

RF 스퍼터링법에 의한  $(\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})\text{TiO}_3$  박막의 전압-전류 특성V-I Characteristics of  $(\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})\text{TiO}_3$  Thin Film by RF Sputtering Method

김진사\*, 조춘남\*, 신철기\*, 최운식\*\*, 김충혁\*, 이준웅\*\*\*

J.S.Kim\*, C.N.Cho\*, C.G.Shin\*, W.S.Choi\*\*, C.H.Kim\*, J.U.Lee\*\*\*

## Abstract

The  $(\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})\text{TiO}_3$ (SCT) thin films are deposited on Pt-coated electrode(Pt/TiN/SiO<sub>2</sub>/Si) using RF sputtering method. The crystallinity of SCT thin films is increased with increase of substrate temperature in the temperature range of 200~500[°C]. V-I characteristics of SCT thin films show the increasing leakage current with the increases of deposition temperature. The conduction mechanism of the SCT thin films observed in the temperature range of 25~100[°C] can be divided into four characteristic regions with different mechanism by the increasing current.

Key words(중요용어) : RF sputtering, substrate temperature, leakage current

## 1. 서 론

최근의 산업구조가 고도 전문화됨에 따라 전기전자 부품의 발전이 급속히 진행되고 있으며, 이러한 과정에서 세라믹의 박막 제조기술은 전기전자 소자를 소형화, 대용량화, 다기능화 및 고신뢰성화의 방향으로 연구개발이 꾸준히 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 특히 세라믹 박막은 경박단소의 요구에 부응할 뿐만 아니라 세라믹 벌크(bulk)에서는 가질 수 없는 독특한 열적, 전기적, 자기적 및 광학적인 우수한 특성을 나타내므로 반도체 분야에서 집적도를 높이기 위한 고유전율 박막재료로서 개발이 요구되고 있다. 또한 국내·외적으로 사용되고 있는 유전박막인 SiO<sub>2</sub>와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>을 대체할 유망한 유전박막으로 SrTiO<sub>3</sub>계 세라믹 박막의 연구가 활발히 진행되고 있으나 현재 연구되고 있는 것은 주로 박막의 제조과정에 국한하여 연구되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

따라서 본 연구에서는 증착 및 조성제어가 용이하고 안정성과 재현성이 뛰어나 양질의 박막을 얻

을 수 있는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 Pt/TiN/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 웨이퍼 위에  $(\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})\text{TiO}_3$ (SCT) 박막을 기판온도에 따라 증착한 후, 미세구조 및 전압-전류 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 실험

## 2.1 박막 제조

기판은 비저항값이 1.5~3[Ωcm]인 P-type Pt/TiN/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 실리콘 웨이퍼이며, 사양은 SiO<sub>2</sub>-4000[A], TiN-2000[A], Pt-2000[A] 등이다. 실리콘 웨이퍼는 10×10[mm]으로 절단하여 깨끗이 초음파 세척하므로써 표면에 잔류하는 불순물을 완전히 제거하였다. 표 1에 증착시 SCT 박막에 대한 스퍼터링 조건을 나타내었다. 또한 상부전극(top electrode)은 스퍼터링(sputtering)을 이용하여 백금을 직경 1[mm]로 하여 2000[A]의 두께로 증착하여 사용하였다.

## 2.2 측정

## 2.2.1 구조적인 특성

증착하여 얻은 SCT 박막에 대한 결정립의 크기 및 표면상태 등을 관찰하기 위하여 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)을 이용하였다. 또한 증착온도에 따른 결정구조의 변화를 관

\* 광운대학교 전기공학과

\*\* 대불대학교 전기전자공학과

\*\*\* 전기전자재료학회 회장

찰하기 위하여 CuK-ALPHA1를 타겟으로 한 X-선 회절분석법(X-ray Diffraction, XRD)를 이용하여 분석하였다.

