

## RF magnetron sputtering 으로 제조된 강 유전체 SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 박막의 열처리 온도에 따른 특성 연구

박상식 · 양철훈 · 윤순길 · 안준형\* · 김호기\*

충남대학교 공과대학 재료공학과

\*한국과학기술원 재료공학과

(1996년 12월 20일 접수)

### Characterization of Ferroelectric SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering With Various Annealing Temperatures

Sang-Shik Park, Cheol-Hoon Yang, Soon-Gil Yoon, Jun-Hyung Ahn\*, Ho-Gi Kim\*

Dept. of Materials Engineering, Chungnam National University,

\*Dept. of Materials Sci. & Eng., Korea Advanced Institute of Sci. and Tech

(Received December 20, 1996)

#### 요 약

Bi층 SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(SBT)박막을 상온에서 rf magnetron sputtering에 의해 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 기판위에 증착한 다음 산소 분위기 하에서 1시간동안 750°C, 800°C, 850°C로 열처리하였다. 타겟은 박막내의 Bi와 Sr의 부족을 보상하기 위해 20 mole%의 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 30 mole%의 SrCO<sub>3</sub>를 파잉으로 넣어 사용하였으며 800°C로 열처리한 박막의 조성은 Sr<sub>0.7</sub>Bi<sub>2.0</sub>Ta<sub>2.0</sub>O<sub>9.0</sub>이었다. 200 nm의 두께를 갖는 이 SBT박막은 치밀한 미세구조와, 1 MHz의 주파수에서 210의 유전상수, 0.05의 유전손실을 나타내었고, 또한 100 kHz에서 320°C의 큐리온도를 나타냈으며 그 온도에서의 유전상수는 314이었다. 이 SBT박막의 잔류분극(2P<sub>r</sub>)과 항전계(2E<sub>c</sub>) 값은 각각 인가전압 3V에서 9.1 μC/cm<sup>2</sup>과 85 kV/cm이었고, 5V의 bipolar pulse 하에서 10<sup>10</sup> cycle 까지 피로현상이 나타나지 않았으며, 누설전류 밀도는 150 kV/cm에서 7×10<sup>-7</sup> A/cm<sup>2</sup>의 값을 보였다. rf magnetron sputtering으로 제조된 SBT 박막은 비휘발성 메모리 소자에의 응용이 가능하다.

#### ABSTRACT

Bi-layered SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(SBT) films were deposited on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si substrates by rf magnetron sputtering at room temperature and then were annealed at 750°C, 800°C and 850°C for 1 hour in oxygen atmosphere. The film composition of Sr<sub>0.7</sub>Bi<sub>2.0</sub>Ta<sub>2.0</sub>O<sub>9.0</sub> was obtained after depositing at room temperature and annealing at 800°C. Excess 20 mole% Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 30 mole% SrCO<sub>3</sub> were added to the target to compensate for the lack of Bi and Sr in SBT film. 200 nm thick SBT film exhibited dense microstructure, a dielectric constant of 210, and a dissipation factor of 0.05 at 1 MHz frequency. The films exhibited Curie temperature of 320°C and a dielectric constant of 314 at that temperature under 100 kHz frequency. The remanent polarization(2P<sub>r</sub>) and the coercive field(2E<sub>c</sub>) of the SBT films were 9.1 μC/cm<sup>2</sup> and 85 kV/cm at an applied voltage of 3V, respectively and the SBT film showed a fatigue-free characteristics up to 10<sup>10</sup> cycles under 5V bipolar pulse. The leakage current density of the SBT film was about 7×10<sup>-7</sup>A/cm<sup>2</sup> at 150 kV/cm. Fatigue-free SBT films prepared by rf magnetron sputtering can be suitable for application to non-volatile memory device.

**Key words :** Bi-layered SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(SBT), Rf magnetron sputtering, Nonvolatile memory device

## 1. 서 론

강유전체 박막은 비휘발성 메모리 소자의 적용에 대해 높은 가능성을 가지고 활발히 연구가 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup> 강유전체 물질 중에 Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> (PZT)는 높은 큐리온도(Curie temperature), 큰 잔류분극(remanent polarization)과 높은 유전상수를 갖는 등 우수한 특성 때문에 많이 연구되어 왔다.<sup>3,4)</sup>

그러나 이러한 PZT는 Pt와 같은 금속 전극에서 switching cycle이 증가할수록 분극 값이 급격히 감소하는 fatigue<sup>5)</sup> 문제를 가지고 있다. 이밖에 retention, imprint, depolarization 등의 단점을 가지고 있어서 고밀도 비휘발성 메모리의 상업화에 큰 장애요인이 되고 있다.

