa_2O_{9+\alpha}$ (SBT) Thin Films by MOD Process

정병직*, 신동석*, 윤희성*, 김병호*

(Byong-Jik Jeong, Dong-Suk Shin, Hee-Sung Yoon, Byong-Ho Kim)

Abstract

Ferroelectric $Sr_xBi_yTa_2O_{9+\alpha}$ ($0.7 \leq Sr \leq 1.0$, $2.0 \leq Bi \leq 2.6$) solutions were prepared by MOD (Metalorganic Deposition) process. These solutions were made into thin films with thickness ranging from 1500~2000Å by spin coating. The phase transformation of the SBT thin films by variation of annealing temperature and annealing time were observed using high temperature XRD and SEM. The crystallization and grain growth of SBT thin film were accomplished at 800°C with time over 40 minutes. The SBT thin film was post annealed at 800°C for 30 minutes after deposition of Pt top electrode by sputtering to prevent electrical breakdown. Ferroelectric properties of the SBT thin films were measured in the range of $\pm 3V$ and $\pm 5V$. The specimen with composition ratio of Sr/Bi/Ta (0.8/2.4/2.0) has the excellent ferroelectric properties : $2P_r = 10.5, 13.2 \mu C/cm^2$ at $\pm 3V$ and $\pm 5V$ respectively. Observing the post annealed Pt/SBT/Pt interface by SEM, it was found that Pt electrode sputtered on to the SBT thin film penetrated into the hollow on the SBT thin film, thus decreasing the effective insulation thickness. The effective insulation thickness recovered by post annealing, and this was confirmed by leakage current density measurement.

Key Words (중요용어) : $Sr_xBi_yTa_2O_{9+\alpha}$ thin film($Sr_xBi_yTa_2O_{9+\alpha}$ 박막), MOD process(MOD법), Hollow(골짜기), Insulation breakdown(절연파괴), Post annealing(후열처리)

1. 서 론

컴퓨터 산업이 발달함에 따라 강유전체 박막을 비휘발성 메모리에 응용하기 위한 연구가 활발해지고 있다. 이러한 강유전성 재료들 중에서 비휘발성, fast switching speed, radiation hardness적인 측면에서 가장 각광 받는 물질이 PZT계열의 재료들이었다¹⁾. 그러나 최근 강유전성 박막특성에 대한 연구의 관심

이 피로특성과 데이터 보존시간 등 제품의 수명에 관한 쪽으로 높아지고 있다. 일반적으로 신뢰성을 지닌 제품의 피로특성, 데이터 보존시간은 각각 10^{12} 회와 10년 정도로 보고 있는데 기존의 PZT는 10^8 회 전후에서 심각한 fatigue 현상이 일어나는 것으로 알려져 있으며^{2,5)}, 이를 개선하기 위한 연구가 진행되면서 피로 현상을 일으키는 원인을 기존 재료인 PZT 자체의 문제로 보고 SBT(strontium bismuth tantalate)와 같은 Bi 층상구조를 가진 새로운 강유전성 물질을 사용하여 피로현상을 해결하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다⁶⁾. SBT는 구조상 분극반전(polarization switching)이 발생하는 층과 완충층(buffer layer) 역할을 하는 Bi 산화물층이 반복적으

* : 고려대학교 공대 재료공학과
(서울시 성북구 안암동 5가 1, Fax: 02-921-9237
E-mail : jbj72@kucn.korea.ac.kr)
1997년 9월 27일 접수, 1997년 12월 10일 심사완료

로 존재하므로 피로특성이 우수하다고 알려져 있으며⁷⁾, PZT에 비해 잔류분극(P_r) 값이 1/3정도 밖에 되지 않고 유전율(ϵ_r)도 200~250정도로 작지만 작동전압이 낮고 막두께에 대한 P_r 값의 의존도가 매우 낮으므로 고집적화에 아주 유리한 특성을 가지고 있다⁸⁾.

SBT 박막을 제조하는 방법으로는 MOCVD⁹⁾, PLD¹⁰⁾, 스퍼터링, Chemical Liquid Deposition (CLD) 등이 있으나, 이 중에서 CLD의 일종인 MOD (Metalorganic Deposition)는 조성조절이 쉽고 실험이 용이하기 때문에 많이 이용되고 있는 공정이다¹¹⁾. 본 연구에서는 이러한 MOD법을 이용한 SBT 박막 제작시 고온 열처리 과정에서 Bi의 휘발이 일어나는¹²⁾ 점을 감안하여 Tantalum의 조성을 2.0으로 normalize 시킨후 Sr과 Bi의 조성비를 각각 0.7~1.0, 2.0~2.6으로 변화시켜 가며 SBT 용액을 합성하였다. 이후 제조된 용액을 가지고 spin coating법으로 SBT 박막을 제조한 후 가장 우수한 강유전 특성을 갖는 조성을 찾고자 하였다. 또한 SBT 박막의 결정화 및 결정성장에 적합한 온도와 시간을 전기적 특성 측정을 통하여 찾으려는 시도는 있었으나¹³⁾ 결정학적인 측면에서 찾으려는 자료는 거의 찾아볼 수 없으므로 본 연구에서는 고온 XRD 및 주사전자현미경(SEM)을 이용해 SBT 박막의 결정화와 결정립의 성장에 필요한 온도와 시간을 찾고자 하였다. 그리고, 상부전극으로 Pt를 증착한 후 전기적 특성 측정시 발생하는 절연 파괴현상 및 그 해결책으로 제시된 후열처리의 필요성을 미세구조적으로 설명하고자 하였다.