표 1. SCT 박막의 스퍼터링 조건

Target(2inch)	SCT
Substrate	P-type Pt/TiN/SiO <sub>2</sub> /Si(100)
Base pressure	$5 \times 10^{-6}$ [Torr]
Working pressure	$2 \times 10^{-2}$ [Torr]
RF power	140 [W]
Substrate temperature	200 ~ 500 [°C]
Ar : O <sub>2</sub>	4 : 1
Target-Substrate distance	45 [mm]
Deposition time	80 [min]

### 2.3.2 전압-전류 특성

SCT 박막의 전압-전류 특성 측정은 Source Measure Unit(Keithley 236)을 사용하여  $10^{-12} \sim 10^{-5}$ [A]의 전류 범위에서 전압을 일정속도로 증가하면서 증착온도에 따라 측정하였고, 또한 온도 의존성을 측정하기 위하여 온도범위 25~100[°C] 사이에서 전압-전류 특성을 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 구조적인 특성

#### 3.1.1 SCT 박막의 미세구조

사진 1는 기판온도(200~500[°C])에 따른 SCT 박막 표면의 미세구조를 나타내었다. 모든 시편이 매우 미세한 결정립(grain)으로 치밀하고 균일한 결정립 분포를 가지고 있다. 기판온도가 증가되면서 결정립의 크기가 조금씩 증가됨을 알 수 있었으며, 기판온도 400[°C]이상에서 결정립이 크게 성장되고 뚜렷해짐을 관찰할 수 있었다. 이것은 기판온도 400[°C]가 SCT 시편의 결정립의 성장이 활성화되는 온도임을 알 수 있다.

#### 3.1.2 X-ray 회절 분석

SCT 박막의 결정구조 및 배향성을 알아보기 위

하여 X선 회절분석을 하였다. 그림 1는 기판온도(200~500[°C])를 변화시키면서 제조한 박막의 XRD 형태를 나타내었다. 기판온도에 따라 XRD 피크의 커다란 변화는 관찰할 수 없었으며 XRD 피크의 상대적 세기를 볼 때 박막의 결정성은 기판온도가 증가함에 따라 같은 방향으로 향상되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 Z.Surowiak 등의 같은 증착조건하에서 SrTiO<sub>3</sub>계 박막은 일정한 배향성을 갖는다는 결과와 같음을 알 수 있다.<sup>3)</sup>

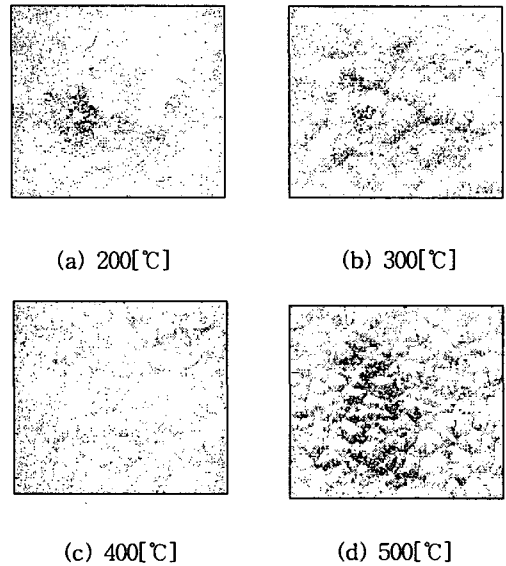


사진 1. 기판온도에 따른 SCT 박막의 전자현미경 사진

Photo. 1. SEM of SCT thin films with substrate temperature

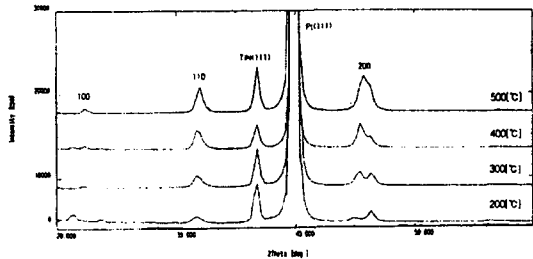


그림 1. 기판온도에 따른 SCT 박막의 XRD

Fig. 1. XRD of SCT thin films with substrate temperature

### 3-2. 전압-전류 특성

증착온도에 따른 전압-전류특성을 측정하여 그림

2에 나타내었다. 누설전류는 전체적으로 작은 아주 양호한 값을 얻을 수 있었으며 증착온도가 상승함에 따라 누설전류도 증가하였다.

