

論文98-35D-3-5

비휘발성 메모리용 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 강유전체 박막의 제조 및 특성연구(Preparation and Characterization of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Ferroelectric Thin Films for Nonvolatile Memory)

張 鎬 廷 *, 徐 光 鐘 *, 張 志 根 *

(Ho-Jung Chang, Kwang-Jong Suh, and Gee-Keun Chang)

요 약

두 종류의 하부기판구조($\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 와 $\text{RuO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$) 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방식에 의한 증착과 후속 열처리를 통해 비휘발성 메모리용 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT) 박막을 형성하였다. 하부 전극종류(Pt 및 RuO_2) 및 열처리 온도를 주요 변수로하여 이들 공정변수가 제작된 SBT 박막의 결정학적 및 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 증착된 박막은 전극종류에 관계없이 전형적인 Bi 층상 페로브스카이트 결정구조를 나타내었으며 as-deposited 박막을 650°C 에서 30 초간 RTA 급속 열처리 함으로써 결정성이 개선됨을 알 수 있었다. 650°C 에서 열처리된 SBT 박막의 잔류분극($2\text{Pr}=\text{Pr}^+-\text{Pr}^-$)은 $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 기판구조에서 약 $11 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 값을 그리고 $\text{RuO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 기판의 경우 약 $3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 값을 각각 나타내었다. 동일 시료에 대한 3 V 인가전압에서의 누설전류는 Pt 및 RuO_2 하부전극의 경우 각각 $0.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 및 $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 정도로 비교적 낮은 누설전류 특성을 나타내었다. 피로특성을 측정한 결과 RuO_2 전극시료의 경우 10^{11} 분극스위칭 cycle에서 잔류분극율의 변화가 없어 양호한 피로특성을 나타내었다. 그러나 $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 기판구조에서 증착된 SBT 박막시료의 경우 잔류분극율의 증가가 확인되었다. 이는 분극스위칭 반복에 따른 누설전류의 증가에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

Abstract

$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT) ferroelectric thin films for nonvolatile memory were prepared on $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ and $\text{RuO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ substrates by RF magnetron sputtering. The dependences of crystalline and electrical properties on the lower electrode types (Pt and RuO_2) and the annealing temperatures were investigated. SBT films regardless of their electrode types showed typical Bi layered perovskite crystal structures. The crystalline quality of as-deposited SBT films was improved by the rapid thermal annealing at 650°C for 30 sec. The remanent polarization of 2Pr (Pr^+-Pr^-) of the annealed SBT films deposited on $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ and $\text{RuO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ substrates were about $11 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ and $3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, respectively. The leakage currents at 3 V bias voltage were about $0.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for SBT/ $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ and about $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for SBT/ $\text{RuO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ sample. SBT films annealed at 650°C showed no degradation in Pr values after 10^{11} polarization switching cycles, indicating good fatigue properties. In addition, for SBT samples deposited on $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$, Pr values increased to more than that of initial state, suggesting the increment of leakage current caused by repeated polarization switching.

I. 서 론

* 正會員, 檀國大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Dankook University)

接受日字:1997年10月24日, 수정완료일:1998年1月17日

지금까지 강유전체를 이용한 비휘발성 메모리의 실용화를 위해 박막형성법의 개선, 박막재료 및 구조에 대한 연구가 국내외에서 진행중에 있다. 강유전체 박