2. 실험 및 측정

2.1 코팅용 SBT 용액의 합성 및 박막의 제조

그림 1에 SBT MOD 용액의 제조를 위한 흐름도를 나타내었다. strontium과 bismuth의 출발물질로 각각 carboxylate 계열의 화합물인 strontium 2-ethylhexanoate ($Sr [C_4H_9CH(C_2H_5)COO]_2$)와 bismuth 2-ethylhexanoate ($Bi[C_4H_9CH(C_2H_5)COO]_3$)를 사용하였고, Tantalum의 출발물질로 alkoxide 계열의 화합물인 Tantalum ethoxide ($Ta(OC_2H_5)_5$)를 사용하였다. 용매로는 Xylene, 2-Methoxyethanol을 사용하였고 alkoxide 계열의 화합물의 안정화를 위하여 Isopentyl acetate를 첨가하였으며 이들을 혼합, 가열하여 SBT MOD 용액을 만들었다. 이렇게 만든 SBT MOD 용액은 코팅에 적

합한 성질을 지녔으며 최종 농도는 0.1 mol/l로 고정하였다.

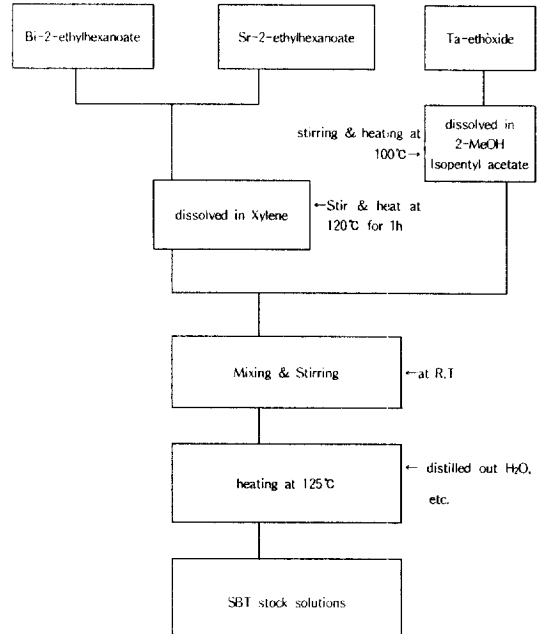


그림 1. SBT MOD 용액을 제조하기 위한 실험 절차
Fig. 1. Experimental procedure for preparation of SBT MOD solutions

그림 2는 열중량분석 측정을 위한 SBT 젤분말 및 SBT 박막을 얻기 위한 흐름도이다. 기존에 많이 사용되던 Pt/Ti/SiO₂/Si기판은 600°C 이상에서 장시간 산화 분위기에 노출될 경우 Ti의 산화가 일어나 SBT 박막의 변질을 유발하기 때문에 SiO₂ 위에 Pt가 800Å 정도 증착되어 있는 Pt/SiO₂ 기판을 사용함으로써 기판내에서의 상호반응이 일어나는 것을 방지해 주었다. Pt/SiO₂ 기판위에 spin coater를 이용해 2000rpm에서 30초간 다층코팅을 하여 약 1500~2000Å 정도의 두께를 갖는 SBT 박막을 제조하였다. 다층코팅을 위한 중간열처리 온도는 젤분말의 열중량분석(SETARAM, 16-1750) 결과를 토대로 결정하였으며 결정화 및 결정성장에 필요한 적당한 온도와 시간을 결정하기 위하여 고온 XRD (PHILIPS X'Pert-MPD)를 사용하여 SBT의 상전이 온도를 관찰하였다.