이러한 fatigue 의 모델로서 Desu 와 Yoo<sup>6)</sup> 등은 분극의 열화현상이 전극과 강유전체 사이 계면에서의 산소공공(oxygen vacancy)이 포획되기 때문이라고 주장하였고, Paz de Araujo<sup>7)</sup> 등은 다른 미소적인 원인 즉, 90° 분역(domain)에 의한 응력 완화현상이라고 보고하였다. 이러한 장애요인을 해결하기 위하여 하부전극을 La,Sr<sub>1-x</sub>CoO<sub>3</sub>, RuO<sub>2</sub>, IrO<sub>2</sub> 등의 산화물 전극을 사용하거나 La 이나 Nb 등의 원소를 첨가하여 어느 정도의 성과를 얻었으나 이러한 경우에는 누설전류가 상승하는 또 다른 문제점을 야기하게 되었다.<sup>8)</sup>

이러한 재료들의 피로특성을 향상시키기 위하여 Bi 층(layer)을 갖는 SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>강유전체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>9,10)</sup> 이들의 주된 연구배경은 위의 피로 문제의 원인이 되는 것으로 추정되는 산소공공이나 90° 분역이 적게 함유되어 있고, Bi층이 열화를 막아주는 역할을 하기 때문인 것으로 보고되고 있다. 그러므로 SBT는 10<sup>12</sup> cycle 까지 피로를 일으키지 않고 또한 낮은 항전계(coercive field), 낮은 결함 밀도, 낮은 누설전류 및 양호한 retention 특성을 가지고 있어 강유전체 비 휘발성 메모리 소자의 적용에 가장 주목받는 재료가 되었고, 최근 SBT 박막은 몇몇 그룹에 의하여 laser ablation,<sup>11)</sup> sol-gel,<sup>12)</sup> metalorganic decomposition(MOD),<sup>13)</sup> MOCVD<sup>14)</sup> 등의 방법으로 성공적으로 제조되었다. 그러나 아직까지 rf magnetron sputtering 에 의해서 SBT를 제조하여 보고한 연구결과는 없어, 본 연구에서는 증착 기술의 다양한 적용을 위해 rf magnetron sputtering 방법을 사용하여 강유전체 SBT박막을 제조하고 열처리 온도에 따른 박막의 미세구조 및 전기적 특성의 변화를 연구하였다.

## 2. 실험방법

박막 증착용 SBT타겟은 SrCO<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>분말을 사용하여 제작하였다. 상온 증착시 Sr과 Bi의 부족을 보

Table 1. Sputtering Conditions of SBT Film Preparation

Target Material	Sr <sub>1.3</sub> Bi <sub>2.4</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>9</sub>
Substrate	Pt/Ti/SiO <sub>2</sub> /Si
Diameter of targets	5.08 cm
Target-Substrate distance	7 cm
Base pressure of system	1.2×10 <sup>-5</sup> Torr
Sputtering pressure	5 mTorr
r.f. Power	100 W
Sputtering gas (Ar:O <sub>2</sub> )	1:3

상하기 위하여 SrCO<sub>3</sub>는 30%, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 20%를 과잉으로 첨가하여 1000°C에서 하소한 후에 2 inch의 크기로 cold-press하여 사용하였다. 기판은 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si를 사용하였고 초기 진공도는 1.2×10<sup>-5</sup> torr까지 펌핑하였고 증착시 O<sub>2</sub>와 Ar을 유량계(MFC)에 의하여 조절하여 상온에서 증착한 다음 산소 분위기에서 750, 800, 850°C에서 열처리하였다. 상세한 증착조건을 Table 1에 나타내었다.

이와 같이 열처리된 박막을 Cu Kα radiation과 Ni필터를 사용한 XRD(X-ray diffraction)에 의해 SBT 박막의 결정구조를, SEM(scanning electron microscopy)에 의하여 박막의 미세구조 및 두께를 확인하였다. 박막의 조성은 EPMA(electron probe microanalysis)로 분석하였으며 SIMS(secondary ion mass spectroscopy)에 의하여 박막의 depth profile 을 수행하여 성분원소들의 확산 여부를 고찰하였다. 또한 전기적 특성을 확인하기 위하여 Pt를 shadow mask를 사용하여 상온에서 dc sputtering으로 100 μm의 직경과 50 nm의 두께를 가진 상부전극을 증착하였다.