막형성은 주로 RF 마그네트론 스퍼터링^[1], Sol-Gel^[2], MOD (metallo-organic decomposition)^[3], Laser-ablation법^[4] 등에 의해 이루어지고 있다. 박막재료의 경우 지금까지 Pb(Zr,Ti)O₃(PZT) 박막에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으나,^[5-6] PZT의 경우 Pb 성분의 휘발에 의한 핀홀(pin hole) 등 결정결함과 공간전하의 형성 등으로 인한 피로특성의 저하로 인하여 비휘발성 메모리에의 응용에 커다란 장애요인이 되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 최근에 IrO₂ 등 새로운 산화물 전극층의 도입^[7] 과 Pb 성분이 포함되지 않는 SrBi₂Ta₂O₉(SBT), SrBi₂Nb₂O₉(SBN)과 같은 새로운 강유전체 물질^[8]에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 그러나 박막형성시 여러 공정변수들이 전기적, 결정학적 특성에 미치는 영향에 대해 아직까지 체계적인 연구가 미흡한 상태이다. 특히 급속열처리(RTA)에 의한 SBT 강유전체 박막의 결정화와 특성연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 in-situ 스퍼터링 증착과 가능한 낮은 온도에서 급속 열처리방식에 의해 우수한 특성의 SBT 박막의 형성공정을 확립하고 동시에 공정조건(전극종류 : Pt, RuO₂, 및 후속 열처리 온도)이 SBT박막의 결정성 및 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 실험방법

비저항이 1~10 Ω-cm인 (100) n-type Si 웨이퍼를 H₂SO₄ : H₂O₂ = 4 : 1의 용액으로 cleaning 한 후 H₂O : HF = 10 : 1의 용액에 dip etching 하여 Si 기판을 준비하였다. 상부 금속전극과의 상호반응을 억제하기 위해서 Ti 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Ar 분위기에서 250 Å의 두께로 증착하였다. Pt 박막의 결정특성이 SBT 박막의 결정배향성에 영향을 미칠수 있으므로 Pt 박막의 결정성을 개선하기 위해 450 °C의 온도에서 10분간 진공챔버내에서 열처리를 실시하였다. RuO₂/SiO₂/Si 기판의 제작은 SiO₂/Si을 형성한 후 Ar+O₂ 혼합가스를 사용하여 400 °C의 온도에서 약 1,500 Å의 두께로 스퍼터링 방법에 의해 RuO₂ 전극을 증착하였다.

SBT 박막의 형성은 SrBi_{2.6}Ta₂O₉ 조성을 갖는 분말성형 타겟을 사용하여 RF 마그네트론 스퍼터링 방법에 의해 기판온도 약 550 °C, Ar+O₂ 혼합가스 분

위에서 약 5,000 Å 두께로 증착하였다. 표 1은 중간층인 Ti 및 하부전극층인 Pt, RuO₂ 그리고 SBT 박막의 증착조건을 각각 나타내었다. In-situ 증착된 SBT 박막의 결정화를 위해서 600 °C 및 650 °C의 온도에서 30 초간 산소분위기(압력 : 10⁻¹ torr)에서 급속 열처리(rapid thermal annealing, RTA)를 실시하였다. 열처리가 끝난 박막시편은 전기적 특성을 측정하기 위해 진공증착 장치에서 약 0.2 mm의 직경을 갖는 Al 상부전극을 증착하여 커패시터를 제작하였다. 제작된 SBT 박막의 결정특성을 알아보기 위해서 X선 회절분석을 실시하였다. SBT 박막의 깊이에 따른 성분원소분포를 조사하기 위해 AES(Auger Electron Spectroscopy) 분석을 실시하였으며, SEM(Scanning Electron Microscopy)에 의한 박막표면 및 단면형상을 관찰하였다. 누설전류값은 semiconductor parameter analyzer(HP 4145B)를 사용하여 전류-전압 특성을 측정하였고, impedance analyzer(HP 4280/4192A)에 의해 상온에서 주파수에 따른 비유전상수(ε_r)를 측정하였다. P-E 이력곡선 및 피로특성은 Sawyer-Tower 회로를 구성하여 ±5 V의 bipolar 펄스를 인가하여 각각 조사하였다.