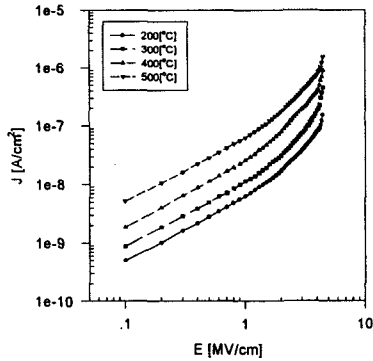


그림 2. 기판온도에 따른 SCT 박막의 전압-전류 특성

Fig. 2. V-I characteristics of SCT thin films with substrate temperature

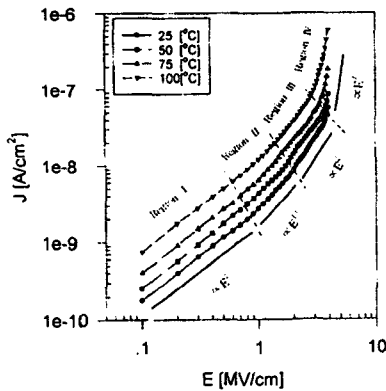


그림 3. 측정온도에 따른 SCT 박막의 전압-전류 특성

Fig. 3. V-I characteristics of SCT thin films with measurement temperature

전계가 0.8[MV/cm] 이하에서는 전류가 인가전계에 거의 비례하여 증가하며, 그 이상의 전계에서의 전류는 비직선적으로 증가하여 파괴에 이르고 있음을 알 수 있었다. 또한 증착온도가 증가함에 따라 전류는 급격히 증가됨을 알 수 있다.

그림 3는 SCT 박막의 측정온도에 따른 전압-전류 특성을 나타내었다. 박막은 측정온도가 상승함에 따라 누설전류가 점진적으로 증가하였으며 모든 측정온도에서 일정한 기울기를 나타냈다. 전계가 0.8[MV/cm]까지는 누설전류가 인가전계에 거의 비례하여 증가하다가 그 이상 전계에서의 전류는 비직선적으로 증가하여 파괴에 이르는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 얻은 전압-전류특성은 그림 3과 같이 네영역으로 나누어 생각할 수 있으며, 이들 각 영역의 전도기구에 대하여 고찰하여보면 다음과 같다.

#### (1) 제 I 영역

이 영역에서의 전류는 인가전계에 따라 거의 직선적으로 증가하며, 이온 전도식에서 저전계 ( $eEa < kT$ )일 때는  $J \propto E$ 이므로 이영역의 전류밀도는 전계에 비례하는 오옴의 법칙으로 설명할 수 있다. 이 영역에서  $\ln J - 1/T$ 를 Arrhenius plot의 그래프로 나타내면 그림 4와 같이 직선이 되므로 이온 호핑 이론을 적용할 수 있으며, 직선의 기울기로 부터 활성화 에너지를 구할 수 있다. 여기서 얻은 활성화 에너지의 값은 0.14[eV]이다.

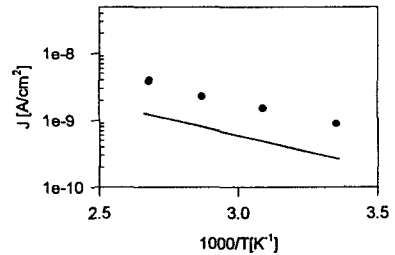


그림 4. 제 I 영역에서의  $\ln J - 1/T$  특성

Fig. 4.  $\ln J - 1/T$  characteristics in the I region

#### (2) 제 II 영역

이 영역에서의 전압-전류 특성은 인가전계가 증가함에 따라 전류는 비직선적인 변화를 보이며  $J \propto E^{1.5}$ 에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 이와같은 비오옴특성을 나타내고 있는 것으로 부터 이 영역에서의 전도특성은 산화층(oxidation layer)의 불순물에 의한 전자나 이온들이 인가전계의 상승에 따라 활성화되면서 이들이 전도에 기여하고 있는 것으로 생각된다.<sup>4)</sup>