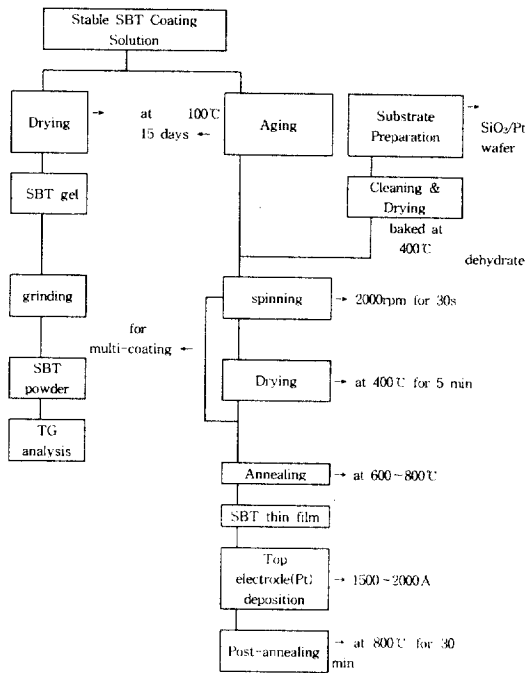


그림 2. SBT 박막과 젤분말을 제조하기 위한 실험절차
 Fig. 2. Experimental procedure for preparation of SBT thin films and gel powder

2.2 조성분석 및 전기적 특성분석

제조된 용액 및 박막의 조성분석을 위해 ICP (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, JOVIN YVON, JY 138 Ultrace) 를 이용하여 Tantalum의 몰비를 2.0으로 normalize 시켜 Sr과 Bi의 상대 몰비를 측정하였다. SBT 박막의 전기적 성질을 측정하기 위하여 SBT 박막위에 스퍼터링을 이용하여 상부전극인 Pt를 증착한 후 800°C에서 30분간 후열처리를 해주었다. 이후 RT66A(Radiant Technologies, Inc.)를 사용하여 SBT 박막의 이력곡선을 측정하였으며 pico-Amperemeter(HP 4140B)를 사용하여 1~20V의 인가전압 범위에서 누설전류밀도(Leakage current density)를 측정하였다.

2.3 박막의 미세구조 분석

여러 조성의 SBT 박막을 제조한 후 2P_r 값이 가장 높은 시편과 가장 낮은 시편을 선별하여 두시편의 미세구조를 비교하여 보았으며 가장 우수한 특성을 가지는 조성의 박막을 전자주사현미경(SEM)과

AFM을 이용하여 계면구조를 관찰하고 박막 표면의 거칠기를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 젤분말의 열중량분석 및 박막의 고온 XRD 분석

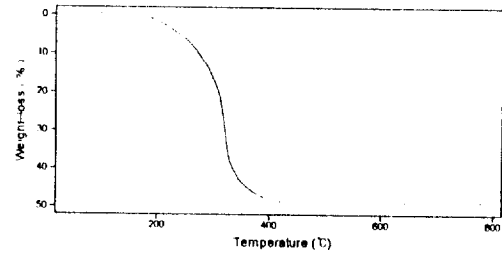


그림 3. SBT gel powder의 열중량분석
 Fig. 3. TG analysis of SBT gel powder

SBT 용액을 100°C oven에서 강제로 젤화 시켜 얻은 분말을 대기중에서 10°C/min의 승온속도로 TG 분석한 결과를 그림 3에 나타내었다. 400°C 부근에서 모든 유기물의 탈리가 일어나는 것으로 보이며 이 결과로부터 다층코팅을 위한 가장 적합한 중간열처리 온도는 400°C 정도임을 알 수 있었다.

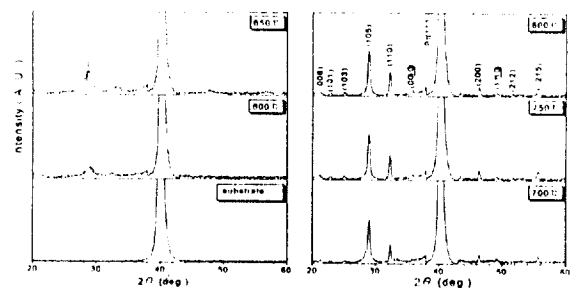


그림 4. 고온XRD를 이용한 온도에 따른 SBT (1/2.0/2.0) 박막의 상전이 거동
 Fig. 4. High Temperature XRD analysis of the phase transformation of SBT (1/2.0/2.0) thin film at various temperature

그림 4는 1/2.0/2.0의 Sr/Bi/Ta의 조성비를 가지는 SBT 박막을 중간열처리를 거친 비정질 상태에서 고

은 XRD를 이용하여 600~800°C의 온도범위에서 SBT 박막의 상전이 거동을 관찰한 결과이다. 이 결과로부터 SBT 박막은 650°C 부근에서 결정화가 시작되며 750°C 이상에서 결정화가 거의 대부분 이루어지므로 최종열처리 온도는 750°C 이상이 적합하다는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 750°C 이상의 온도에서 열처리한 SBT 박