MIM(metal-insulator-metal)구조를 갖는 시편들의 C-F(capacitance-frequency)와 C-V(capacitance-voltage)특성은 HP 4194A impedance gain phase analyzer를 사용하여 측정되었다. P-E(polarization-electric field) 곡선 측정과 fatigue test는 RT 66A로 수행하였으며 이때 pulse period 는 30 μs, pulse width 는 8 μs 로 하였고, 누설전류 특성은 Keithley 617 programmable electrometer 에 의하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 상온 증착후에 열처리 온도에 따른 SBT 박막의 XRD 패턴을 보이고 있다. 피크는 모든 열처리 온도에서 Bi layer구조의 형성<sup>15)</sup>을 나타내는 (115) 피크가 크게 성장하고 있었으며 그 외의 SBT 피크들도 나타남을 알 수 있었다. 특히 열처리 온도가 800°C인 경우 (220) 피크가 크게 성장함을 볼 수 있는데, 이는 다른 열

처리 온도보다 SBT의 화학양론적인 조성에 근접함에 기인된 것으로 판단되며 전기적 특성에도 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이전의 실험결과 700°C이하의 XRD 패턴에서는 많은 2차상들이 포함되어 있었으므로 750°C 이상의 열처리가 적합함을 알 수 있었다.

열처리 온도에 따른 시편들의 표면과 단면 SEM 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 단면 사진을 보면 실온 증착 상태에서는 두께가 280 nm 이고 열처리 온도가 750°C, 800°C, 850°C로 높아질수록 각각 276, 200, 150 nm로 박막의 두께가 점차로 감소하면서 치밀해짐을 알 수 있는데, 이러한 원인은 열처리한 박막들의 조성을

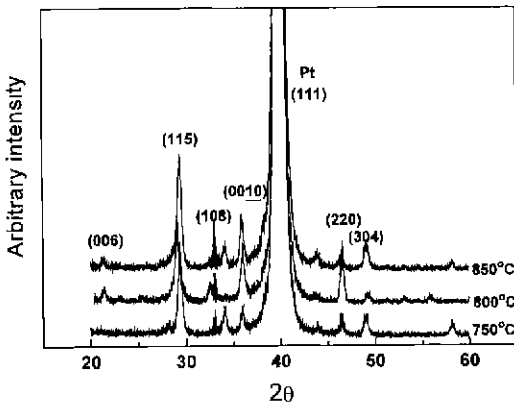


Fig. 1. XRD patterns of SBT films annealed at various temperatures.

EPMA로 분석해 본 결과 800°C에서 열처리한 박막의 조성은 Sr:0.7, Bi:2.0, Ta:2.0으로 화학양론비에 근사하나 750°C와 850°C에서 열처리된 시편의 Bi양은 각각 2.3과 1.3을 보여 고온으로 갈수록 Bi가 많이 휘발되는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 그런데 이들의 미세구조는 열처리 온도 750°C와 800°C까지 미세한 입도를 보이다가 850°C에서 결정립들이 성장함을 알 수 있었다. Fig. 3은 800°C로 열처리한 박막을 SIMS로 박막의 두께에 따른 각 원소의 확산여부를 알기 위하여 depth profile을 나

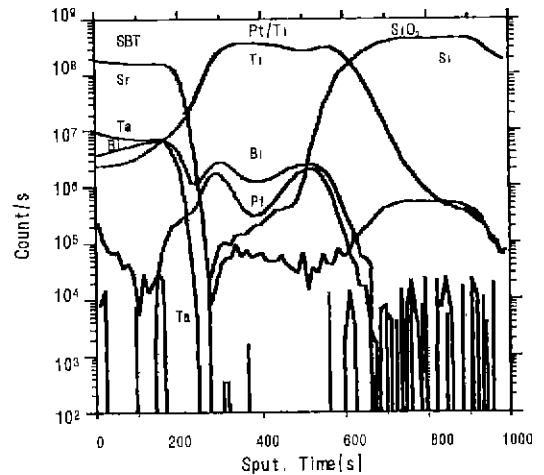


Fig. 3. Secondary ion mass spectroscopy depth profile of  $Sr_{0.7}Bi_{2.0}Ta_{2.0}O_9$  thin film annealed at 800°C.

