

Modified Rf Magnetron Sputtering에 의해 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 제조된 강유전체 SrBi₂Ta₂O₉ 박막의 미세구조 및 전기적 특성 연구

양철훈 · 윤순길

충남대학교 공과대학 재료공학과
(1997년 12월 22일 접수)

Microstructure and Electric Properties of Ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉ Thin Films Deposited by Modified Rf Magnetron Sputtering Technique

Cheol-Hoon Yang and Soon-Gil Yoon

Dept. of Materials Engineering, Chungnam National University

(Received December 22, 1997)

요 약

강유전체 SrBi₂Ta₂O₉(SBT) 박막을 소결된 SBT와 Bi, Ta 타겟을 사용하는 modified rf magnetron sputtering에 의해 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 500°C에서 증착한 다음 800°C의 산소분위기 하에서 10분 동안 열처리하였다. 박막의 조성은 modified rf magnetron sputtering법에 의해 쉽게 조절할 수 있었다. Sr_{0.8}Bi_{2.9}Ta_{2.0}O₉의 박막은 SBT, Bi, Ta sputtering power를 각각 100, 25, 10 W로 하여 증착후 800°C에서 열처리하여 얻었다. 250 nm의 두께를 갖는 이 SBT 박막은 치밀하고 균일한 미세구조와 5 V의 인가전압에서 14.4 μC/cm²의 잔류분극(P_r)값과 60 kV/cm의 항전계(E_c)값을 나타내었다. 이 박막은 5 V의 bipolar pulse 하에서 10¹⁰ 이상의 switching cycle후에도 실질적으로 fatigue가 나타나지 않았다. 이 박막의 retention 특성은 매우 우수하였으며, 120 kV/cm에서 약 1.23×10⁻⁷ A/cm²의 누설전류밀도를 나타내었다.

ABSTRACT

Ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉(SBT) films were deposited on Pt/Ti/SiO₂/Si substrates at 500°C using a sintered SBT target. Bi and Ta targets by modified rf magnetron sputtering and then were annealed at 800°C for 10 min in oxygen ambient(760 torr). The composition of the SBT films could be easily controlled using the multi-targets. The film composition of Sr_{0.8}Bi_{2.9}Ta_{2.0}O₉ was obtained with SBT sputtering power of 100 W, Bi of 25 W, and Ta of 10 W. A 250 nm thick SBT film exhibited a dense and uniform microstructure, and showed the remanent polarization(P_r) of 14.4 μC/cm² and the coercive field(E_c) of 60 kV/cm at an applied voltage of 5 V. The SBT films show practically no polarization fatigue up to 10¹⁰ cycles under 5 V bipolar pulse. The retention characteristics of the SBT films looked very promising and the leakage current density of the SBT films was about 1.23×10⁻⁷ A/cm² at 120 kV/cm.

Key words : SrBi₂Ta₂O₉(SBT), Modified rf magnetron sputtering, Fatigue

1. 서 론

1921년 Rochelle salt¹⁾에서 강유전성(ferroelectricity)이 처음 발견된 이래 BaTiO₃, SrTiO₃, LiNbO₃, PbTiO₃, Pb(Zr,Ti)O₃(PZT), (Ba,Sr)TiO₃(BST) 등의 많은 강유전체가 발견되었다. 이들 강유전체는 반도체 소자에 응용되어 고집적화, 고속화, 저소비전력화는 물론 비휘발성까지 겸비한 혁신적인 소자의 개발을 가능하게 했다.

최근에는 강유전체를 박막화하여 유전체 및 비휘발성 메모리 소자인 FRAM(ferroelectric random access memory) 소자의 개발에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2,3)} 현재 메모리 소자에 관한 연구는 FRAM에서의 고 집적화와 고신뢰성을 확보하려는 연구가 주된 내용이라고 할 수 있다.

현재 256 kb급을 선보이는 FRAM의 경우, 현재까지도 PZT 등의 lead base 산화물이 주된 연구 재료이며

이들 박막은 높은 Curie 온도와 큰 잔류분극 등의 장점으로 인해 가장 널리 연구되어 왔다.⁴⁵⁾ 그러나 금속전극 위에 형성된 PZT는 고밀도 비휘발성 메모리소자를 실현하는데 있어서 장애요소인 fatigue⁶⁾, retention, imprint, depolarization 등의 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점들은 하부전극으로 RuO₂⁷⁾, YBCO, LSCO, IrO₂⁸⁾ 등의 산화물 전극을 사용하여 이들 문제점의 원인이 되는 결함들을 제거하려는 시도가 진행되어 왔다.