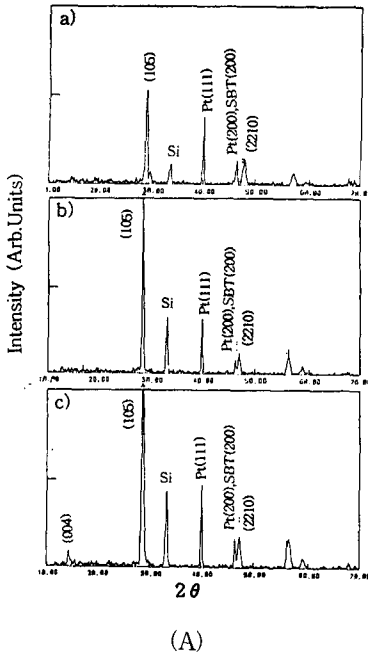
표 1. Ti, Pt, RuO₂ 및 SBT의 증착조건
Table 1. Sputtering conditions of Ti, Pt, RuO₂ and SBT thin films.

Sputtered Films	Ti	Pt	RuO ₂	SBT
Film Thickness(Å)	250	2500	1500	5000
RF Power(W/cm ²)	5.1	4.4	1.0	2.6
Sputtering Gas	Ar		Ar+O ₂ (Ar : O ₂ = 9 : 1)	
Pressure (Torr)	2×10 ⁻²		1×10 ⁻²	
Substrate Temp.	room		400 °C	550 °C

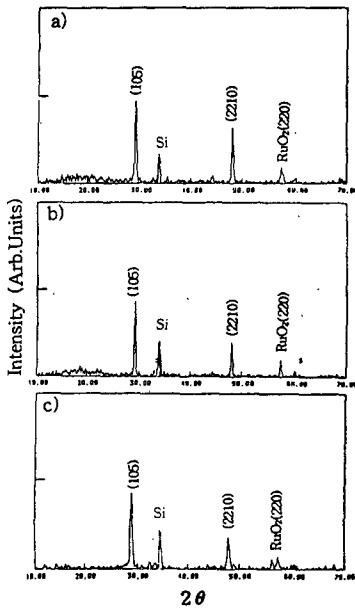
III. 결과 및 고찰

그림 1은 2종류의 기판구조인 Pt/Ti/SiO₂/Si와 RuO₂/SiO₂/Si 위에 증착된 as-deposited 박막과 600 °C와 650 °C에서 후속 열처리된 SBT박막의 XRD 분석 결과이다. 전극종류에 관계없이 SBT 박막시료는 전형적인 Bi 층상 perovskite 구조를 나타내었다. Pt/Ti/SiO₂/Si 기판구조위에 증착된 SBT 박막의 경우 후속 열처리온도가 650 °C로 증가함에 따라 피크강도가 크게 증가하였으며, (105) 회절패턴의 FWHM full width at half maximum값이 0.81°에서 0.6

6° 로 감소하여 결정성이 개선됨을 알 수 있었다.



(A)



(B)

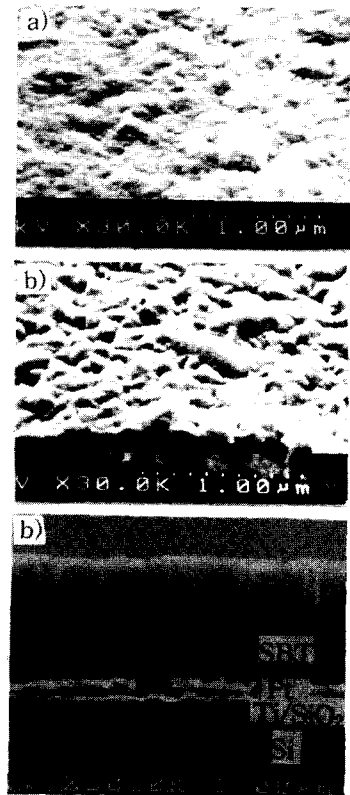
그림 1. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 및 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판 구조위에 증착된 a) as-deposited 및 b) 600 °C와 c) 650 °C에서 후속 열처리한 SBT 박막의 XRD 분석

Fig. 1. XRD patterns of SBT films a) as-deposited and annealed at b) 600 °C, and c) 650 °C on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates.

RuO₂/SiO₂/Si 기판구조의 경우에는 후속 열처리온도에 관계없이 전체적으로 유사한 강도의 회절패턴을 나타내었다.