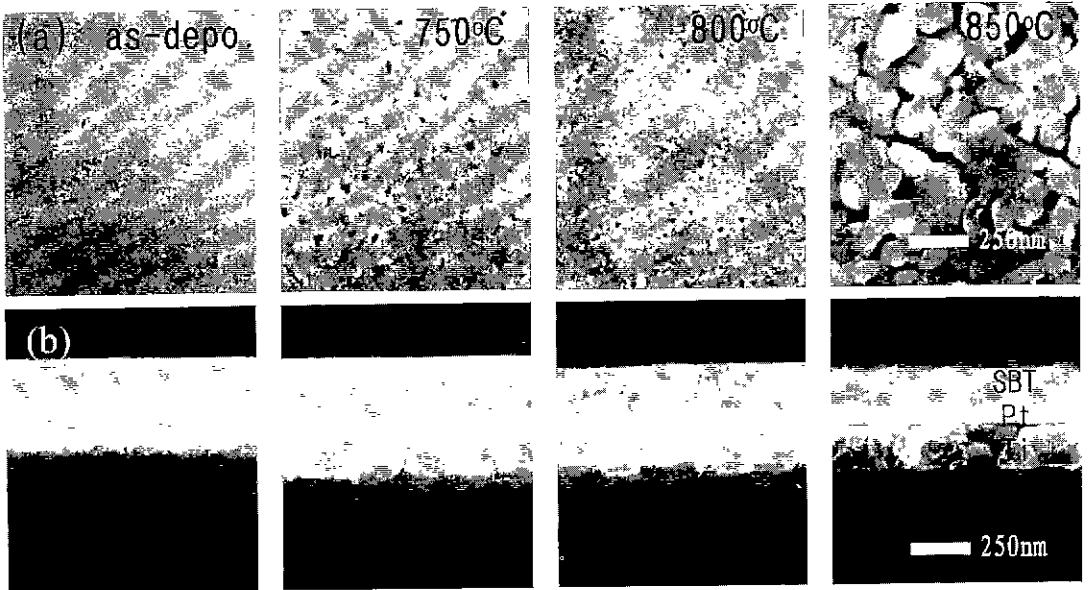


Fig. 2. SEM surface (a) and cross-sectional (b) images of SBT films deposited at room temperature and annealed at various temperatures.

타낸 것이다. 하부전극으로 사용된 Pt와 Ti의 계면으로 Bi의 확산이 확인되었는데, 이러한 확산은 laser ablation<sup>11)</sup> 이나 sol-gel<sup>12)</sup> 의 방법으로 증착된 SBT박막에서도 나타났다. Sr이나 Ta의 하부전극으로의 확산은 관찰되지 않았다. 그러나 하부전극의 buffer층으로 사용된 Ti은 Pt층을 통하여 SBT박막내로 확산됨을 볼 수 있는데, 이는 SBT박막의 전기적 특성에 영향을 미칠 것으로 판단되나 더 많은 연구가 필요하다.

Fig. 4는 다른 열처리 온도를 갖는 SBT 박막의 주파수에 따른 유전상수와 유전손실의 변화를 보여준다. Fig. 4(a)에서처럼 열처리 온도가 증가함에 따라 유전상수가 커짐을 볼 수 있는데, 이는 Bi의 양이 감소함에 따라 유전상수가 커지는 벌크 SBT의 경우처럼 박막의

열처리 온도가 고온으로 갈수록 Bi의 양이 감소하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 비휘발성 메모리에의 가능한 구동 전압을 결정짓는 signal/noise ratio(r)<sup>16)</sup> 를 살펴보면 아래(1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{P_{pi} - P_r}{P_{st} - P_{tt}} \quad (1)$$

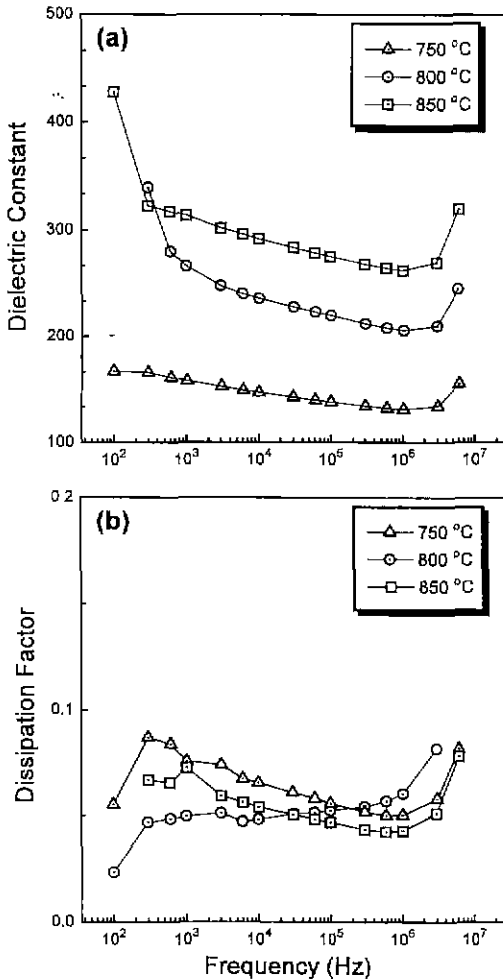


Fig. 4. Dielectric constant and dissipation factor of SBT thin film annealed at various temperatures as a function of frequency