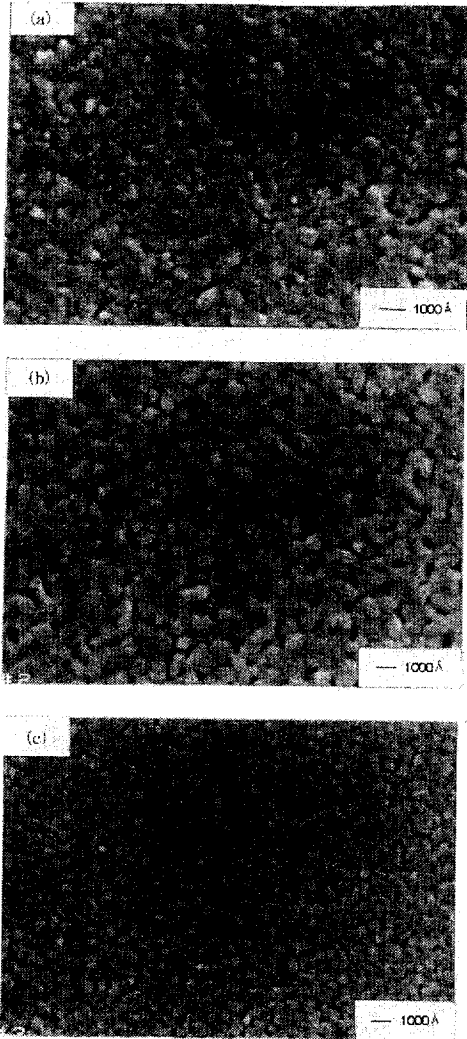


그림 5. 열처리 온도에 따른 SBT(1/2.0/2.0) 박막의 미세구조 변화 (a) 750°C (b) 800°C (c) 850°C

Fig. 5. Microstructure change of SBT(1/2.0/2.0) thin film with annealing temperature (a) 750°C (b) 800°C (c) 850°C

막의 미세구조 변화를 나타낸 것이다. 그림 4와 그림 5의 결과로부터 750°C에서 거의 완전한 결정화가 이루어지나 완전한 결정립의 성장이 일어나지 않는다는 것을 알 수 있으며, 800°C에서는 비록 치밀하지는 않지만 결정립의 크기가 가장 크고 입계 (grain boundary)가 명확한 미세구조를 가짐이 확인되었다. 850°C에서는 오히려 800°C에서 보다 결정립의 크기는 작지만 조밀한 미세구조를 가짐이 확인되었으며 이것에 관한 이유는 본 실험 결과로는 정확히 파악할 수 없으나 SBT의 결정화 및 결정립 성장에 가장 적합한 온도는 800°C이며 이보다 높은 온도에서는 SBT가 결정화될 때 핵생성 자리인 seed들의 생성을 촉진하여 매우 미세한 결정립을 가지게 되기 때문이라고 생각된다.

그림 6은 1/2.0/2.0의 조성을 가지는 SBT 박막의 800°C에서 열처리시간에 따른 상전이 거동을 고온 XRD를 이용해 관찰한 그림이다. 이 그림으로부터 800°C에서는 열처리 시간이 40분 이상일 때 SBT의 주피크인 (105)와 (110)면의 회절강도가 더 이상 증가하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그래서 SBT(1/2.0/2.0) 박막의 결정화 및 성장에 적합한 온도와 시간이 800°C, 40분 이상이면 충분하다는 것을 알 수 있었다.

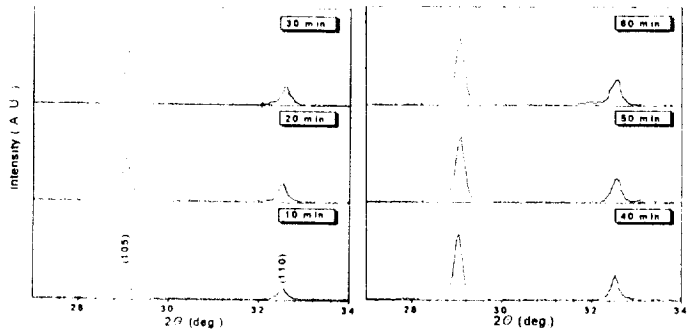


그림 6. 고온XRD를 이용한 800°C에서 열처리시간에 따른 SBT(1/2.0/2.0) 박막의 상전이 거동

Fig. 6. High temperature XRD analysis of SBT(1/2.0/2.0) thin film with heat treatment temperature at 800°C

3. 2 박막의 조성분석 및 전기적 특성 분석

표 1은 Sr과 Bi의 몰비를 달리하여 제조된 SBT 용액과 800°C에서 40분 동안 O_2 flow 조건에서 열처리한 SBT 박막을 ICP를 이용해 조성분석한 결과이다.