그림 2는 Pt/Ti/SiO₂/Si와 RuO₂/SiO₂/Si의 기판구조 위에 증착된 as-deposited SBT 박막과 650°C의 온도에서 후속열처리한 시편의 SEM 표면 및 단면사진을 보여주고 있다. SEM 분석결과 전극종류에 관계없이 as-deposited 박막시료는 비교적 매끈한 표면형상을 나타내었으나, 650 °C에서 후속 열처리를 실시함으로써 표면형상이 다소 거칠어지는 경향을 보여주었다. 특히 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 열처리된 SBT 박막시료의 경우 표면이 약 0.1 μm 크기의 결정립으로 구성되어 있으며, RuO₂/SiO₂/Si 기판위에 형성된 박막시료에 비해 더 큰 결정립을 나타내고 있다. 650 °C에서 열처리된 SBT 박막시료에 대한 SEM 단면형상을 관찰한 결과 SBT 박막과 전극과의 상호반응층이 없는 비교적 양호한 계면형상을 나타내었다. SBT 박막 두께는 약 5,000 Å임을 확인할 수 있었다.

제작된 SBT 박막의 깊이에 따른 성분분포를 알아보기 위해 AES 분석을 실시하였다.



(A)

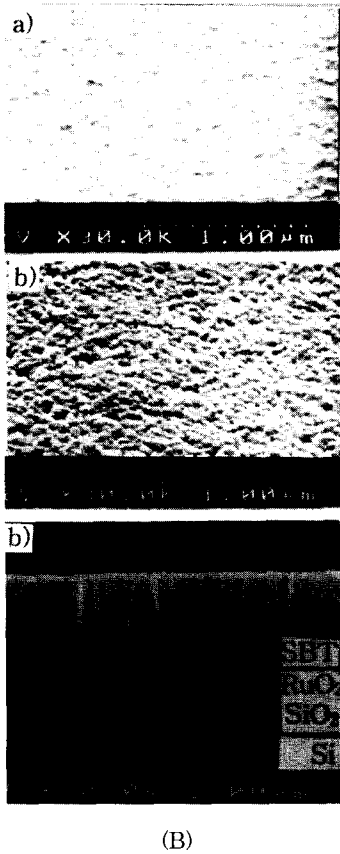


그림 2. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 및 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판 구조위에 증착된 SBT 박막의 SEM 표면 및 단면사진 : a) as-deposited 및 b) 650 °C에서 열처리한 SBT 박막시료

Fig. 2. Surficial and sectional SEM micrographs of SBT films a) as-deposited and b) annealed SBT films at 650°C on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates.

그림 3은 두 종류의 하부 기판구조 위에 증착된 SBT 박막을 650 °C로 열처리한 시편에 대한 AES depth profile을 보여주고 있다. AES 분석을 통해 SBT 박막내의 각 성분원소들이 비교적 균일하게 분포되어 있고, 하부전극인 Pt 및 RuO₂와 SBT층 사이에는 상호 반응없이 비교적 안정된 막을 형성하고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si 기판위에 증착된 as-deposited SBT 박막과 600 °C 및 650 °C에서 열처리한 시편에 대하여 주파수 변화에 따른 비유전상수(ε_r)값의 변화를 나타내었다. Pt/Ti/SiO₂/Si 기판구조위에 증착된 SBT 박막시료의 경우 1 kHz의 주파수에서 약 75의 비유전상수 값을 나타내었으며, 하부 기판구조 RuO₂/SiO₂/Si의 경

우에는 약 110정도의 값을 나타내었다.