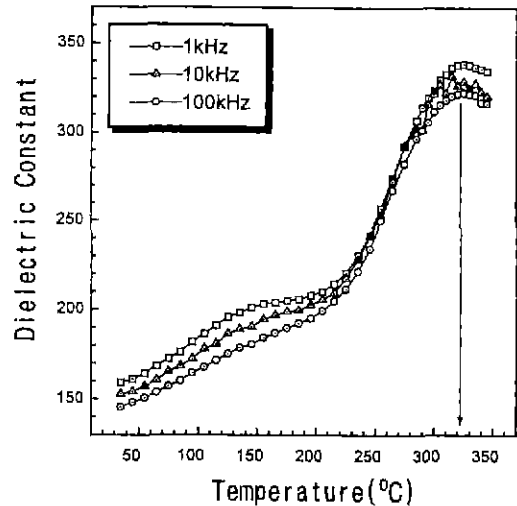


Fig. 5. The variation of dielectric constant of SBT film annealed at 800°C as a function of temperature at the frequencies of 1, 10, and 100 kHz.

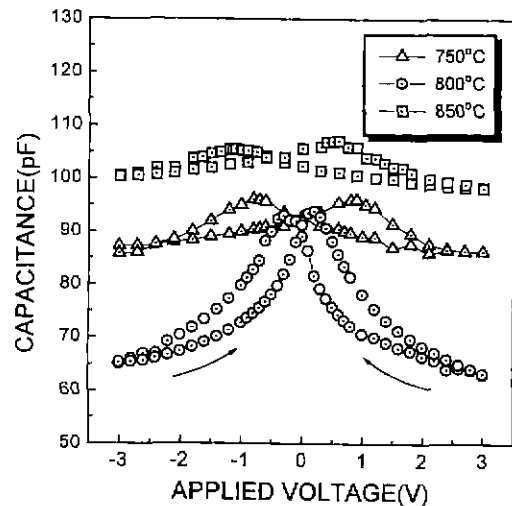


Fig. 6. Capacitance-voltage characteristics of SBT thin films annealed at various temperatures at the frequency of 100 kHz in MIM configurations.

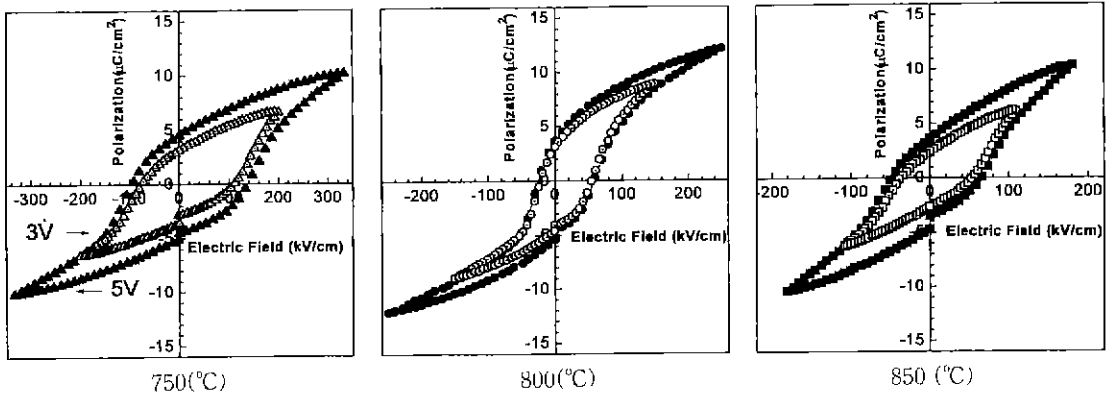


Fig. 7. Hysteresis loops of SBT films annealed at various temperatures in the range of the applied voltage of 3 and 5V.

여기서  $P_{1+}$ 과  $P_{1-}$ 는 양과 음의 잔류분극값,  $P_{s+}$ 는 양의 포화분극값이다.

