

MOD 법에 의해 제조된 SBT 강유전 박막의 전기적 특성

논문
12-2-8

Electrical Properties of SBT Ferroelectric Thin Films Prepared by MOD

천채일*, 김정석*, D. L. Kwong**

(Chae-Il Cheon*, Jeong-Seog Kim*, D. L. Kwong**)

Abstract

Crystallization, microstructure, and electrical properties were investigated as a function of annealing temperature in SrBi₂Ta₂O₉ thin films, which have high potential for ferroelectric random access memory, prepared by MOD(metal-organic deposition). With increasing annealing temperature from 600℃ to 850℃, fluorite phase with very small grains was crystallized in the temperature range of 600℃ to 650℃ and then Bi-layered perovskite phase was crystallized and rod-like grains grew in very small equi-axed grain matrix above 700℃. The SrBi₂Ta₂O₉ thin film annealed at 750℃ had most desirable electrical properties, large dielectric constant(207), large remanent polarization (2P_r=11.49μC/cm²), low leakage current density(1.4×10⁻⁶A/cm² at 3V), and good fatigue characteristics up to 10⁹ cycles. It was due to that the SrBi₂Ta₂O₉ thin film annealed at 750℃ had not only large rod-like grains but also dense microstructure resulted from co-existent small grains between the large rod-like grains.

Key Words(중요용어) : SrBi₂Ta₂O₉, ferroelectric thin films(강유전박막), MOD, annealing temperature(열처리온도), crystallization(결정화), microstructure(미세구조), electrical properties(전기적 성질)

1. 서 론

강유전체 재료는 전기장(electric field)과 분극(polarization)의 관계에 이력(hysteresis)이 존재하며, 자발분극(spontaneous polarization)의 방향이 인가전계의 방향에 따라 바뀌고 자발분극의 방향과 크기가 전압을 인가하지 않은 상태에서도 그대로 존된다. 따라서 이러한 성질을 이용하여 강유전체 박막을 비휘발성 기억소자(non-volatile memory device)로 응용할 수 있다. 강유전체 메모리(FRAM, ferroelectric random access memory)는 EEPROM, FLASH EEPROM등과 같은 기타의 비휘발성 메모리와 비교하여, 데이터 전달속도, 피로(fatigue) 특성, 동작전압 등에서 훨씬 우수한 특성을 지니고 있다¹⁾. FRAM용 강유전체 박막재료

로 가장 널리 연구된 재료는 PZT계 재료이며, PZT 박막은 유전율이 높고 항전력이 작으면서 잔류분극량이 크기 때문에 비휘발성 재료로 적합한 특성을 지니고 있으나 동시에 누설전류가 크고 절연파괴전압이 낮으며 잔류분극이 방치시간 및 스윗칭 횟수에 따라 감소하는 시효(aging)와 피로(fatigue) 현상이 발생하는 취약점을 가지고 있다²⁾. 최근에 이러한 단점들, 특히 실제 응용 시 최대의 문제가 되는 피로(fatigue) 현상을 크게 개선한 비스무스계 층상 페로브스카이트(Bi-layered perovskite) 재료가 발견되어 많은 연구자의 관심이 집중되고 있다. 비스무스계 층상 페로브스카이트(Bi-layered perovskite) 재료중 하나인 SrBi₂Ta₂O₉(이하 SBT라고 함) 박막과 PZT 박막의 전기적 특성을 비교하면, SBT 박막이 fatigue, imprint, retention, leakage current 등의 특성에서 PZT 박막보다 훨씬 우수한 재료라고 보고되고 있다³⁻⁵⁾.

SBT 강유전체 박막에 대하여 현재까지 발표되고 있는 연구결과들은 대부분이 Sol-Gel 법 등을 이용하여 SBT 박막을 제조한 것들이며, 이 경우 결정화를 위한 열처리온도가 PZT보다 100℃이상 높은 온도인 800℃근처라고 보고되고 있다⁶⁻¹⁰⁾. 이러한 높은

* : 호서대학교 재료화학공학부
(충남 아산 배방 세울 산29-1, Fax : 0418-548-3502 E-mail : cicheon@dogsuru.hoseo.ac.kr)
** : Microelectronic Research Center, University of Texas at Austin, USA
1998년 11월 2일 접수, 1999년 2월 2일 심사완료