최근에 비휘발성 메모리 소자의 응용으로 기대되는 또 다른 재료로 Bi-layered perovskite 구조를 갖는 강유전체 SrBi₂Ta₂O₉(SBT)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁹⁻¹²⁾

SBT 박막은 약 10¹² cycle까지 fatigue가 발생하지 않고, 낮은 항전계(coercive field), 낮은 누설전류, 양호한 retention 특성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다. 현재 이 재료에 관한 연구는 대부분 sol-gel¹³⁾이나, metalorganic decomposition(MOD)¹⁴⁾, chemical vapor deposition(CVD)¹⁵⁾ 방법이 주를 이루고 있으며 95년에 이르러서야 물리적 방법인 pulsed laser ablation¹⁶⁾과 rf sputtering¹⁷⁾에 의한 방법으로 박막을 연구하기 시작하였다.

그러나 SBT 박막의 잔류분극값은 고밀도 메모리에 사용시 충분하지 못하며, 또한 이러한 문제는 잔류분극값의 온도 의존성을 고려한다면 더욱 심각하다. 일반적으로 SBT 박막의 강유전성은 박막의 조성, 즉 Sr이 부족하고 Bi가 과잉인 조성에서 가장 우수한 전기적 특성을 보이는 것으로 보고되고 있다. 그러나 기존의 rf sputtering 방법은 박막내의 Bi의 양이 증착압력이나 Ar과 O₂의 비율 등에 매우 민감하게 변하므로 원하고자 하는 조성을 갖는 박막을 얻기가 힘들다. 따라서 조성을 쉽게 변화시킬 수 있도록 일반적인 sputtering 방법을 개량하여 사용하였다.

따라서 본 연구는 비휘발성 메모리 소자에의 적용을 위해 modified rf magnetron sputtering을 이용하여 제조된 SBT 박막내의 Bi 양의 조절 용이함을 확인하고, 박막의 전기적 특성을 평가하여 FRAM에의 적용 가능성을 평가하였다.

2. 실험방법

Fig. 1은 실험에서 사용된 modified rf magnetron sputtering system의 개략도이다. 박막 증착용 SBT 세라믹 타겟은 SrCO₃, Bi₂O₃, Ta₂O₅ 분말을 사용하여 제작하였다. 증착시 Sr과 Bi의 부족을 보상하기 위하여 SrCO₃는 20, Bi₂O₃는 20%를 과잉으로 첨가하여 1000°C에서 하소한 후에 2 inch의 크기로 cold-press하여 사용

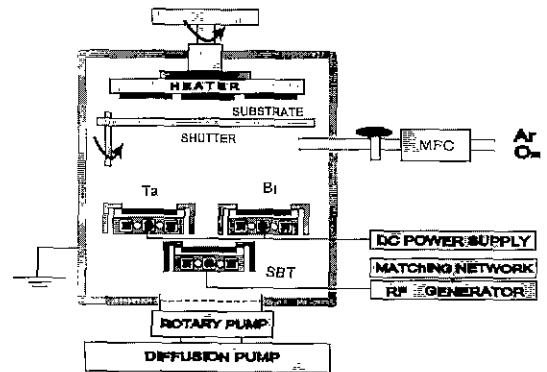


Fig. 1. Schematic diagram of a modified rf magnetron sputtering system.

하였다. 이렇게 Bi를 과잉으로 첨가하였음에도, SBT 박막내의 Bi의 양은 부족함을 확인하였다. 따라서 SBT 박막내의 부족한 Bi의 양을 보상하기 위하여 SBT 세라믹 타겟과 동시에 고순도 Bi(99.99%) 금속 타겟을 사용하였으며, 또한 더 큰 잔류분극값을 얻기위한 Sr의 양이 부족한 SBT 박막을 제조하기 위하여 고순도 Ta(99.99%) 금속 타겟이 사용되었다. SBT 세라믹 타겟은 rf generator를 이용하여 sputtering하였고, Bi와 Ta는 dc power supply를 이용하였다. sputtering시 타겟간의 상호간섭을 줄이기 위하여 타겟들은 각각 기판홀더에 수직하게 하였으며, 상부 히터와 연결된 기판홀더는 sputtering시 회전하도록 하였다. 기판은 Silicon Quest International Incorporated(SQI) Pr(150 nm)/Ti(100 nm)/SiO₂(450 nm)/Si(001)를 사용하였고 초기 진공도는 1.2×10⁻⁵ torr까지 펌핑하였고 증착시 O₂와 Ar을 유량계(MFC)에 의하여 조절하여 500°C에서 강유전특성에 큰 영향을 미치는 Bi의 양을 변화시키기 위하여, Bi의 sputtering power를 20, 25, 30 W로 변화하여 증착한 후, 산소 분위기에서 800°C에서 10분간 열처리하였다. 이 실험의 자세한 증착조건을 Table 1에 나타내었다.