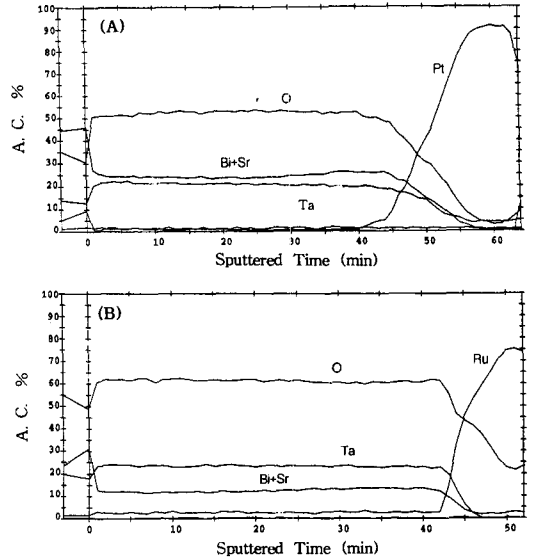


그림 3. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 및 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판구조위에 증착후 650 °C에서 열처리한 SBT 박막의 AES depth profiles

Fig. 3. AES depth profiles of SBT films annealed at 650°C on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates.

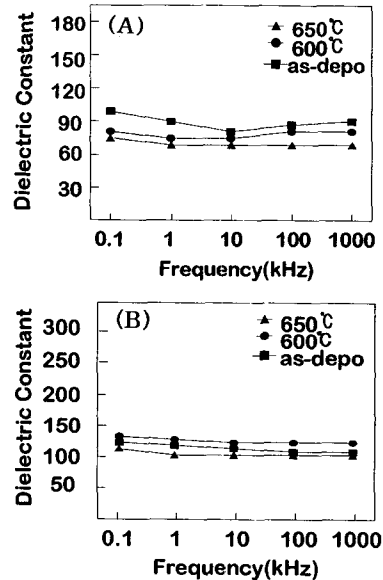


그림 4. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 및 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판위에 증착된 SBT 박막의 주파수 변화에 따른 유전상수

Fig. 4. Dielectric constants of SBT films deposited on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates as a function of frequency.

하부전극을 RuO₂로 사용했을 때의 유전상수값이 Pt로 사용했을 때보다 다소 크게 나타난 이유는 본 실험에서는 확인할 수 없었으나, RuO₂의 거칠은 표면에 의해 커패시터의 실효면적이 커졌기 때문이라 생각된다. 실제로 RuO₂를 하부전극으로 증착시킨 경우 거칠어진 표면에 의해 비유전상수값에 영향을 미친다고 보고된바 있다^[9].

100 Hz에서부터 1 MHz 주파수 범위에서 비유전상수는 거의 일정한 값을 나타내어 뚜렷한 변화를 발견할 수 없었다.

그림 5는 Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si 기판위에 증착된 as-deposited SBT 박막과 650 °C에서 후속 열처리한 시편의 P-E 이력곡선을 보여주고 있다. As-deposited SBT 박막시료의 경우 기판종류에 관계없이 상유전특성을 나타내었다. 이들 시편을 650 °C로 후속 열처리함으로써 강유전특성을 나타내었으며, Pt/Ti/SiO₂/Si와 RuO₂/SiO₂/Si 기판위에 증착된 시료의 경우 잔류분극 (2Pr = Pr+ - Pr-)값이 약 11 μC/cm²와 3 μC/cm²를 각각 나타내었다. 이와 같이 Pt/Ti/SiO₂/Si 위에 증착된 SBT 박막의 경우 후속 열처리에 의해 잔류분극값이 크게 증가한 것은 XRD 분석결과로부터 알 수 있듯이 후속 열처리에 의해 결정성이 크게 개선되었기 때문이라 사료된다. 본 실험에서 얻어진 2Pr값은 타 연구자에 의해 보고된 값^[10]과 유사한 결과를 나타내었다.