열처리온도는 SBT박막의 응용을 어렵게 하는 요인이 되며, 800℃에서 제조된 SBT 박막의 경우 기공과 입자가 크기 때문에 누설전류밀도가 크고 전기적 파괴전압이 낮은 단점이 있다⁶⁾. 이러한 단점을 극복하기 위해서는 먼저 SBT 박막의 결정화거동과 미세구조, 그리고 이러한 물리적 특성과 전기적 특성과의 상관 관계에 대한 이해가 필요하며, 따라서 본 연구에서는 졸 겔법(sol-gel method)과 유사하나 가수분해 과정이 필요 없어 제조공정이 간단하고 재현성이 우수한 MOD(metal-organic deposition)방법으로 SBT 박막을 제조하였으며, 열처리 조건의 변화에 따른 결정화거동, 미세구조 등의 물리화학적 특성과 전기적 특성을 조사하고 이들의 상관관계를 규명하고자 하였다. 또한 이러한 연구를 통하여 강유전 특성이 우수한 SBT 박막의 제조조건을 찾고자 하였다.

2. 실험방법

SBT 박막을 Sol-Gel 법의 일종인 MOD(metal organic deposition) 방법으로 제조하였다. 출발물질로 Strontium 2-ethylhexanoate, Bismuth 2-ethylhexanoate, Tantalum ethoxide를 사용하였다. 먼저 Tantalum ethoxide를 2-methoxyethanol에 녹여 이를 Strontium 2-ethylhexanoate, Bismuth 2-ethylhexanoate와 함께 xylene에 용해시킨 후 120~130℃에서 혼합용액(stock solution)의 농도가 0.1 mol/l가 될 때까지 가열하여 용매를 증발시켰다. 출발원료의 혼합비는 혼합용액(stock solution)의 양이온 몰 비가 Sr:Bi:Ta=0.8:2.4:2.0이 되도록 조절하였다. 이렇게 제조된 혼합용액을 기판에 수 방울 떨어뜨린 후 1500 rpm으로 30초 동안 스펀코팅하고 400℃에서 5분 동안 건조하였다. 사용된 기판은 Pt/Ti/SiO₂/Si 이었다. 원하는 박막의 두께를 얻기 위하여 이 과정을 수 회 반복하였다. 건조된 박막을 산소기체를 흘려주면서 600~850℃의 온도로 1시간 동안 열처리하여 결정화시켰다. Pt 기판 위에 증착된 박막의 단면은 주사전자현미경으로 관찰하여 확인하였으며, 열처리후 최종박막의 두께가 약 250nm였다. SBT 박막의 결정구조는 X ray diffractometer를 이용하여 일반적인 $\theta-2\theta$ 주사방법으로 측정하였으며 미세구조는 주사전자현미경(scanning electron microscope)을 이용하여 관찰하였다. SBT 박막의 전기적 특성을 측정하기 위하여 직경이 0.1mm인 mask를 이용하여 SBT 박막 위에 상온에서 Pt를 DC sputtering 하여 증착한 후 박막의 결정화를 위하여 열처리한 온도와 같은 온도에서 1시간 다시 열처리하였다. 이렇게 제조된 박막의 유전특성(정전용량과 유전손실)은 HP4192A impedance analyzer로 측정하였다. 또한 강유전 특성인 P-E (polarization-electric field) 이력곡선 및 피로(fatigue)특성은 Radiant사의 RT-66A ferroelectric tester를 이용하여 측정하였으며 피로특성은 5V bipolar wave를 인가하여 측정하였다. 박

막의 누설전류밀도 (leakage current density)의 측정에는 HP4155A semiconductor parameter analyzer를 이용하였으며, 상부전극에 +5V를 인가하여 분극 시킨 후 0.1V씩 전압(top electrode-high)을 증가시키면서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

1) SBT 박막의 결정화 및 미세구조의 발달

그림 1은 400℃에서 건조한 시편과 이를 다시 산소분위기의 600~850℃에서 열처리한 SBT박막의 X선 회절모양이다. 그림으로부터 650℃까지의 낮은 열처리 온도에서는 먼저 준 안정상(metastable phase)이라고 알려진 fluorite상이 형성되며 열처리 온도가 700℃이상일 때 SBT 층상구조의 강유전상(layered perovskite phase)이 결정화됨을 알 수 있다¹⁴⁾. 850℃에서 열처리한 시편의 경우 그림 1에서 화살표로 표시한 $2\theta=30^\circ$ 근처에서 매우 작은 intensity를 보이는 제 2상에 의한 peak이 관찰된다. 이러한 제 2상의 peak가 관찰되는 원인으로 Atsuki등은 SBT층 내의 Bi가 Pt층을 가로질러 확산하여 Pt/Ti 계면에서 Bi₂Pt 상이 생성되기 때문이라고 보고하였으며⁶⁾, Lu등은 Pt/Ti/SiO₂/Si 하부기판에서 Ti가 Pt층내로 확산되어 SBT/Pt 계면에서 Ti가 포함된 pyrochlore 상이 생성되기 때문이라고 보고한 바 있다¹⁵⁾. 본 실험에서도 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 고온에서 열처리한 시편에는 미량의 제 2상이 존재하지만 어떠한 상인지 명확하게 확인할 수는 없었다.

