

## 반도체 소자용 SBT 박막의 전기적특성

오용철, 조춘남, 김진사, 신철기, 홍진웅  
광운대학교

### The Electrical Properties of SBT Thin Film for Semiconductor Device

Yong-Cheul Oh, Choon-Nam Cho, Jin-Sa Kim, Chul-Ki Shin, Jin-Woong Hong  
KwangWoon Uni.

#### Abstract

SBT thin film for semiconductor device that is made by RF magnetron sputtering method studied electrical properties under various temperature condition. Dielectric constant who differ annealing condition appears highest in 750[°C] and it is 213. Also, C-V properties by annealing temperature of SBT thin film for semiconductor device is no change almost to 600[°C] and shows non-linear butterfly shape more than 650[°C]. Maximum capacitance and difference of smallest capacitance show the biggest difference in 750[°C] as degree that domain wall motion contributes in ferroelectric polarization value in C-V characteristic curve of ferroelectric that this shows typical ferroelectric properties.

Therefore, SBT thin film for semiconductor device that is annealing in 750[°C] expressed the most superior electrical and ferroelectric properties.

**Key Words** : RF sputtering, SBT

#### 1. 서 론

지난 10여 년간 강유전체에 대한 연구는 잠재적인 응용력 때문에 꾸준히 연구되어 왔다. 최근에는 전자기기의 소형화 및 집적화로 Bulk 보다는 박막 형태에 연구의 초점이 모아지고 있으며 산화물 강유전체의 강유전성, 압전성 및 초전성등의 우수한 특성을 이용하는데 노력을 기울여지고 있다.[1,2] 최근 개발된 여러 가지 프로세스 기술을 이용하여 만든 이 강유전체 박막은 반도체 소자에 집적화 시킬 수 있는 가능성을 보여주었고 있기 때문에 새로운 전자 소자의 개발 전망이 매우 밝다. 특히 강유전성(hysteresis)을 이용한 비휘발성(non-volatile) 기억소자, 높은 유전율을 이용한 메모리소자(FRAMS), electro-optic 소자 및 IR 감지기 등은 상업적으로는 물론 방위 산업에까지 다양한 응용이 기대되고 있다.

이러한 여러 가지 잠재적인 응용력 때문에 활발하게 연구되어온 강유전체는 여러 가지가 있으며 강유전체 물질중 특히 SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(SBT)와 같은 강유전체는 강유전

성, 압전성 및 초전성 등의 우수한 특성을 가지고 있으며 기존의 Pb(ZrxTi1-x)O<sub>3</sub>(PZT), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 도핑된 Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>(PNZT)에 비해 높은 유전율(~500)을 지니며 누설전류를 방지할 수 있어서 유망한 것으로 알려져 있다. 또한 현재까지 가장 많이 사용되는 재료중 PZT 박막이 실제 응용시 최대의 문제가 되는 피로 현상이 있어 이를 크게 개선한 비스무스계열의 SBT 강유전체는 fatigue, imprint, retention, leakage current 등의 특성에서도 PZT 박막보다 훨씬 우수한 재료라고 보고되고 있다.[3] 그러므로 본 연구는 마이크로전자공학적인 응용에 필수적인 강유전체 박막의 특성조사에 목적이 있다. 강유전체 박막에 대한 연구는 세계적으로 이루어지고 있으나 아직 많은 연구가 요구되는 영역이며 박막의 성장 조건과 그에 따른 박막의 특성에 대한 조사가 체계적으로 이루어져야만 강유전체 소자의 응용이 가능하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 반도체 소자용 SBT박막의 전기적 특성을 중심으로 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 SBT 타겟 제조와 스퍼터링 조건