이와 같이 열처리된 박막을 Cu K α radiation과 Ni 필터를 사용한 XRD(X-ray diffraction)에 의해 SBT 박막의 결정구조를, SEM(scanning electron microscopy)에 의하여 박막의 미세구조 및 두께를 확인하였다. 박막의 조성은 Cameca사의 EPMA(electron probe microanalysis)로 분석하였으며 Cameca사의 IMS-4f model을 SIMS(secondary ion mass spectroscopy)에 의하여 박막의 depth profile을 수행하여 성분원소들의 확산 여부를 고찰하였다. 또한 전기적 특성을 확인하기 위하여 상부전극 Pt를 shadow mask를 사용하여 상온에서 dc sputtering으로 100 μ m의 직경과 50 nm의 두께를 가지도록 증착하였다.

Table 1. Sputtering Conditions of SBT Film Preparation

Target Material	Sintered $\text{Sr}_{1.2}\text{Bi}_{2.4}\text{Ta}_2\text{O}_9$, Bi and Ta
Substrate	Pt/Ti/SiO ₂ /Si
Diameter of targets	5.08 cm
Target-Substrate distance	7 cm
Base pressure of system	1.2×10^{-5} Torr
Sputtering pressure	10 mTorr
RF sputtering Power	100 W
Bi sputtering Power	20, 25, 30 W
Ta sputtering Power	10 W
Sputtering gas (Ar : O ₂)	1 : 1
Deposition time	1.5 h
Substrate temperature	500°C
Annealing temperatures	800°C for 10 min in O ₂ ambient

MIM(metal-insulator-metal) 구조를 갖는 시편들의 C-V(capacitance-voltage) 특성은 HP 4194A impedance gain phase analyzer를 사용하여 측정되었다. P-E(polarization-electric field) 곡선 측정과 fatigue, retention test는 Radiant사의 RT 66A ferroelectric tester로 수행하였으며 이때 pulse period는 30 μs , pulse width는 8 μs 로 하였고, 누설전류 특성은 HP 4145B semiconductor parameter analyzer에 의하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 800°C에서 열처리한 SBT 박막의 Bi sputtering power에 따른 XRD 패턴을 보이고 있다. 피크는 모든 열처리 온도에서 Bi layer 구조의 형성¹⁵⁾을 나타내는 SBT 주피크인 (115)와 (200) 피크가 나타나며 그 외의 SBT 피크들도 나타남을 알 수 있었다. 그러나 Bi sputtering power가 증가할수록, 즉 SBT 박막내에 Bi

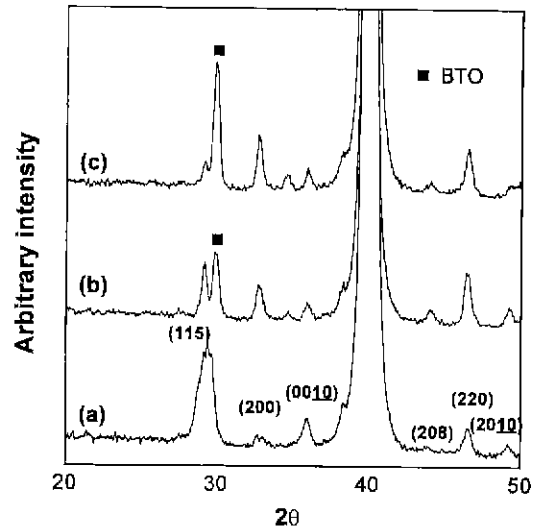


Fig. 2. XRD patterns of the SBT films deposited on Pt/Ti/SiO₂/Si with bismuth sputtering powers of (a) 20, (b) 25 and (c) 30 W.