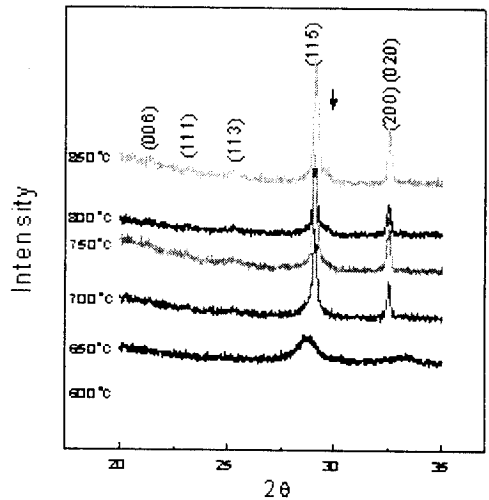


그림 1. 여러 온도에서 열처리한 SBT박막의 X선 회절모양
Fig. 1. XRD patterns of SBT thin films annealed at various temperatures

결정화 온도에 따른 SBT 박막의 미세구조 변화는 그림 2와 같다. 그림 2의 표면 SEM 사진으로부터 600℃와 650℃에서 열처리한 박막은 매우 미세한 입자를 보이고 있으며 이 입자들은 그림 1의 X선 회절 모양에서 나타난 fluorite 상이라고 생각된다. 열처리온도가 700℃로 증가되었을 때는 입자들이 equi-axis 모양으로 성장하여 평균입자크기가 증가되었으며 열처리온도가 750℃인 박막의 경우 입자들이 막대모양으로 성장하였고 평균입자크기가 더욱 크게 증가되었다. 또한 큰 막대모양의 입자들 사이에 매우 미세한 입자들이 함께 존재함을 볼 수 있다. SBT박막을 800℃와 850℃에서 열처리한 시편들의 경우 그림에서 볼 수 있는 것처럼 750℃에서 열처리한 시편과 유사한 미세구조를 보이고 있으나 열처리온도가 증가함에 따라 막대모양의 입자는 조금씩 성장하고 있고 이들 막대모양의 입자들 사이에 함께 존재하고 있던 미세한 입자들이 점차 사라지면서 평균입자크기와 기공율이 동시에 약간씩 증가하고 있음을 볼 수 있다. 또한 그림 3은 이들 시편의 단면사진이다. 열처리온도가 증가함에 따라 입자의 성장을 볼 수 있으며 SBT 박막내의 입자성장과 더불어 Pt/Ti 박막내의 입자들도 성장함을 볼 수 있고 또한 SBT/Pt 계면의 roughness가 커지고 있음을 알 수 있다. 850℃에서 열처리된 시편의 단면 SEM 사진(그림 3(c))에서는

SBT/Pt 계면에서 반응된 제 2상이 관찰되지는 않았다. 그림 1에서 3까지의 X선회절분석 및 전자현미경 관찰로부터 열처리온도가 증가됨에 따라 SBT 박막은 비정질에서 먼저 입자크기가 매우 작은 준 안정 상인 fluorite 상으로 결정화하며 열처리온도가 700℃이상일 때 다시 강유전 상인 layered perovskite 상으로 결정화되며 결정화온도가 증가함에 따라 구형의 미세한 입자에서 막대모양으로 입자성장이 이루어짐을 알 수 있다.