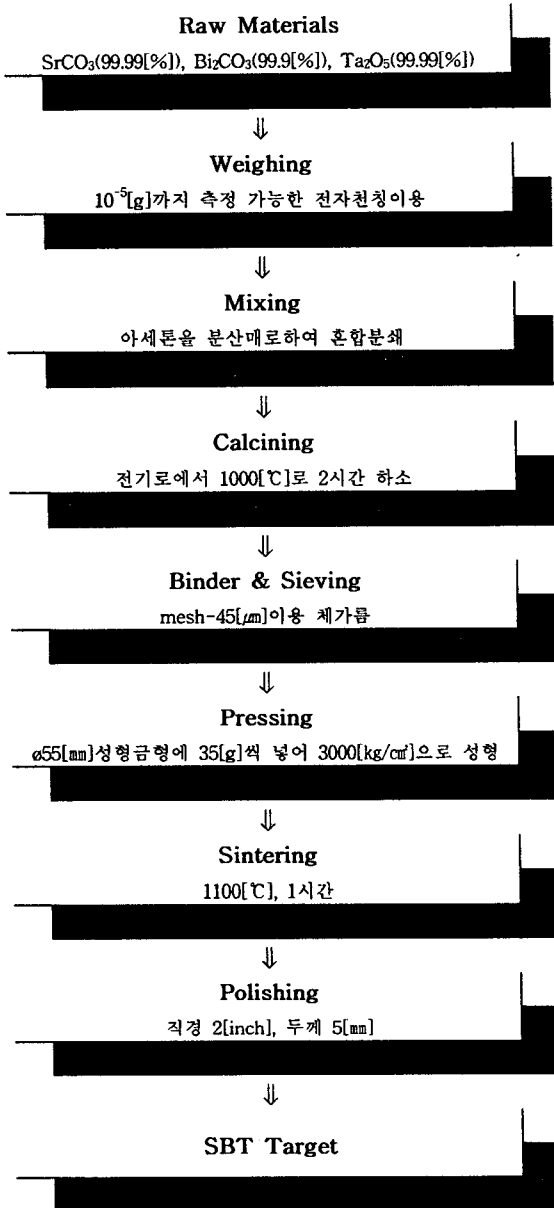


그림 1. 타겟의 제조 공정.

Fig 1. Manufacturing process of target.

안정된 플라즈마 상태를 유지하기 위해 산소와 아르곤 가스 분위기에서 셔터를 닫고 30분 동안 예비 스퍼터링을 하였으며, 기판온도 400[°C]에서 SBT 박막을 제조하

였다. 또한 600[°C]에서 1분동안 열처리하였으며 상부전극은 스퍼터링법과 열증착법을 이용하여 증착하였다. Sr<sub>0.8</sub>Bi<sub>2.4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(SBT) 박막을 증착하기 위하여 기판은 Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si를 사용하였으며 표 1과 같은 조건으로 400[°C]의 기판온도에서 증착하였다. 증착된 박막은 600[°C]~850[°C]에서 30분간 열처리하였다.

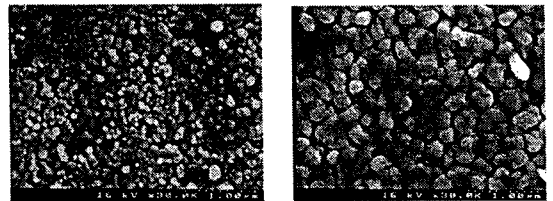
표 1. 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering condition

sputtering condition	values
target	SBT(2 [inch])
substrate	p-type Pt/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> /Si(100)
base pressure	5×10 <sup>-6</sup> [Torr]
working pressure	2×10 <sup>-2</sup> [Torr]
RF power	100[W]
annealing temperature	600[°C]~850[°C]
Ar : O <sub>2</sub>	1 : 1
annealing time	30[min]

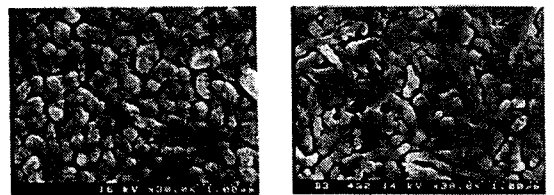
## 3. 결과 및 고찰

### 2.1 온도변화에 따른 SBT 박막의 구조 변화



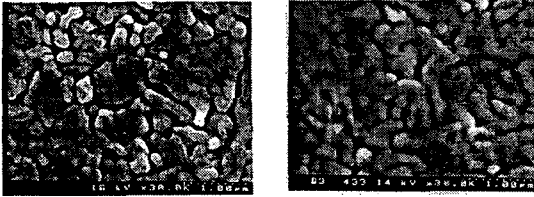
(a) 600[°C]

(b) 650[°C]



(c) 700[°C]

(a) 750[°C]



(a) 800[°C]

(a) 850[°C]

그림 2. 다양한 열처리 온도에 따른 SBT 박막의 SEM 사진.