의 양이 증가할수록 (115) 피크는 감소하며, $2\theta=30^\circ$ 에서 나타나는 BTO($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 또는 $\text{Bi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$) 피크는 점점 성장함을 볼 수 있는데, 이는 Bi의 양이 증가할수록 BTO 상(phase)의 형성이 용이하다는 것을 나타내는 것이다. 이러한 BTO 상은 Pt/SiO₂/Si 기판을 동일한 조건으로 하여 실험하였을 때는 나타나지 않는 상으로, buffer 층으로 사용된 Ti이 Pt 층에 증착된 SBT 박막으로 확산하여 SBT 박막내의 Bi와 열처리시 반응하여 형성된 것이다.¹⁸⁾ 이러한 양상은 뒤에 언급될 depth profile에서도 확인할 수 있다.

Bi sputtering power에 따른 시편들의 표면 SEM 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 이들의 미세구조는 Bi sputtering power가 증가할수록 결정립의 크기가 증가함을 볼 수 있는데 이는 Bi sputtering power가 증가할수록 SBT 박막내의 Bi 양이 증가하여, 열처리 과정에서 Bi가

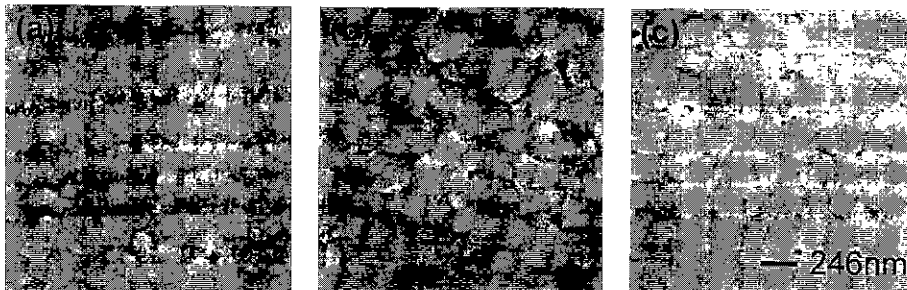


Fig. 3. SEM surface images of SBT thin films deposited with bismuth sputtering powers of (a) 20, (b) 25 and (c) 30 W.

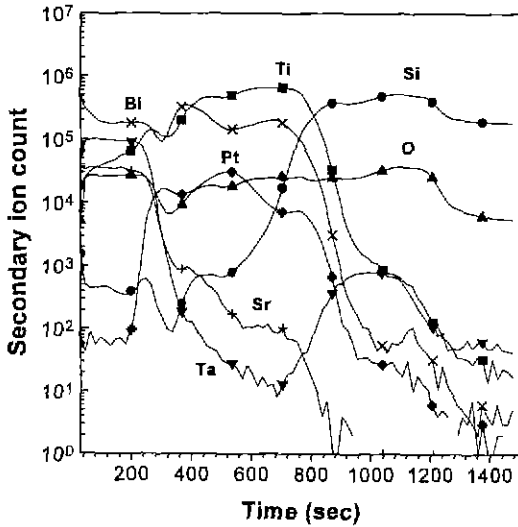


Fig. 4. Secondary ion mass spectroscopy depth profile of the SBT thin film prepared with the bismuth sputtering power of 25 W.

휘발되면서 원자들의 이동할 자리가 많기 때문에 사료되나 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 결정립 크기는 20, 25, 30 W에서 87.9, 102.5, 123.0 nm이었으며, 박막의 두께는 약 235, 250, 260 nm이었다.

Fig. 4는 Bi sputtering power를 25 W로 증착하여 800°C에서 열처리한 박막을 SIMS로 박막의 두께에 따른 각 원소의 확산여부를 알기 위하여 depth profile을 나타낸 것이다. 하부전극으로 사용된 Pt와 Ti의 계면으로 Bi의 확산이 확인되었는데, 이러한 확산은 laser ablation¹¹⁾이나 sol-gel¹²⁾의 방법으로 증착된 SBT 박막에서도 나타났다. SBT 박막의 Sr이나 Ta은 하부전극으로의 확산이 관찰되지 않았다. 그러나 하부전극의 buffer 층으로 사용된 Ti은 Pt 층을 통하여 SBT 박막내로 확산됨을 볼 수 있는데, 이것은 Pt와 SBT 박막의 계면에서 BTO 상의 형성을 가능하게 한다.