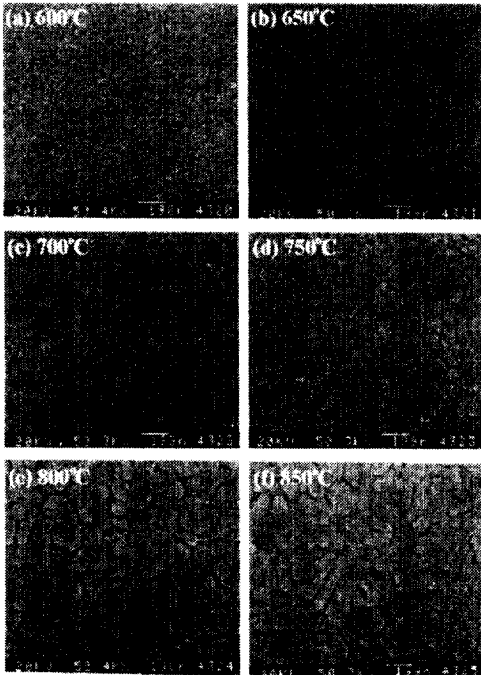


그림 2. 여러 온도에서 열처리한 SBT 박막의 주사 전자현미경 사진
Fig. 2. SEM micrographs of SBT films annealed at various temperatures

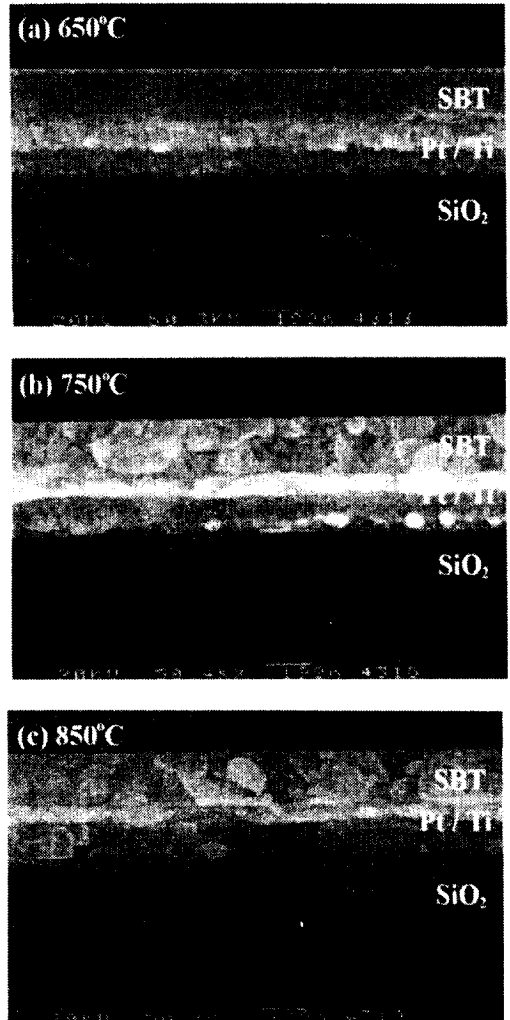


그림 3. 여러 온도에서 열처리한 SBT/Ti/SiO₂/Si 단면의 주사전자현미경 사진
Fig. 3. SEM micrographs of SBT/Ti/SiO₂/Si cross-sectioned surface annealed at various temperatures

2) 결정화 온도가 SBT 박막의 전기적 특성에 미치는 영향

그림 4에 SBT 박막의 정전용량(capacitance)과 유전손실인자(dissipation factor)를 나타내었다. 그림으로부터 SBT 박막의 열처리온도가 650℃에서 750℃까지 증가할 때 정전용량은 계속 증가하여 750℃에서 열처리한 시편의 정전용량이 최대 값을 보이고 열처리온도가 그 이상으로 증가할 때는 정전용량이 다시 감소함을 알 수 있다. 한편 유전손실 값은 모두 0.05이하의 작은 값을 보이고 있다.

SBT 박막의 열처리온도에 따른 정전용량-인가전압(C-V, capacitance-voltage)특성의 변화는 그림 5와 같다. 650℃에서 열처리된 SBT박막은 인가전압에 따른 정전용량의 변화가 거의 없으며, 이는 앞서 설명한 바와 같이 650℃에서 열처리된 SBT 박막은 상유전상인 fluorite 결정구조를 갖기 때문이라고 생각된다. 700℃이상의 온도에서 열처리된 시편의 C-V 곡선은 모두 전형적인 강유전체에서 관찰되는 비선형적인 나비모양(nonlinear butterfly shape)을 보이고 있다. 또한 그림 4와 같이 750℃에서 열처리한 시편의 정전용량이 가장 큰 값을 보이고 있다. 강유전체의 C-V 곡선에서 최대정전용량(C_{max})과 최소정전용량(C_{min})의 차이는 분역벽 이동(domain wall motion)이 강유전 분극 값(ferroelectric polarization)에 기여하는 정도를 의미하며 그림에서 750℃에서 열처리된 시편이 가장 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