그림 6은 Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si의 기판구조위에 증착된 as-deposited SBT 박막과 650 °C에서 열처리한 시편의 전류-전압 특성곡선이다. As-deposited된 SBT박막을 650 °C에서 열처리함으로써 누설전류가 크게 개선되는 경향을 보여주고 있다. 이러한 결과는 in-situ 상태에서 이미 결정화된 박막구조가 후속 열처리에 의해 결정특성이 더욱 개선되어 치밀해진 박막구조를 가지기 때문이라 판단된다. 3 V의 인가전압에서 650 °C로 열처리된 SBT 박막의 누설전류(소자면적: 3.14 × 10⁻⁴ cm²)는 Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si 기판의 경우 각각 약 0.8 μA/cm²와 3 μA/cm² 정도로 비교적 낮은 누설전류 특성을 보여주고 있다.

SBT박막의 분극 피로특성을 알아보기 위해 ±5 V의 bipolar 톱니파 펄스를 10¹¹ cycle까지 인가한후 분극의 변화를 조사하였다. 그림 7은 두 종류의 하부전극 구조위에 증착된 SBT 박막을 650 °C에서 후속 열처리한 시편에 대해 분극 스위칭 cycle에 따른 상대적 잔류분극율(2Pr)의 변화를 보여주고 있다. 전극종류에 관계없이 10¹¹ 분극 스위칭을 반복 인가한후에도 잔류분극율의 저하가 발생되지 않아서 본 실험에서 얻어진 박막이 우수한 피로특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 증착된 SBT 박막시료의 경우 분극 스위칭 cycle이 10⁹ 이상

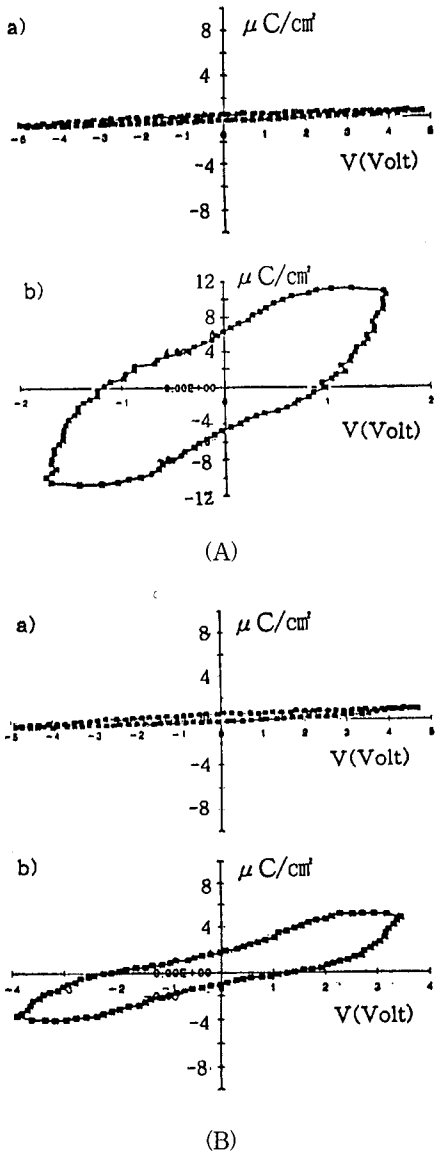


그림 5. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 및 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판구조위에 증착된 a) as-deposited 및 b) 650 °C에서 후속 열처리한 SBT 박막의 P-E 이력곡선
Fig. 5. P-E loops of SBT films a) as-deposited and b) annealed at 650 °C on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates.

증가될 경우 오히려 잔류분극율이 커지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 잔류분극의 증가에 대해 가능성 있는 하나의 원인으로써 누설전류의 증가를 들 수 있다.