Bi sputtering power에 따른 SBT 박막의 조성을 확인하기 위하여 Bi sputtering power의 함수로 Ta 양을 기준으로 하여 Sr과 Bi 양을 Fig. 5에 나타내었다. Bi sputtering power가 증가할수록 Ta의 양을 2.0으로 하였을때, SBT 박막내의 Sr의 양은 거의 변화가 없는 약 0.8의 값을 보였다. 그러나 Bi의 양은 Bi sputtering power 따라 크게 변화함을 알 수 있다. 25 W의 Bi sputtering power에서 Sr의 양은 0.8, Bi의 양은 2.9의 값을 나타내었다. 이러한 결과는 modified rf magnetron sputtering 방법은 일반적인 rf magnetron sputtering 방법으로는 어려운 SBT 박막의 조성을 쉽게 조절할 수 있다는 것을 나타내는 것이다.

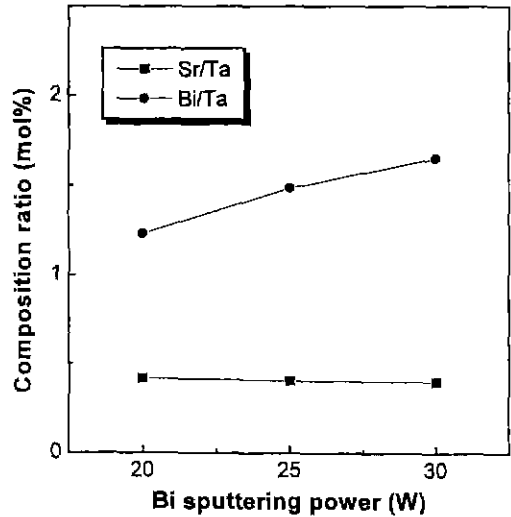


Fig. 5. The composition of SBT films as a function of bismuth sputtering powers.

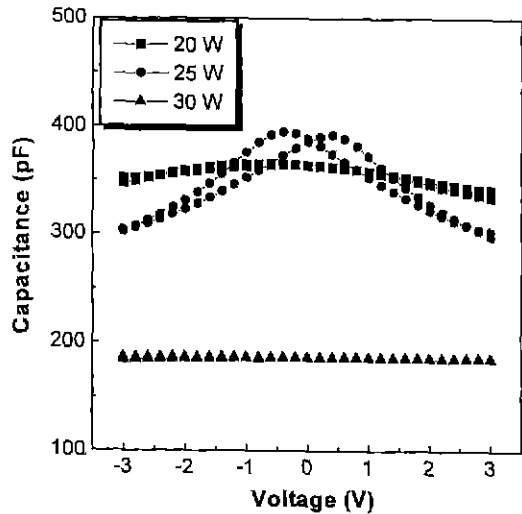


Fig. 6. Capacitance-Voltage characteristics of SBT films prepared with the various bismuth sputtering powers at the frequency of 100 kHz in MIM structure.

Fig. 6은 Bi sputtering power에 따른 박막의 100 kHz에서 인가전압에 따른 capacitance의 변화를 보인다. 20과 30 W의 Bi sputtering power로 증착되어, 열처리된 박막의 C-V 곡선은 모두 강유전체의 특징인 이력특성을 나타내지 않았지만 25 W에서 제조된 박막은 이력특성을 나타내었다. 이것으로 보아 Bi의 양이 강유전체의 성질에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 7에 나타낸 3~6 V에서의 P-E 곡선에서도 같은 경향을 나타내었다. Bi sputtering