열처리온도에 따른 강유전 분극-전기장 이력곡선(ferroelectric polarization-electric field hysteresis loops)의 변화를 측정하여 그림 6에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 650℃에서 열처리한 시편의 경우 거의 선형적인 P-E 특성을 보이고

있으며 이는 650℃에서 열처리한 시편이 상유전상인 fluorite임을 보이는 또 다른 결과이다. 한편 700℃이상의 온도에서 열처리한 시편들은 모두 전형적인 강유전상의 이력곡선을 보이고 있다. 750℃에서 열처리한 시편의 P-E 이력곡선이 700℃에서 열처리한 시편보다 훨씬 발달된 모양을 보이고 있다. 그리고 750℃이상에서 열처리한 시편들의 P-E곡선은 750℃에서 열처리한 시편과 거의 같은 모양을 보이고 있으며 열처리온도가 증가함에 따라 잔류분극 값(remnant polarization)은 거의 일정하지만 최대 분극 값(P_{max})이 약간씩 감소하면서 더욱 포화된 모양을 보이고 있다.

그림 7은 열처리온도에 따른 SBT 박막의 누설전류밀도(leakage current density)의 변화이다. 열처리온도가 650℃에서 750℃으로 증가할 때 SBT 박막은 누설전류밀도가 10^{-8} 에서 10^{-7} A/cm²사이의 값을 갖고 있으며 거의 유사한 I-V 특성을 보이고 있다. 열처리온도가 750℃에서 850℃까지 증가하면 인가전압이 낮은 영역에서 열처리온도 증가에 따라 누설전류밀도가 감소하는 현상을 보이며, 850℃에서 열처리한 시편은 다른 시편보다 낮은 전압에서 절연과파가 발생하였다.

지금까지 설명한 열처리온도에 따른 SBT 박막의 전기적 특성(C-F, C-V, P-E, I-V)의 변화를 그림 8에 함께 나타내었다. 열처리온도가 증가함에 따라 유전상수와 잔류분극 값은 증가하여 750℃일 때 최대를 보였다. 한편 인가 전압이 3V일 때의 누설전류밀도는 열처리온도증가에 따라 약간씩 감소하였고 항전계(coercive field, E_c)는 약간씩 증가하였다. 열처리온도에 따른 전기적 특성의 변화는 앞서 설명한 SBT 박막의 결정화와 미세구조의 발달과정과 밀

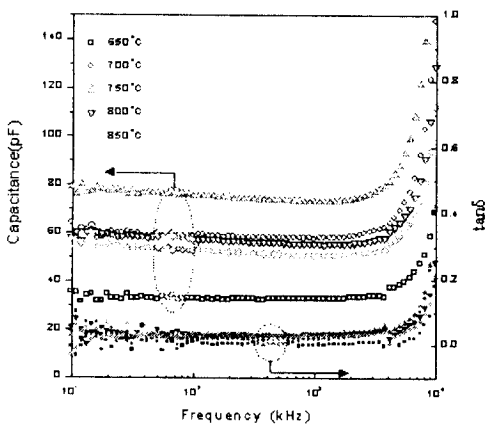


그림 4. 여러 온도에서 열처리한 SBT 박막의 정전용량-주파수 특성

Fig. 4. Capacitance-frequency characteristics of SBT thin films at various temperatures

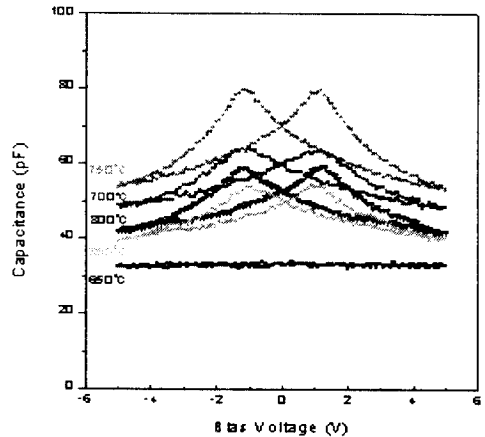


그림 5. 여러 온도에서 열처리한 SBT 박막의 정전용량-주파수 특성

Fig. 5. Capacitance-voltage characteristics of SBT thin films at various temperatures