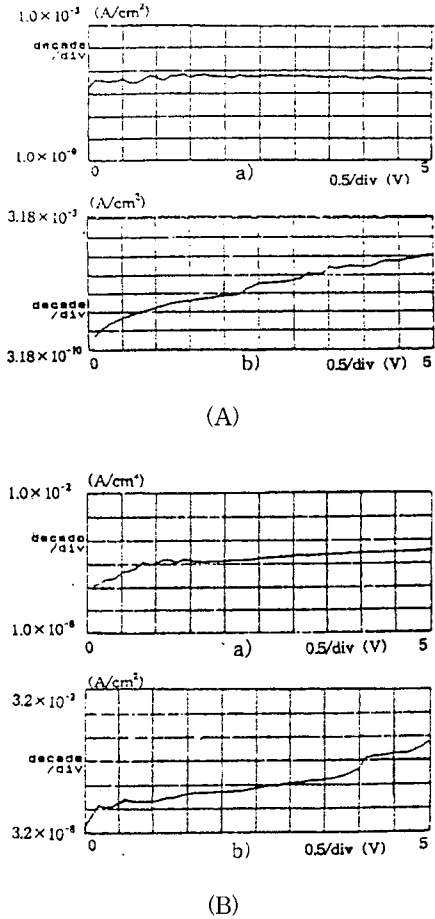


그림 6. (A) Pt/Ti/SiO₂/Si 와 (B) RuO₂/SiO₂/Si 기판 구조 위에 증착된 SBT박막의 I-V 특성곡선 : a) as-deposited 및 b) 650 °C에서 후속 열처리된 SBT 박막시료

Fig. 6. I-V characteristics of SBT films a) as-deposited and b) annealed SBT films at 650 °C on (A) Pt/Ti/SiO₂/Si and (B) RuO₂/SiO₂/Si substrates.

따라서 분극 스위칭 cycle이 반복 인가되기 전 및 후에 있어서 누설전류의 변화를 조사하였다. Pt/Ti/SiO₂/Si 기판구조위에 증착된 SBT박막에 있어서 분극 스위칭 인가전과 10¹¹ cycle 반복인가후의 누설전류의 변화를 관찰한 결과 누설전류가 약 0.8 μA/cm²에서 8 μA/cm²로 증가됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 증착된 SBT 박막의 잔류분극의 증가는 분극 스위칭이 반복됨에 따라 누설

전류가 증가된데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

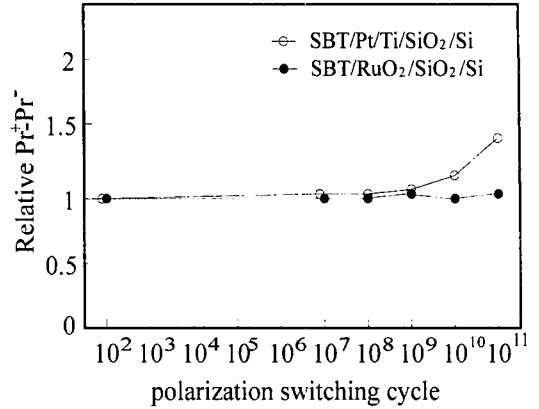


그림 7. 하부구조 Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si를 갖는 SBT 박막에 대하여 분극 스위칭 사이클에 대한 잔류분극의 변화(650 °C 에서 30 초간 열처리한 시편)

Fig. 7. The changes of remanent polarization(Pr) as a function of polarization switching cycles for the SBT films deposited on Pt/Ti/SiO₂/Si and RuO₂/SiO₂/Si substrates (the SBT films were annealed at 650 °C for 30 sec.).

IV. 결론

Pt/Ti/SiO₂/Si 및 RuO₂/SiO₂/Si 의 2종류의 기판 구조위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법에 의해 SBT 박막을 증착한후 결정학적 및 전기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) XRD 분석결과 모든 시료는 전형적인 Bi 층상 perovskite 구조를 나타내었다. As-deposited된 SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si 박막을 650 °C 온도에서 열처리함으로써 (105) 회절곡선의 FWHM값이 0.81° 에서 0.66° 으로 감소하여 결정성이 개선됨을 알 수 있었다.

(2) 비유전상수는 Pt/Ti/SiO₂/Si 전극위에 증착된 SBT박막의 경우 1 kHz에서 약 75 이었고, RuO₂/SiO₂/Si전극위에 증착된 SBT 박막시료의 경우 약 110의 값을 나타내었다. 100 Hz ~ 1 Mhz 주파수 범위에서 유전상수는 거의 일정한 값을 나타내어 뚜렷한 변화를 발견할 수 없었다.