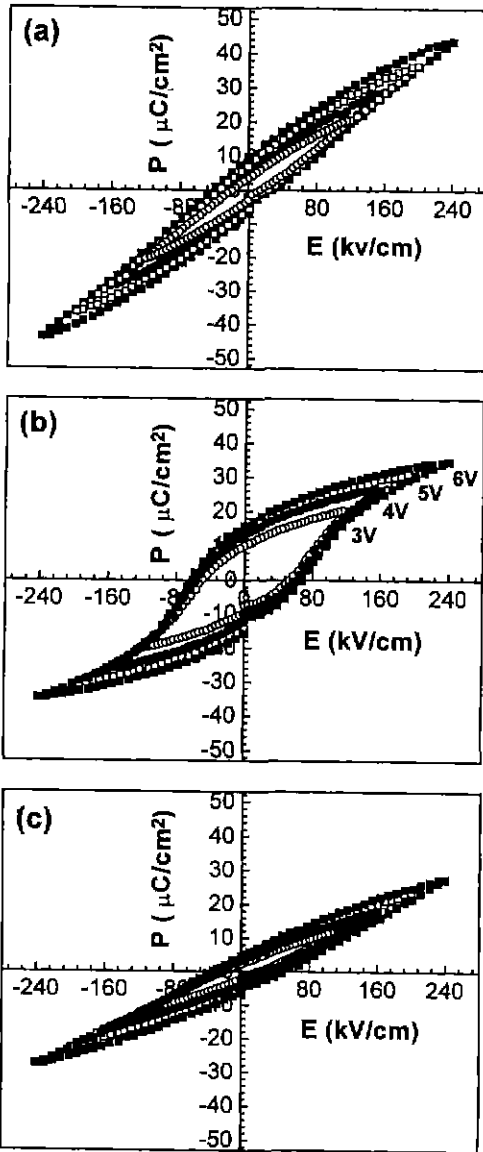


Fig. 7. Hysteresis loops of SBT films deposited with the various bismuth powers of (a) 20, (b) 25 and (c) 30 W.

power가 20과 30 W일 경우, 이력곡선은 포화되지 않고 작은 잔류분극값을 보였다. 그러나 25 W의 Bi sputtering power에서 제조된 SBT 박막은 3 V에서부터 포화가 시작되고, 강유전체의 특징인 이력곡선을 나타내며 SBT 박막의 잔류분극(P_r)과 항전계(E_c)값은 5 V 하에서 각각 $14.4 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 과 $60 \text{ kV}/\text{cm}$ 의 값을 보이며, 이 잔류분극값은 MOCVD¹⁴⁾와 laser ablation¹¹⁾에 의한 박막의 경우보다 큰 값으로 고밀도 메모리 소자의 응용 가

요업학회지

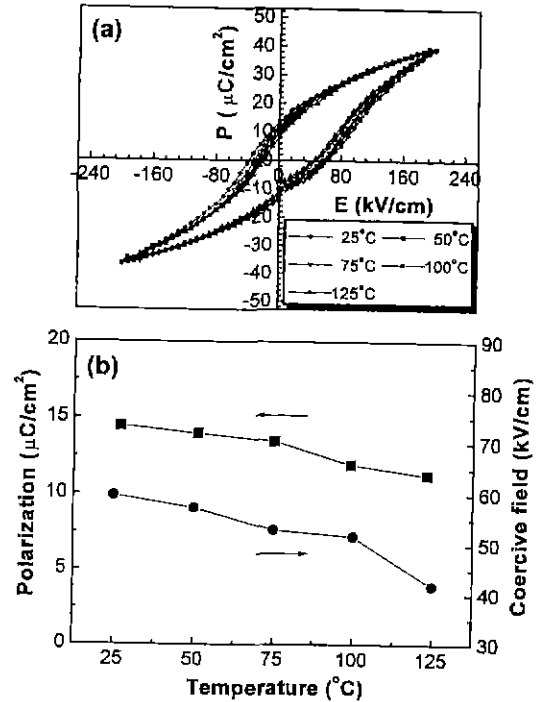


Fig. 8. Temperature dependency for hysteresis loops of SBT films prepared with the bismuth power of 25 W.

능성이 더욱 기대된다.

강유전체 캐패시터는 넓은 온도 범위(-40~125°C)에서 전기적 특성을 만족시키는 것이 요구된다. 그러므로 이러한 온도 범위에서의 특성 변화를 확인하는 것이 중요하다 하겠다. Fig. 8은 25 W의 Bi sputtering power로 제조된 박막의 25~125°C의 온도 범위에서 잔류분극과 항전계값의 변화를 나타낸 결과이다. 온도가 올라감에 따라 잔류분극값이 상당히 작아지는 PZT와는 달리 잔류분극값은 온도에 따라 큰 변화를 보이지 않고, 고온으로 갈수록 항전계가 점차 감소하고 있다. 이것은 고온에서는 더 낮은 전압에서도 동작이 가능함을 의미한다. 이러한 결과는 발표된 결과¹⁰⁾와 잘 일치한다.