표 1. ICP를 이용한 SBT 용액 및 박막들의 조성 비분석 (Tantalum의 조성비는 2.0기준)

Table 1. The mole ratio analysis of SBT solutions and thin films by ICP (normalized in Tantalum=2)

Expected mole ratio (Sr : Bi : Ta)	MOD stock solution (Sr : Bi : Ta)	Film prepared at 800°C (Sr : Bi : Ta)
1.0 : 2.0 : 2.0	0.99 : 1.94 : 2.0	1.01 : 1.49 : 2.0
0.9 : 2.0 : 2.0	0.89 : 1.95 : 2.0	0.89 : 1.68 : 2.0
0.8 : 2.0 : 2.0	0.80 : 1.93 : 2.0	0.81 : 1.75 : 2.0
0.7 : 2.0 : 2.0	0.69 : 1.91 : 2.0	0.70 : 1.89 : 2.0
1.0 : 2.2 : 2.0	1.02 : 2.22 : 2.0	0.98 : 1.74 : 2.0
0.9 : 2.2 : 2.0	0.89 : 2.18 : 2.0	0.91 : 1.96 : 2.0
0.8 : 2.2 : 2.0	0.79 : 2.17 : 2.0	0.71 : 2.01 : 2.0
0.7 : 2.2 : 2.0	0.69 : 2.19 : 2.0	0.69 : 2.15 : 2.0
1.0 : 2.4 : 2.0	1.03 : 2.39 : 2.0	1.02 : 2.02 : 2.0
0.9 : 2.4 : 2.0	0.90 : 2.37 : 2.0	0.96 : 2.09 : 2.0
0.8 : 2.4 : 2.0	0.81 : 2.38 : 2.0	0.83 : 2.13 : 2.0
0.7 : 2.4 : 2.0	0.69 : 2.37 : 2.0	0.68 : 2.20 : 2.0

Tantalum의 조성비를 2로 고정시킨후 제조된 SBT 용액 및 800°C에서 40분동안 열처리한 박막의 조성비를 비교한 결과 Bi와 Sr의 원자반경이 비슷해 Bi가 Sr site를 채워준다는 Atsuki et. al.의 연구결과¹⁴⁾와는 달리 SBT 박막은 열처리 과정을 거친 후에도 특별한 Sr의 몰비 증가 현상은 보이지 않았다. 그러나, 800°C에서의 열처리 과정을 거치면 상당량의 Bi가 휘발된다는 사실은 확인할 수 있었으며 이러한 휘발현상은 동일한 Bi의 몰비의 경우 Sr의 몰비가 증가할수록 현저하다는 사실을 알 수 있었다.

표 2는 SBT 박막의 P-E특성을 ±3V, ±5V의 인가전압하에서 측정하여 박막의 조성에 따른 2P_r값의 변화를 나타낸 것이다.

이 표에서 보듯이 1/2.0/2.0의 조성을 제외한 모든 SBT 박막이 전형적인 강유전체의 특징을 나타내었으며 그 중에서 특히 Sr/Bi의 조성비가 0.8/2.4일 때 가장 우수한 강유전특성이 관찰되었다. 그러나 20 mol%를 초과하는 Bi를 첨가할 경우에는 박막의 누설전류밀도가 높아져 모두 층간단락이 일어나는 것으로 관찰되었으며, Sr의 조성비는 0.8 일 때 가장 우수한 강유전특성이 관찰되었다.

그림 7은 두께가 약 1500Å이고 Sr/Bi의 조성비가 0.8/2.4인 SBT 박막을 인가전압 ±3V, ±5V의 범위에서 P-E측정 결과로 전형적인 강유전체의 이력곡선을 보이고 있으며 ±5V일 때 E_c값은 약 50

표 2. Sr, Bi 조성 변화에 따른 SBT 박막들의 2P_r값 (a) ±3V, (b) ±5V

Table 2. The 2P_r(μC/cm²) value of SBT thin films with various composition change at (a) ±3V and (b) ±5V

Sr \ Bi	2.0	2.2	2.4
	1.0	short	4.8
0.9	6.4	7.3	8.6
0.8	6.7	8.8	<u>10.5</u>
0.7	6.4	7.1	8.1

(a) ±3V

Sr \ Bi	2.0	2.2	2.4
	1.0	short	6.2
0.9	8.4	9.9	11.0
0.8	8.6	11.3	<u>13.2</u>
0.7	7.9	8.3	9.5

(b) ±5V

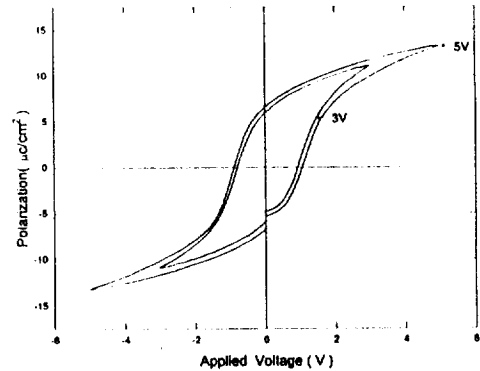


그림 7. ±3V와 ±5V의 범위에서 측정한 SBT (0.8/2.4/2.0) 박막의 P-E 곡선

Fig. 7. P-E curve of SBT(0.8/2.4/2.0) thin film at ±3V, ±5V

kV/cm 정도임을 알 수 있다..