위 식 으로부터 유전상수의 값이 낮을수록 높은 signal/noise ratio를 나타내는데, 이 값이 클수록 낮은 전압에서 소자를 구동시킬 수 있기 때문에, 각각의 열처리 온도에 따른 박막들의 유전상수는 MOD 방법<sup>13)</sup>으로 제조된 박막보다 낮은 값을 보여 더 유리함을 알 수 있었다. Fig. 4(b)는 열처리 온도에 따른 시편들의 주파수에 따른 유전손실을 보이는데, 모든 열처리 온도에 대해 비슷한 값을 나타내는데 이는 laser ablation<sup>11)</sup> 나 MOD<sup>13)</sup> 으로 제조된 박막과 비슷한 값이다. 800°C에서 열처리된 200 nm 두께의 박막의 유전상수와 유전손실은 각각 1 MHz의 주파수에서 210과 0.05이었다.

상전이 온도인 큐리점(Curie point)을 확인하기 위해 유전상수의 온도의존성을 1 k, 10 k, 100 kHz의 주파수에서 확인한 결과를 Fig. 5에 나타내었는데 온도가 증가할 수록 유전율이 증가하며 약 230°C 부근에서 급격히 상승하여 320°C 에서 다시 감소하였다. 이는 320°C에서 상전이가 일어나는 큐리 온도임을 보여주고 이러한 온도는 G.A. Smolenski<sup>17)</sup>등의 SBT bulk 에 대한 310°C의 결과와 유사하다. 큐리점에서의 유전상수는 bulk의 280보다 큰 314이었다.

Fig. 6는 100 kHz에서 인가전압에 따른 capacitance의 변화를 보인다. 각각의 열처리 온도에서 제조된 박막의 C-V곡선은 모두 강유전체의 특징인 이력특성을 나타내지만 다른 열처리 온도에 비하여 800°C인 경우는 더 낮은 전압 하에서 capacitance가 최대 값에 도달하였다.

열처리 온도에 따른 3, 5V에서의 P-E 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. 각각의 열처리 온도에 대해 모두 3V에서 부터 포화가 시작되고, 강유전체의 특징인 이력곡선을 나타

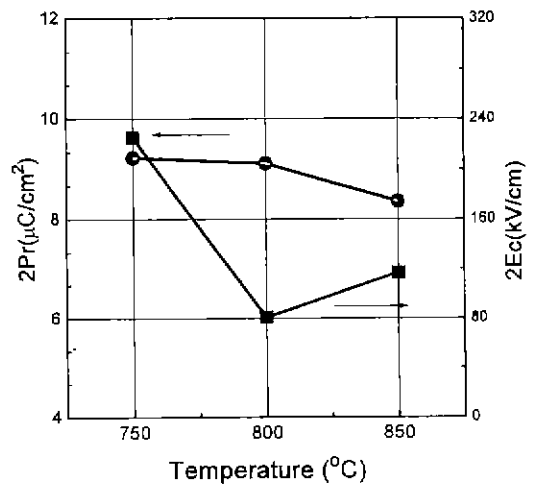


Fig. 8. The remanent polarization(2P<sub>r</sub>) and coercive field(2E<sub>c</sub>) of SBT annealed at various temperatures in the range of the temperatures of 750, 800, and 850°C.

낸다. 모든 열처리 온도에 대해 비슷한 잔류분극(2P<sub>r</sub>)값을 가지고 있지만 800°C로 열처리한 SBT 박막의 경우, 더 낮은 항전계(2E<sub>c</sub>)값을 가지고 있기 때문에 이는 소자 사용시 낮은 구동전압에서도 가능하다는 것을 의미한다. 이러한 사실은 앞에서 논의된 C-V 곡선에서와 동일한 결과를 보이며 800°C에서 열처리한 경우 다른 열처리 온도에 비하여 결정화도가 높고, 박막의 결정립이 미세하며, 화학양론비에 보다 가까운 값을 갖기 때문이라 사료된다. 800°C에서 열처리된 SBT 박막의 잔류분극과 항전계값은 3V 하에서 각각 9.1 μC/cm<sup>2</sup>과 85 kV/cm의 값을 보이며 이 잔류분극값은 MOCVD<sup>14)</sup>에 의한 박막의 경우와 비슷하고 laser ablation<sup>11)</sup>의 경우보다 큰 값이다. Fig. 8은