Fig. 9는 PZT에서 가장 문제시되고 있는 fatigue 특성을 확인하기 위하여 25 W의 sputtering power로 제조되어 800°C에서 열처리한 SBT 박막의 +/-5 V 반복 스위칭 펄스에 대한 잔류분극값의 변화를 보인 것이다. 비휘발성 메모리 소자에 실질적으로 이용될 수 있는 분극 값인 ($P^*_+ - P^*_-$)을 4×10^{10} cycle까지 측정하였는데 분극의 피로현상은 나타나지 않았다.

25 W의 Bi sputtering power에서 제조된 SBT 박막의 retention 특성을 Fig. 10에 나타내었다. retention

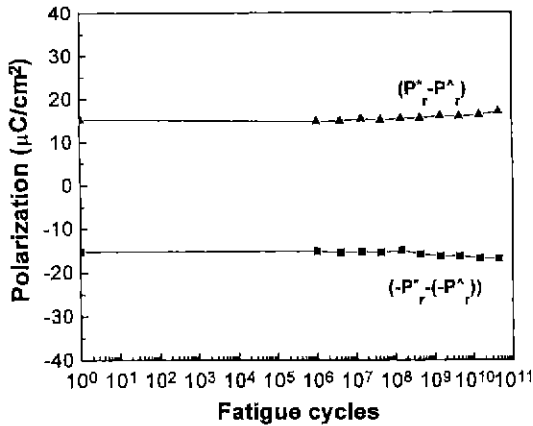


Fig. 9. Fatigue characteristics of the SBT films prepared with bismuth sputtering power of 25 W.

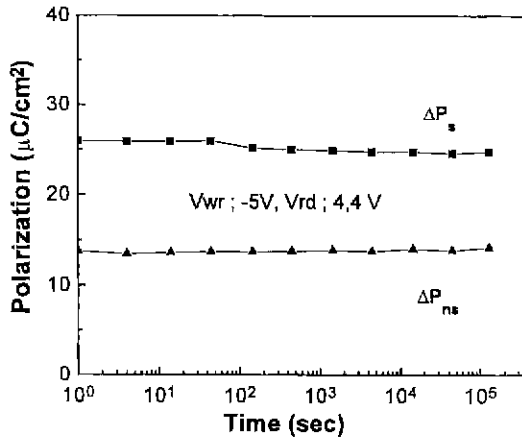


Fig. 10. Retention characteristics of the SBT films deposited with bismuth sputtering power of 25 W.

측정은 상온에서 시간의 함수로 -5 V의 쓰기전압 (write voltage)과 4, 4 V의 읽기전압(read voltage)을 사용하여 행하였다. 3×10^5 s 이상까지 분극값(ΔP s; switching polarization, ΔP_{ns} ; non-switching polarization)의 손실은 매우 적었다. 이러한 결과로 10년, 3.2×10^8 초 동안의 SBT 박막의 수명이 예측하면, 분극량 감소는 초기값의 7.3%만의 감소가 예상되어 비휘발성 메모리 소자에 적용시 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 11은 25 W의 Bi sputtering power에서 제조된 박막의 positive와 negative bias시의 인가전압에 따른 누설전류 밀도를 나타내었다. 800°C로 열처리된 250 nm 박막의 경우 누설전류밀도의 값은 positive bias시 120 kV/cm에서 일반적인 rf magnetron sputtering¹⁷⁾으로 제조한 박막보다 작은 약 1.23×10^{-7} A/cm²이었다.

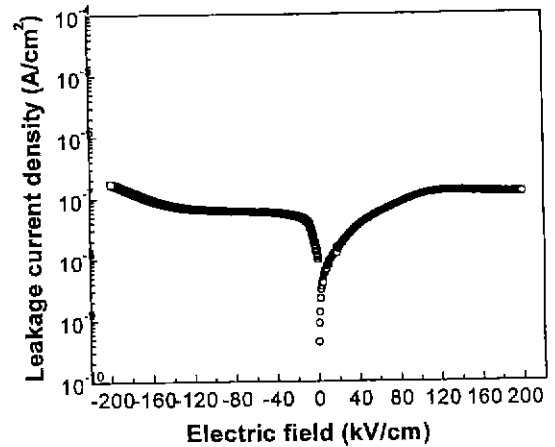


Fig. 11. The leakage current behavior of the SBT films prepared with the bismuth power of 25 W.