3.3 조성 변화에 따른 SBT 박막의 미세조직 변화

그림 8은 0.8/2.4/2.0의 조성을 가지는 SBT 박막의 미세구조를 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 그림

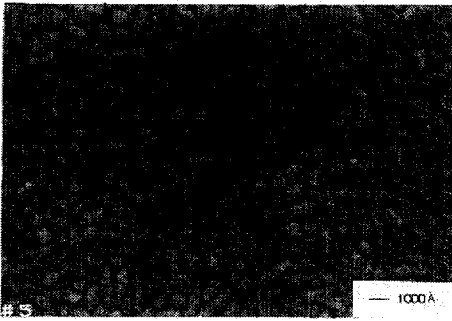


그림 8. 800°C에서 열처리한 SBT(0.8/2.4/2.0) 박막의 전자현미경 사진

Fig. 8. SEM micrograph of SBT(0.8/2.4/2.0) thin film after 800°C annealing

5. (b)의 1/2.0/2.0의 조성을 가지는 SBT 박막에 비해 같은 열처리 조건임에도 불구하고 결정립의 크기는 비슷하나 보다 치밀한 미세구조를 가지는 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 Sr과 Bi의 조성비가 변하면 SBT 박막의 미세구조도 달라지며, 0.8/2.4/2.0의 조성에서 가장 치밀한 미세구조를 가지기 때문에 가장 우수한 강유전 특성을 나타내는 것으로 생각된다.

3. 4 후열처리에 의한 SBT 박막의 계면특성

앞에서 전기적 특성을 측정한 모든 SBT 박막은 Pt 상부전극을 평균 지름이 약 0.2mm인 shadow mask를 이용해 스퍼터링으로 증착한 후 800°C에서 30분 동안 후열처리를 해준 시편들이었다. 이처럼 상부전극을 증착한 후에 후열처리를 해준 이유는 앞에서 언급한 모든 조성의 박막이 후열처리 전에는 높은 누설전류밀도로 인해 층간단락이 일어나서 전기적 특성을 측정할 수 없었기 때문이며 이러한 문제점은 후열처리를 통하여 해결할 수 있었다.

그림 9. (a)의 AFM과 (b)의 SEM 사진에서와 같이 800°C에서 40분간 열처리를 거친 SBT 박막의 표면은 평탄하지 못하여 여기에 Pt 상부전극을 스퍼터링을 이용해 증착하게 되면 평탄하지 못한면에 존재하는 골짜기 부분으로 Pt가 침투하는 현상이 일어나게 된다. 이는 SBT 박막의 유효절연두께가 감소했다는 것을 의미하며 이러한 이유로 P-E측정시 SBT 박막내에서 층간단락이 발생하는 원인을 제공하게 된다. 그림 10의 SEM 사진은 이러한 설명을 뒷받침해주는 직접적인 증거로서 그림 9. (b)와 같이 800°C에서 열처리한 SBT 박막에 상부전극을 스퍼터링을

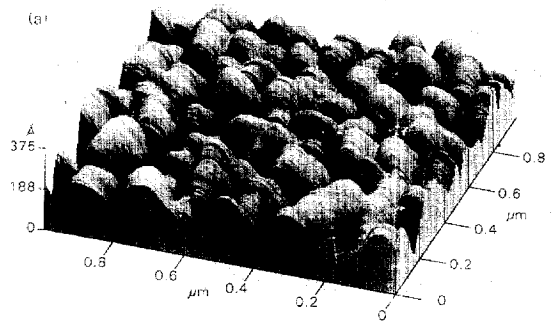


그림 9. (a) SBT(0.8/2.4/2.0) 박막의 Atomic Force Microscopy(AFM) 이미지

(b) 전자현미경(SEM)을 이용한 상부전극 증착전 SBT(0.8/2.4/2.0)계면의 미세사진

Fig. 9. (a) Atomic Force Microscopy(AFM) image of SBT(0.8/2.4/2.0) thin film

(b) Cross-sectional Scanning Electron Microscopy (SEM) micrograph of SBT (0.8/2.4/2.0) interface before Pt deposition

로 증착 시켜주면 그림 10의 (a)에서처럼 상부전극의 Pt가 SBT 표면의 골짜기 부분으로 침투된 것을 볼 수 있으며, 800°C에서 30분동안 후열처리를 해준 결과 SBT 박막내에서 Pt의 재결정화(recrystallization)가 일어나 그림 10.(b)와 같이 Pt/SBT의 계면이 평탄하게 접촉되어 있음을 관찰할 수 있다.