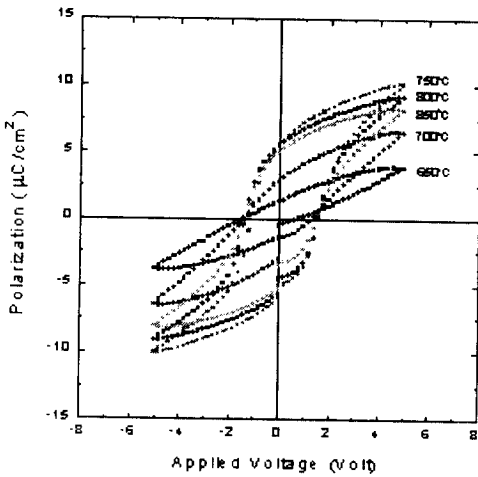


그림 6. 여러 온도에서 열처리한 SBT 박막의 P-E 이력곡선
 Fig. 6. P-E hysteresis loops of SBT thin films annealed at various temperatures

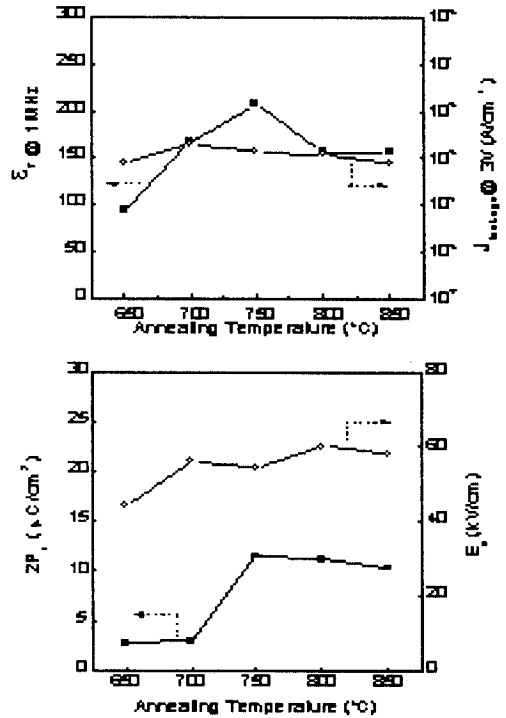


그림 8. 열처리 온도에 따른 SBT 박막의 전기적 특성의 변화
 Fig. 8. Variations of electrical properties with annealing temperature in SBT thin films

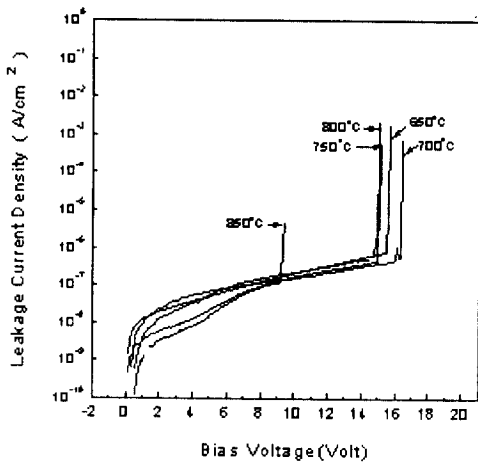


그림 7. 여러 온도에서 열처리한 SBT 박막의 누설 전류 밀도
 Fig. 7. Leakage current densities of SBT thin films annealed at various temperature

접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 650°C에서 열처리한 SBT 박막의 전기적 특성이 상유전 특성을 보이는 것은 아직 강유전상으로 결정화되지 않고 중간상

인 fluorite 결정구조를 갖기 때문이라고 판단되며, 강유전상인 SBT 층상 페로브스카이트상으로 결정화가 이루어진 700°C 이상에서는 전기적 특성이 미세구조에 크게 의존하는 것처럼 보인다. 즉 열처리온도가 700°C에서 750°C로 증가함에 따른 유전상수와 잔류분극 값의 급격한 증가는 입자크기의 급격한 증가에 기인된 것으로 판단되며, 750°C 이상으로 열처리 온도가 증가될 때는 유전상수는 감소하였고 잔류분극은 더 이상 증가되지 않았는데 이는 열처리온도의 증가에 따라 평균입자크기는 약간씩 증가하지만 이와 동시에 기공률이 증가하며 또한 SBT/Pt 계면에 유전상수가 작은 제 2상이 생성되기 때문이라고 판단된다. 이러한 제 2상은 SEM 사진에서는 관찰되지 않았지만 그림 1의 X선회절분석과 그림 8의 전기적 특성의 변화로부터 SBT/Pt 계면에 생성된 상 또는 Pt 층과의 계면 근처의 SBT 상에서 Bi가 확산됨으로써 생성되는 Bi-deficient SBT 상이라고 생각된다. 한편, 열처리 온도가 750°C에서 850°C로 증가될 때 P-E 곡선이 더욱 포화된 모습을 보이는 것은 750°C에서 열처리한 시편의 미세구조에서 볼 수 있는 미세한 입자(잔류하고 있는 fluorite상이라고 생각되