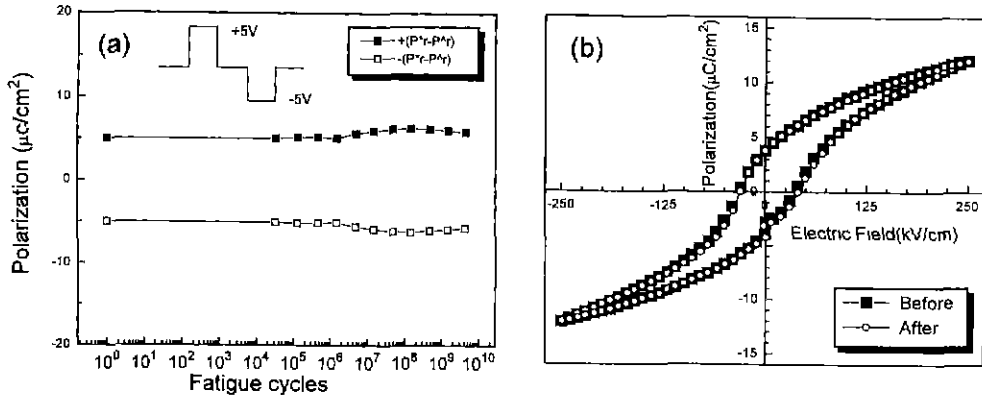


Fig. 9. Fatigue curves(a) and hysteresis loops before and after fatigue test (b) of SBT films annealed at 800°C.

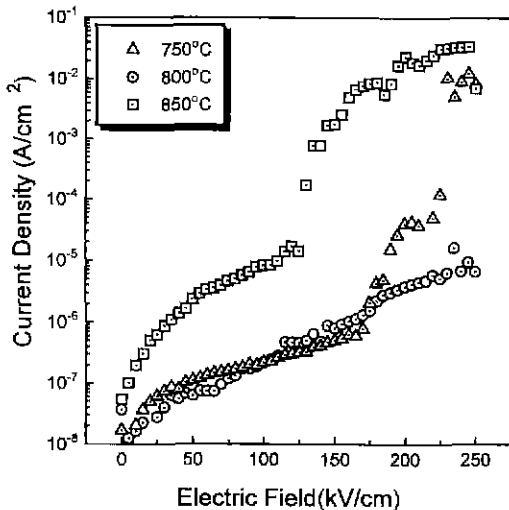


Fig. 10. Leakage current behavior of SBT films annealed at various temperatures.

열처리 온도에 따른 잔류분극과 항전계값을 간략하게 나타낸 그림이다. Fig. 8에서 보여주는 바와 같이 열처리 온도에 따라 잔류분극값은 크게 변화가 없으나 항전계값은 800°C에서 열처리한 SBT박막이 가장 낮은 80 kV/cm을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 9(a)는 800°C에서 열처리한 SBT박막의 +/-5V 반복 스위칭 펄스에 대한 잔류분극값의 변화를 보인 것이다. 비 휘발성 메모리 소자에 실질적으로 이용될 수 있는 분극값인 (P<sup>+</sup>, P<sup>-</sup>)을 10<sup>10</sup> cycle까지 측정하였는데 분극의 피로현상은 나타나지 않았고 10<sup>10</sup>의 스위칭 전후의 이력곡선은 Fig. 9(b)에 나타난 것처럼 거의 변화가 없어 비휘발성 메모리 소자의 적용에 우수한 수명 특성을 보인다.

Fig. 10은 열처리 온도에 따른 박막의 0.1V의 step과 20s의 delay time에서의 인가전압에 따른 누설전류 밀도

를 나타낸다. 750°C와 800°C경우와 달리 850°C에서 열처리한 SBT 박막의 경우 매우 큰 누설전류밀도를 보이고 있는데, 이는 미세구조에서 나타난 것과 같이 고온 열처리로 인한 결정립의 성장, 원소들의 휘발 및 치밀하지 못한 구조에 기인한 것으로 판단된다. 750°C와 800°C로 열처리된 SBT 박막의 I-V 곡선은 180 kV/cm까지 비슷한 경향을 나타내었고 800°C로 열처리된 200 nm 박막의 경우 누설전류밀도의 값은 MOCVD<sup>14)</sup>에서 보다 높은 약 7.0×10<sup>-7</sup>A/cm<sup>2</sup>이었다.