그림 11은 후열처리 후에 재결정화로 인해 유효절연두께가 증가했음을 나타내주는 결과로서 SBT 박막의 누설전류밀도 값이 후열처리를 하지않은 Pt/SBT/Pt 박막에서는 층간단락의 기준인 $0.1A/cm^2$ (at 0.5V)이상을 나타내었으나, 후열처리를 함으로서 누설전류밀도가 약 $10^{-9}A/cm^2$ 정도로 현저히 감소함이 관찰되었다.

위와 같은 이유로 인해 MOD에 의해 SBT 박막을

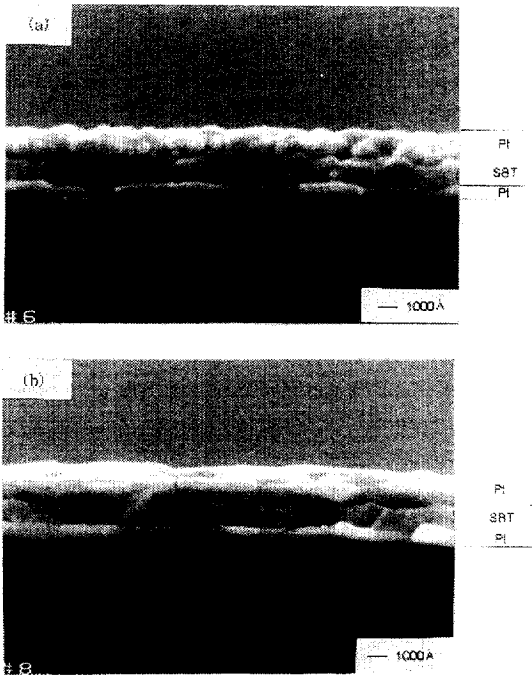


그림 10. 전자현미경(SEM)을 이용한 Pt/SBT (0.8/2.4/2.0)/Pt 계면의 미세사진 (a)후열처리전 (b) 후열처리후

Fig. 10. Cross-sectional Scanning Electron Microscopy (SEM) micrograph of Pt/SBT (0.8/2.4/2.0)/Pt interface(a) before post-annealing (b) after post-annealing

제조한 후 스퍼터링을 이용해 상부전극을 증착하는 경우에는 후열처리 과정이 반드시 필요하며 후열처리에 있어서 가장 적합한 온도와 시간, 분위기 등에 관한 연구 및 이들의 계면에서 일어나는 현상에 대한 보다 정확한 연구 및 해석, 그리고 계면특성이 SBT 박막의 성질에 미치는 영향등에 관한 보다 세밀한 연구가 수행 되어져야 한다고 생각된다.

4. 결 론

MOD법으로 SBT 박막을 제조하였으며 가장 우수한 강유전 특성을 지닌 SBT 박막의 조성, 결정화 및 성장, 그리고 전기적 특성과 후열처리의 효과에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SBT 박막은 650°C 부근에서 결정화가 시작되어 750°C 부근에서 완전한 결정화가 이루어지며, 결정성장 특성을 고려할 때 가장 적합한 열처리 온

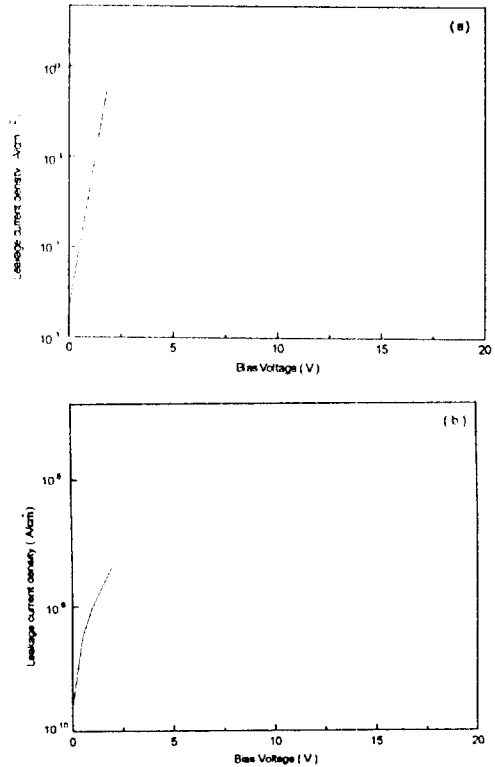


그림 11. SBT(0.8/2.4/2.0) 박막의 누설전류밀도 (a) 후열처리전, (b) 후열처리후

Fig. 11. Leakage current density of SBT (0.8/2.4/2.0) thin film (a) before post-annealing, (b) after post-annealing

도와 시간은 800°C에서 40분이상인 것으로 나타났다.