는)가 사라지고 층상 페로브스카이트 상이라고 판단되는 막대모양의 입자들만 존재하기 때문이라고 생각된다.

한편 전기적 특성이 가장 우수하다고 생각되는 750℃에서 열처리한 시편에 5V bipolar wave를 인가하였을 때의 비휘발성 분극(non-volatile polarization)의 변화를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 10^9 cycle 까지 전혀 비휘발성 분극이 감소하지 않은 우수한 피로특성(fatigue characteristics)을 보이고 있다.

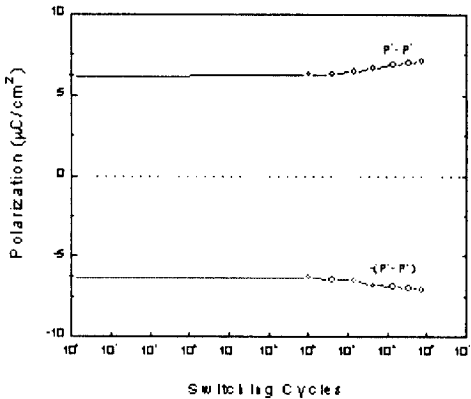


그림 9. 750℃에서 열처리한 SBT 박막의 피로 특성

Fig. 9. Fatigue characteristics of SBT thin films annealed at 750℃

4. 결 론

MOD 스프인코팅 방법으로 제조된 SBT 강유전 박막의 결정화과정 및 미세구조 발달과정, 결정화 온도가 전기적 특성에 미치는 영향에 관하여 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) X선 회절 분석 및 전자현미경 관찰로부터 열처리 온도가 증가됨에 따라 SBT 박막은 비정질에서 먼저 입자크기가 매우 작은 준 안정상인 fluorite상으로 결정화하며 열처리온도가 700℃이상일 때 다시 강유전상인 층상 페로브스카이트 상(layered perovskite phase)으로 결정화되었다. 또한 결정화온도가 증가함에 따라 구형의 미세한 입자에서 막대모양으로 입자성장이 일어났다.

2) 열처리온도가 증가함에 따라 유전상수와 잔류분극이 증가하여 750℃일 때 최대 값을 보인 후 다시 약간씩 감소하였다. 650℃이하에서 열처리한 SBT 박막은 중간상인 fluorite 결정구조를 갖기 때문에 전기적 특성이 상유전 특성을 보이며, 강유전상인 SBT 층상 페로브스카이트 상으로 결정화가 이루어진 700℃이상에서는 전기적 특성이 미세구조에 크게 의

존하였다. 열처리온도가 700℃에서 750℃로 증가함에 따른 유전상수와 잔류분극이 크게 증가하였는데 이는 입자크기의 급격한 증가에 기인된 것으로 판단되며, 750℃이상으로 열처리온도가 증가될 때는 유전상수는 감소하였고 잔류분극은 더 이상 증가되지 않았으며 이는 열처리온도의 증가에 따라 평균입자크기는 약간씩 증가하지만 이와 동시에 기공률이 증가하며 또한 SBT/Pt 계면에 제 2상이 생성되기 때문이라고 판단된다.