#### 4. 결 론

Sr<sub>1-x</sub>Bi<sub>2x</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>세라믹 타겟을 사용하여 rf magnetron sputtering으로 상온에서 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si기판위에 SBT박막을 증착시켜 750, 800 및 850°C의 온도에서 산소 분위기로 1시간동안 열처리하여 SBT박막의 미세구조와 전기적 특성의 변화가 관찰되었다. SBT박막은 750°C이상의 열처리온도에서 결정화되었고, 800°C에서 열처리한 시편은 SBT bulk와 거의 동일한 큐리온도를 나타내었으며 그때의 유전상수는 bulk의 경우보다 큰 314이었다. 800°C에서 열처리한 SBT박막의 두께는 200 nm이고 잔류분극(2P<sub>r</sub>)과 항전계(2E<sub>c</sub>)값은 3V에서 각각 9.1 μC/cm<sup>2</sup>과 85 kV/cm이었다. 10<sup>10</sup> switching cycle후에도 잔류분극의 손실을 나타내지 않는 안정한 fatigue 특성을 나타내었다. 다소 높은 누설전류 특성은 앞으로 박막의 증착공정을 최적화 하여 향상시켜야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 KOSEF(Korea Science and Engineering Foundation)의 연구비 지원으로 수행되어 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. J. F. Scott and C. A. Araujo, "Ferroelectric Memories," *Science*, **246**, 1400 (1989).
2. T. Sumi, N. Moriwaki, G. Nakane, Y. Judai, Y. Uemoto, Y. Nagano, S. Hayashi, M. Azuma etc "256Kb Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology For 1T/1C Cell With 100ns Read/Write Time at 3V," *Integrated Ferroelectrics*, **6**, 1 (1995).
3. T. Hase, T. Sakuma, Y. Miyasaka, K. Hirata and N. Hosokawa, "Preparation of Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Thin Film by Multi-target sputtering," *Jpn. J. phys.* **32**, 4061 (1993).
4. J. T. Evans and R. Womack, "An Experimental 512-bit Nonvolatile Memory with Ferroelectric Thin Films by Sol-Gel Method," *IEEE J. Solid-state circuits*, **SSC-23**, 1171 (1988).
5. T. Mihara, H. watanabe and C. A. Araujo, "Characteristic Charge Due to Polarization Fatigue of Sol-Gel Ferroelectric Pb(Zr<sub>0.4</sub>Ti<sub>0.6</sub>)O<sub>3</sub> thin film capacitors," *Jpn. J. Appl. phys.* **33**, 5281 (1994).
6. S. B. Desu, D. P. Vijay, "Novel fatigue-free layered structure ferroelectric thin films," *Mater. sci. Engt. B* **32**, 75 (1995).
7. C. A. Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. McMillan, M. C. Scott and J. F. Scott. "Fatigue-free ferroelectric capacitors with Platinum," *Nature*, **373**, 627 (1995).
8. H. N. Al-Shareef, A. I. Kingon, X. Chen and K. R. Bellur, "Contribution of electrodes and microstructures to the electrical properties of Pb(Zr<sub>0.53</sub>Ti<sub>0.47</sub>)O<sub>3</sub> thin film capacitors," *J. Mater. Res* **11**, 2968 (1994).
9. H. N. Al-Shareef, D. Dimos, T. J. Voyle, W. L. Warren and B. A. Tuttle, "Qualitative model for the fatigue-free behavior of SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>7</sub>," *Appl. phys. Lett.* **68**(5), 690 (1996).
10. J. J. Lee, C. L. Thio and S. B. Desu, "Electrode contact on ferroelectric Pb(Zr,Ti<sub>1-x</sub>)O<sub>3</sub> and SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>7</sub> thin film and their influence on fatigue properties," *J. Appl. phys.* **78**(8), 5053 (1995).
11. R. Dat, J. K. Lee, O. Auciello, A. I. Kingon, "Pulsed laser ablation synthesis and characterization of Pt/SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/Pt ferroelectric capacitors with practically no polarization fatigue," *Appl. phys. Lett.* **67**(4), 572 (1995).
12. T. Atsuki, N. Soyama, T. Yonezawa and K. Ogi, "Preparation of Bi-Based Ferroelectric Thin films by Sol-Gel Method," *Jpn. J. Appl. phys.* **34**, 5096 (1995).
13. H. Watanabe, T. Mihara, H. Yoshimori, and C. A. Araujo, "Preparation of Ferroelectric Thin films of Bismuth Layer Structured Compounds," *Jpn. J. Appl. phys.* **34**, 5240 (1995).
14. T. Li, Y. Zhu, S. B. Desu, C-H. Peng, M. Nagata, "Metalorganic chemical vapor deposition of ferroelectric SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>7</sub> thin films," *Appl. phys. Lett.* **68**(5) (1996).
15. M. Klee, U. Mackens, "Sol-Gel and Processing of Layered Perovskite and SrTiO<sub>3</sub> Films," *Microelectronic Engineering*, **29**, 185 (1995)
16. T. Mihara, H. Yoshimori, H. Watanabe and C. A. Araujo, "Characteristics of Bismuth Layered SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Thin-Film Capacitors and Comparison with Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>," *Jpn. J. Appl. phys.* **34**, 5233 (1995).
17. G. A. Smolenskii, Q. A. Isupov and A. I. Agranovskaya, "Ferroelectrics of The Oxygen-Octahedral Type with layered structure," *Soviet phys.-Solid state*, **3**, 895 (1961).