- 2) Sr/Bi/Ta비가 0.8/2.4/2.0 일 때 가장 우수한 강유전 특성이 얻어졌으며 ±5V의 범위에서 $2P_r$ 과 E_c 값은 각각 $13.2 \mu C/cm^2$, $50kV/cm$ 이었다.
- 3) 조성이 다른 SBT 박막은 같은 열처리 조건에서도 미세구조가 달라지며 치밀한 구조를 가질수록 $2P_r$ 값이 크다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 800°C에서 열처리 한 SBT 박막은 평탄하지 못한 표면을 가지고 있으며, 이러한 이유로 스퍼터링을 이용해 Pt 상부전극 증착시 Pt의 침투현상을 유발하여 SBT 박막의 유효절연 두께의 감소를 가져와 전계 인가시 층간단락이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 이러한 층간단락 현상은 Pt 상부전극 증착후 800°C에서 30분간 후열처리를 함으로

써 해결할 수 있었고, 이는 유효절연두께의 회복을 가져왔다는 것을 의미하며 SBT 박막의 누설 전류밀도 측정결과 후열처리전 $10^{-1}A/cm^2$ 정도의 값에서 후열처리 후에는 $10^{-9}A/cm^2$ 정도로 현저히 낮아진 결과로부터 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. R. Dat and J. K. Lee, " Pulsed laser ablation synthesis and characterization of layered Pt/SrBi₂Ta₂O₉/Pt ferroelectric capacitors with practically no polarization fatigue", Appl. Phys. Lett. Vol. 67, pp.572~574, 1995.
2. H. M. Duiker, P. D. Cuchiaro and L. D. Mc Millan, "Fatigue properties of ferroelectric PZT thin film and their characterization ". Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 68, pp.5783~5789, 1990.
3. T. Mihara, H. Watanabe and C. A. Paz de Araujo, " Polarization fatigue characteristics of Sol-Gel ferroelectric Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.6})O₃ thin-film capacitors ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, pp.3996~4002, 1994.
4. T. Mihara, H. Watanabe and C. A. Paz de Araujo, " Characteristic change due to polarization fatigue of Sol-Gel ferroelectric Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.6})O₃ thin film capacitors ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, pp.5281~5286, 1994.
5. T. Mihara, H. Watanabe and C. A. Paz de Araujo, " Evaluation of imprint properties in Sol-Gel ferroelectric Pb(ZrTi)O₃ thin-film capacitors ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 4168~4174, 1993.
6. J. J. Lee, C. L. Thio, and S. B. Desu, " Electrode contacts on ferroelectric Pb (Zr_xTi_{1-x})O₃ and SrBi₂Ta₂O₉ thin films and their influence on fatigue properties ", J. Appl. Phys. Vol. 78, pp.5073~5078, 1995.
7. C. A. Paz de Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. McMillan, M. C. Scott and J. F. Scott, " Fatigue - free ferroelectric capacitors with platinum electrodes ", Nature. Vol.34, pp.627~629, 1995.
8. Takashi Mihara, Hiroyaki Yoshimori, Hitoshi, Watanebe and Carlos A. Paz de Araujo. " Characteristic of Bismuth layered SrBi₂Ta₂O₉ thin-film capacitors and comparison with Pb(Zr, Ti)O₃ ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp.5233~5239, 1995.
9. Tingkai Li, Yongfei Zhu, and Seshu B. Desu, "Metalorganic chemical vapor deposition of ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉ thin film", Appl. Phys. Lett. Vol. 68, pp.616~618, 1996.
10. Hitoshi Tabata, Hidekazu Tanaka and Tomoji Kawai, " Formation of Bi-based layered perovskite oxide films ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp.5146~5149, 1995.
11. C. Jeffrey Brinker and George W. Sherer, " Sol-Gel Science ". Academic Press, pp.273~275, 1972.
12. Kazushi Amanuma, Takashi Hase, and Yoichi Miyasaka, "Preparation and ferroelectric properties of SrBi₂Ta₂O₉ thin films ", Appl. Phys. Lett. Vol. 66, pp.221~225, 1996.
13. Ichiro Koiwa, Takao Kanehara, Juro Mita, Toshiyuki Iwabuchi, Tetsuya Osaka, Sachiko Ono and Masakatsu 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.
14. Tsutomu Atsuki, Nobuyuki Soyama, Tadashi Yonezawa and Katsumi Ogi, " Preparation of Bi-Based ferroelectric thin films by Sol-Gel method ", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp. 5096~5099, 1995.