4. 결 론

Modified rf magnetron sputtering 방법에 의해서 SBT 박막의 조성은 쉽게 조절되었다. 25 W의 Bi sputtering power에서 얻어진 250 nm의 Sr_{0.8}Bi_{2.9}Ta_{2.0}O₆ 박막은 치밀하고 균일한 미세구조와 5 V의 인가전압에서 14.4 μC/cm²의 잔류분극값과 60 kV/cm의 항전계값을 나타내었다. 그러한 박막은 4×10^{10} switching cycle 후에도 잔류분극의 손실을 나타내지 않는 우수한 fatigue 특성을 나타내었으며, 10⁵ s 이상에서도 분극값의 감소가 매우 적었으며, 10년후에 초기값의 약 7.3%만의 감소가 예상되는 우수한 retention 특성을 보였다. 또한 120 kV/cm에서 약 1.23×10^{-7} A/cm²의 누설전류밀도를 나타내었다. 이러한 결과로 부터 modified rf magnetron sputtering 방법으로 제조된 SBT 박막은 비휘발성 메모리 소자로서의 응용가능성을 기대할 수 있다.

REFERENCES

1. M.E. Lines and A.M. Glass, "Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials," Clarendon Press, Oxford (1979).
2. J.F. Scott and C.A. Araujo, "Ferroelectric Memories," *Science*, **246**, 1400 (1989)
3. T. Sumi, N. Moriwaki, G. Nakane, Y. Judai, Y. Uemoto, Y. Nagano, S. Hayashi and M. Azuma etc. "256 Kb Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology For 1 T/1 C Cell With 100 ns Read/Write Time at 3 V," *Integrated Ferroelectrics*, **6**, 1 (1995).
4. T. Hase, T. Sakuma, Y. Miyasaka, K. Hirata and N. Hosokawa. "Preparation of Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Film by

- Multi-target Sputtering," *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 4061 (1993).
5. 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).
 6. T. Mihara, H. watanabe and C.A. Araujo, "Characteristic Charge Due to Polarization Fatigue of Sol-Gel Ferroelectric $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6})\text{O}_3$ thin film Capacitors," *Jpn. J. Appl. Phys.* **33**, 5281 (1994).
 7. L.A. Bursill, I.M. Reaney, D.P. Vijay and S.B. Desu, "Comparison of Lead Zirconate Titanate thin Films on Ruthenium Oxide and Platinum Electrodes," *J. Appl. Phys.* **75**, 1521 (1994).
 8. T. Nakamura, Y. Nakao, A. Kamisawa and H Takasu, "Electrical Properties of $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Thin Film Capacitors on Pt and Ir Electrodes," *Jan. J. Appl. Phys.* **34**, 5184 (1995).
 9. S.B. Desu and D.P. Vijay, "Novel Fatigue-free Layered Structure Ferroelectric thin Films," *Mater. Sci. Engi.* **B32**, 75 (1995).
 10. 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).
 11. H.N. Al-Shareef, D. Dimos, T.J. Voyle, W.L. Warren and B.A. Tuttle, "Qualitative Model for the Fatigue-free Behavior of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$," *Appl. Phys. Lett.*, **68**, 690 (1996).
 12. J.J. Lee, C.L. Thio and S.B. Desu, "Electrode Contact on Ferroelectric $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ and $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin Film and Their Influence on Fatigue Properties," *J. Appl. Phys.* **78**, 5053 (1995).
 13. 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).
 14. 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).
 15. T. Li, Y. Zhu, S.B. Desu, C-H. Peng and M. Nagata, "Metalorganic Chemical Vapor Deposition of Ferroelectric $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **68**, 616 (1996).
 16. R. Dat, J.K. Lee, O. Auciello and A.I. Kingon, "Pulsed Laser Ablation Synthesis and Characterization of $\text{Pt}/\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9/\text{Pt}$ Ferroelectric Capacitors with Practically no Polarization Fatigue," *Appl. Phys. Lett.* **67**, 572 (1995).
 17. S.S. Park, C.H. Yang and S.G. Yoon, "Characterization of Ferroelectric $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films Deposited by a Radio Frequency Magnetron Sputtering Technique," *J. Electrochem. Soc.* **144**, 2855 (1997).
 18. N.J. Seong, C.H. Yang, W.C. Shin and S.G. Yoon, "Effect of Second Phase on the Electrical Properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films Deposited at 550°C by Plasma-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition," *Appl. Phys. Lett.*, **72**, (1998).
 19. C.H. Yang and S.G. Yoon, "Electrical Properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films Deposited by rf Magnetron Sputtering," *Integrated Ferroelectrics*, **18**, 377 (1997).