Fig 2. SEM photograph of SBT thin film at a variety annealing temperature.

열처리한 SBT 박막에 대한 결정립의 크기 및 표면상태 등을 관찰하기 위해 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 400[°C]에서 증착한 후 열처리온도(600~850[°C])에서 각각 30분 동안 열처리하여 관찰한 미세구조를 그림 2.에 나타낸 것이다. 사진으로부터 열처리온도의 증가에 따라 평균입자의 크기가 증가되었으며, 열처리온도가 750[°C]인 박막의 경우 입자들이 막대모양으로 성장하여 평균입자의 크기가 더욱 크게 증가되었다. 열처리온도가 800[°C]와 850[°C]인 시편들의 경우, 열처리온도가 증가함에 따라 막대모양의 입자는 조금씩 성장한다는 것을 보이고 있다. 또한, 이들 막대모양의 입자들 사이에 함께 존재하고 있던 작은 입자들이 점차 사라지면서 평균입자 크기와 기공율이 동시에 약간씩 증가하고 있음을 관찰할 수 있다.

2.1 SBT 박막의 전기적 특성

열처리 온도에 따른 유전상수의 변화는 그림 3.에 나타내었다. 열처리 온도에 따른 유전상수는 750[°C]에서 가장 큰 213을 나타내었다. 이것은 SBT 박막의 유전상수의 크기가 열처리한 시편의 미세구조에서 볼 수 있는 작은 입자들이 사라지고, 층상 페로브스카이트 상이라고 판단되는 막대모양의 입자에 지배되기 때문으로 생각된다.[4,5]

SBT 박막의 열처리 온도에 따른 정전용량-인가전압(C-V)특성의 변화는 그림 4.와 같다. 600[°C]에서 열처리된 SBT 커패시터는 인가전압에 따른 정전용량의 변화가 거의 없었으며, 700[°C]이상의 온도에서 열처리된 시편의 C-V 곡선은 모두 전형적인 강유전체에서 관찰되는 비선형적인 나비모양(nonlinear butterfly shape)을 보이고 있다.

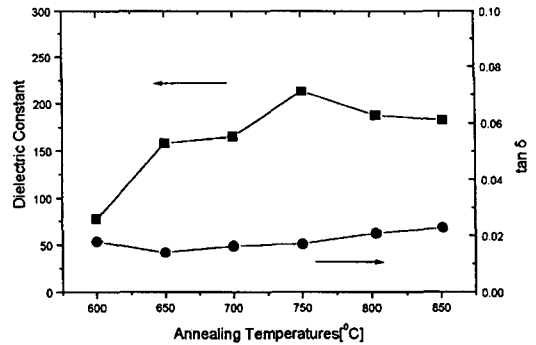


그림 3. 열처리 온도에 따른 SBT 박막의 유전상수의 변화

Fig 3. Variations of dielectric constant with annealing temperatures in SBT thin film

또한, 그림 4.에서와 같이 750[°C]에서 열처리한 시편의 정전용량이 가장 큰 값을 보이고 있다. 강유전체의 C-V 곡선에서 최대정전용량(C<sub>max</sub>)과 최소정전용량(C<sub>min</sub>)의 차이는 분역벽 이동(domain wall motion)이 강유전 분극 값(ferroelectric polarization)에 기여하는 정도로써 그림에서 750 [°C]에서 열처리된 시편이 가장 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

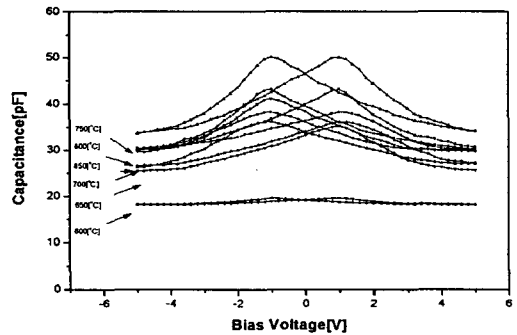


그림 4. 다양한 열처리 온도에 따른 SBT 박막의 정전용량-인가전압 특성

Fig 4. C-V characteristics of SBT thin film as functions of annealing temperatures