3) 750℃에서 열처리된 SBT박막이 다음과 같은 가장 우수한 전기적 특성을 보였다. 유전상수는 207, 잔류분극($2P_r$, remanent polarization)이 약 $11.49 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, 항전계(E_c , coercive field)는 $54.2 \text{ kV}/\text{cm}$, 그리고 누설전류밀도(leakage current density)는 3V에서 $1.4 \times 10^{-8} \text{ A}/\text{cm}^2$ 이었으며, 비휘발성분극(non-volatile polarization, P^*-P^*)은 10^9 회 fatigue시킨 후에도 거의 열화 되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Sumi, N. Moriwaki, G. Nakane, T. Nakakuma, Y. Judai, Y. Uemoto, Y. Nagano, S. Hayashi, M. Azuma, T. Otsuki, G. Kano, J. D. Cuchiaro, M. C. Scott, L. D. McMillan, and C. A. Paz De Araujo, "256kb Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology for 1T/1C cell with 100 ns Read/Write Time at 3V", *Integrated Ferroelectrics*, Vol. 6, pp. 1-13, 1995.
2. T. Mihara, H. Watanabe, C. A. Paz de Araujo, and J. Cuchiaro, "Feasibility for Memory Devices and Electrical Characterization of Newly developed Fatigue Free Capacitors", *Proc. 4th International Symp. on Integrated Ferroelectrics*, March 9-11, pp. 137-157, 1992.
3. T. Mihara, H. Yoshimori, H. Watanabe, T. Itoh, C. Paz de Araujo, and McMillan, "Superior Electrical Characteristics of Bi-layered Perovskite Thin Films and comparison with PZT", *Abst. of 7th International Symp. on Integrated Ferroelectrics*, March 20-22, p. 108c, 1995.
4. T. Mihara, H. Yoshimori, H. Watanabe, and C. Paz de Araujo, "Characteristics of Bismuth Layered $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Film Capacitors and

- Comparison with $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, No. 9B, pp. 5233-5239, 1995.
5. J. J. Lee, C. L. Thio, and S. B. Desu, "Retention and Imprint Properties of Ferroelectric Thin Films," Phys. Stat. Sol. (a), Vol. 151, pp. 171-182, 1995.
 6. T. Atsuki, N. Soyama, T. Yonezawa, and K. Ogi, "Preparation of Bi-Based Ferroelectric Thin Films by Sol-Gel Method," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 34, No. 9B, pp. 5096-5099, 1995.
 7. K. Amanuma, T. Hase, and Y. Miyasaka, "Preparation and ferroelectric properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films," Appl. Phys. Lett., Vol. 66, No. 2, pp. 221-223, 1995.
 8. P. Y. Chu, R. E. Jones, Jr., P. Zurcher, D. J. Tayer, B. Jiang, S. J. Gillespie, Y. T. Lii, M. Kottke, P. Fejes, and W. Chen, "Characteristics of spin-on ferroelectric $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin film capacitors for ferroelectric random access memory applications," J. Mater. Res., Vol. 11, No. 5, pp. 1065-1068, 1996.
 9. T. Noguchi, T. Hase, and Y. Miyasaka, "Analysis of the Dependence of Ferroelectric Properties of Strontium Bismuth Tantalate (SBT) Thin Films on the Composition and Process Temperature," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, No. 9B, pp. 4900-4904, 1996.
 10. I. Koiwa, T. Kanehara, J. Mita, T. Iwabuchi, T. Osaka, S. Ono, and M. Maeda, "Crystallization of $\text{Sr}_{0.7}\text{Bi}_{2.3}\text{Ta}_2\text{O}_{9.4}$ Thin Films by Chemical Liquid Deposition," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35 No. 9B, pp. 4946-4951, 1996.
 11. T. C. Chen, T. Li, X. Zhang, and S. B. Desu, "The Effect of Excess Bismuth on the Ferroelectric Properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films," J. Mat. Res., Vol. 12, No. 6, pp. 1569-1575, 1997.
 12. S. Ono, A. Sakakibara, T. Seki, T. Osaka, I. Koiwa, J. Mita, T. Iwabuchi, and K. Asami, "Correlation between composition, microstructure, and ferroelectric properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films," J. Electrochem. Soc., Vol. 144, No. 7, pp. L185-L187, 1997.
 13. M. Tanaka, K. Watanabe, K. Katori, H. Yamoto, and H. Yagi, "The crystallization path of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ from Sr-Bi-Ta-O MOD precursors," Mat. Res. Bull., Vol. 33, No. 5, pp. 789-194, 1998.
 14. M. A. Rodriguez, T. J. Boyle, C. D. Buchheit, R. G. Tissot, C. A. Drewien, B. A. Hernandez, and M. O. Eatough, "Phase formation and characterization of the $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ layered-perovskite ferroelectric," Integrated Ferroelectrics, Vol. 14, pp. 201-210, 1997.
 15. C. H. Lu, and B. K. Fang, "Secondary phase formation and microstructural development in the interaction between $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ films and Pt/Ti/SiO₂/Si substrates," J. Mat. Res., Vol. 12, No. 8, pp. 2104-2110, 1997.