(3) P-E 이력곡선 측정결과 650 °C에서 후속 열처리한 SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si 및 SBT/RuO₂/SiO₂/Si 시편의 경우 잔류분극 2Pr(Pr+-Pr-)이 약 11 μC/cm²

및 3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 값을 각각 나타내었다. Pt 전극위에 증착된 SBT 박막의 Pr 값은 타 연구자에 의해 얻어진 값과 유사한 결과를 나타내었다.

(4) 3 V의 인가전압에서 Pt 전극위에 증착된 as-deposited SBT 박막시료와 열처리된 시료의 경우 누설전류는 약 8 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 및 0.8 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 를 각각 나타내어 비교적 낮은 누설전류특성을 보여주고 있다.

(5) 650 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리된 SBT 박막시료에 대해 분극 스위칭 cycle을 10^{11} 까지 반복 인가한 후 피로 특성을 조사한 결과 전극 종류에 관계없이 잔류분극 (2Pr)의 저하를 나타내지 않아서 우수한 피로특성을 보여주었다. 그러나 SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si 시료에 있어서는 오히려 Pr값이 약간(약 30 %)증가하는 경향을 나타내었다. 이는 반복된 분극스위칭 cycle에 따른 누설전류의 증가에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

※ 본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체분야 학술연구 조성비(과제번호 : ISRC 96-E-1049)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] G. K. Chang, J. Y. Park, J. M. Yoon, S. K. Lim, and H. J. Chang, "Pb(Zr,Ti)O₃ 강유전체 박막의 스퍼터링 증착과 후속열처리", J. of Korea Vac. Soc. vol. 6. no. 1 p. 36, 1997.
 [2] T. Atsuki, N. Soyama, T. Yonezawa and K. Ogi, "Preparation of Bi-Based ferroelectric thin films by Sol-Gel method", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 34(9B), p. 5096, 1995.
 [3] T. Hase, T. Noguchi, K. Amanuma and

Y. Miyasaka, "Sr content dependence of ferroelectric properties in SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Proc. 8th Int. symp. Integrated Ferroelectrics. vol. 15. p. 127, 1997.
 [4] H. Tabata, H. Tanaka and T. Kawai, "Formation of Bi-based layered perovskite oxide films by a laser ablation technique", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 34. (9B), p. 5146, 1995.
 [5] K. Hayashi, M. Shimizu and T. Shiosaki, "Growth and electrical properties of Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by sputtering using an alloy target", Integrated Ferroelectrics, vol. 5. no. 4 p. 255, 1994.
 [6] T. Hase, K. Hirata, K. Amanuma, N. Hosokawa and Y. Miyasaka, "Preparation of Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by multitarget sputtering", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 33. p. 5244, 1994.
 [7] T. Nakamura, "Nonvolatile ferroelectric memory and its applications", Electronic Parts and Materials, vol. 34. no. 1 p. 52, 1997.
 [8] C. A. Paz de Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. McMillan and M. C. Scott, "Fatigue-free ferroelectric capacitors with platinum electrodes", Nature, vol. 374, p. 627, 1995.
 [9] M. S. Jeon and D. K. Choi, "Influence of the (Ba,Sr)TiO₃ modified RuO₂ interface on the dielectric constant and current-voltage characteristics", J. of Vac. Sci. and Technol., vol. 15, no. 4, p. 928, 1997.
 [10] S. B. Desu and D. P. Vijay, "Novel fatigue-free layered structure ferroelectric thin films", Mater. Sci. and Eng. B32, p. 75, 1995.

저 자 소 개

張 鎬 廷(正會員) 第33卷 A編 第8號 參照

徐 光 鐘(正會員)

1972년 3월 20일생. 1997년 2월 단국대학교 전자공학과 학사. 1973년 3월 ~ 현재 단국대학교 전자공학과 석사 과정 재학. 주관심분야는 강유전체 박막 및 센서 등임

張 志 根(正會員) 第33卷 A編 第8號 參照