그림 5.는 열처리온도에 따른 SBT 커패시터의 누설전류 밀도(leakage current density)의 변화이다. 열처리 온도가 600[°C]에서 750[°C]으로 증가할 때, SBT 박막은 누설전류밀도가 10<sup>-8</sup>에서 10<sup>-7</sup>[A/

cm<sup>2</sup>] 사이의 값을 나타내었으며, 거의 유사한 I-V 특성을 보이고 있다. 또한, 열처리온도가 750[°C] 이상 증가하면 인가전압이 낮은 영역에서 누설전류 밀도가 감소하는 현상을 보였으며, 850[°C]에서 열처리한 시편은 다른 시편보다 낮은 전압에서 절연 파괴가 발생하였다. 또한, 750[°C]에서 열처리한 SBT 박막의 경우, 가장 우수한 누설전류특성을 보였으며, 약  $1.01 \times 10^{-8}$  [A/cm<sup>2</sup>] 이었다. 열처리온도가 증가함에 따라 유전상수와 전류밀도 값의 증가는 그림 3-4에서와 같이 입자의 성장에 기인된 것으로 판단되며, 750[°C] 이상 열처리된 박막의 유전상수와 누설전류 특성이 감소되는 현상을 보이는 것은 열처리온도의 증가에 따라 평균입자 크기는 약간씩 증가하지만, 이와 동시에 기공률이 증가하기 때문으로 판단된다.

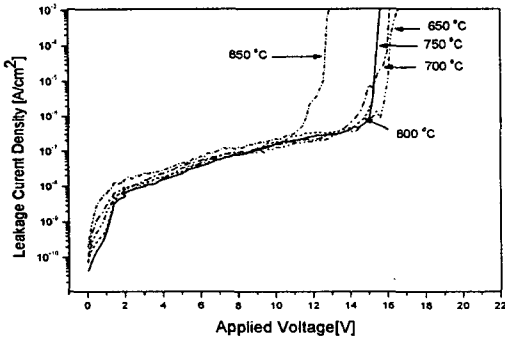


그림 5. 다양한 열처리 온도에서 SBT 커패시터의 누설전류 밀도

Fig 5. Leakage current densities of SBT thin film as functions of various annealing temperatures

#### 4. 결론

반도체 소자용 SBT 박막을 RF 스퍼터링법으로 제작하여 열처리온도(600~850[°C])로 열처리하여 전기적 특성을 측정 한 결과 750[°C]에서 열처리한 SBT 박막이 가장 안정하게 구조적으로 성장하게 되었음을 알 수 있었다. 또한, 유전상수와 누설전류밀도는 각각 213과  $1.01 \times 10^{-8}$  [A/cm<sup>2</sup>]으로 역시 750[°C]에서 열처리한 SBT 박막에서 가장 우수한 특성을 나타내었다.

#### 참고 문헌

- [1] Kazunari Maki, Nobuyuki Soyama, Satoru Mori and Katsumi Ogi "Evaluation of Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Films Derived from Propylene-Glycol-Based Sol-Gel Solutions" Jpn.J.Appl.Phys. Vol.39(2000) Pt.1, No.9B, pp 5421-5425
- [2] Won-Jae Lee, In-Kyu You, Il-suk Yang, Byoung-Gon Yu and Kyoung-Ik Cho, "Phase Formations and Electrical Properties of (Sr<sub>x</sub>Ba<sub>1-x</sub>)Bi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Thin Films", Jpn.J. Appl.Phys. Vol.39(2000) Pt.1, No.9B, pp5469-5471
- [3] Hirokazu Atoh and Hidekazu Doi, "Ferroelectric Properties of La<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>CoO<sub>3</sub>/Pb (Zr<sub>0.4</sub>Ti<sub>0.6</sub>)O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> Capacitors", Jpn.J.Appl.Phys. Vol.38(1999) Pt.1. No.9B, pp 5368-5374
- [4] S. Chen et al., "Aging Behavior and Recovery of Polarization in Sr<sub>0.8</sub>Bi<sub>2.4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Thin Films", J. Appl. Phys, Vol. 87, No. 6, pp3050~3055, 2000.
- [5] M.A. Rodrinues et al, "Phase Formation and Characterization of the SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Layered-Perovskite Ferroelectric, Intergrated Ferroelectrics, Vol. 14, pp. 201~210, 1997.