### (3) 제 III 영역

이 영역에서의 전압-전류 특성은 인가전계가 증가함에 따라 전류가 제 II영역보다 더 비직선적인 변화를 보이면서 증가함을 알 수 있다. 작은 전계의 변화에도 전류밀도가 급격히 증가하는 비오姆특성을 나타내고 있는 것으로 부터 이 영역에서의 전도 특성은 입계층(grain boundary layer)의 불순물들에 의한 전자들이나 이온들이 인가전계의 상승에 따라 활성화되면서 이들이 전도에 크게 기여하고 있는 것으로 생각된다.<sup>5)</sup> 또한 전체 전류는 시료에서 주입 전류와 시료내의 전류가 합해지는 경우로  $E^2$ 에 비례하여 증가하는 전형적인 Child 법칙을 따름을 알 수 있다.

### (4) 제 IV 영역

이 영역은 인가전계의 증가에 따라 전류가 급증하여 최종적으로 파괴에 이르고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 불순물이나 이온화된 이온들이 계면 부근에 존재하거나 입계층에 얽게 포획되어 있다가 온도나 전계에 의하여 쉽게 활성화되기 때문인 것으로 생각된다. 또한 이 영역에서의 전도특성은 온도의 영향보다는 전계에 의하여 터널전도에 이르러 곧 파괴에 이르는 것으로 사료된다.<sup>6)</sup> 본 실험의 결과를  $\ln(J/E^2)$ 와  $1/E$ 에 대하여 도시하면 그림 5와 같으며 그림의 기울기로부터 구한 활성화 에너지는  $0.12[eV]$ 이다.

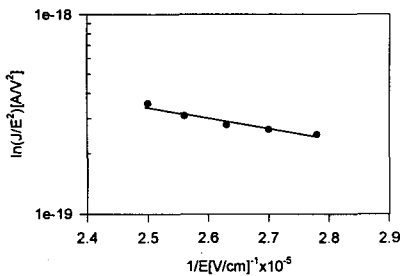


그림 5. 제 IV영역에서  $\ln(J/E^2)$ 와  $1/E$ 의 관계  
Fig. 5. The relation between the  $\ln(J/E^2)$  and  $1/E$  in the IV region

## 4. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링법으로 ( $Sr_{0.85}Ca_{0.15}$ )  $TiO_3$  박막을 증착한 후, 구조 및 전압-전류 특성을 측정한 결과는 다음과 같다.

1. 증착온도의 증가에 따라 입자성장이 뚜렷하게

증가함을 알 수 있었으며, XRD 분석으로부터 피크의 상대적인 크기가 증가함을 나타내었다.

### 2. 전압-전류 특성

증착온도가 상승함에 따라 누설전류의 크기는 점차 증가함을 나타내었으며, 측정온도가 증가함에 따라 누설전류값이 크게 증가함을 알 수 있었고, 전압-전류특성 곡선을 4 영역으로 분리한 각 영역에서의 전도기구는 다음과 같다.

제 I 영역에서의 전류는  $J \propto E$ 이므로 전류밀도는 전계에 비례하는 오姆의 법칙으로 설명할 수 있었고, 제 II 영역은 인가전계가 증가함에 따라 전류는 비직선적인 변화를 보이며  $J \propto E^{1.5}$ 에 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 또한 제 III 영역은 전류밀도가  $E^2$ 에 비례하여 증가하는 전형적인 Child 법칙을 따름을 알 수 있었고, 제 IV 영역은 인가전계의 증가에 따라 전류가 급증하여 파괴에 이르고 있는 것으로부터 전도특성은 온도의 영향을 거의 받지않는 터널효과로 설명할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. S. Matsubara, S. Miura, Y. Miyasaka, and N. Shohata, "Preparation of epitaxial  $ABO_3$  Perovskite-type Oxide Thin Films on a(100)  $MgAl_2O_4/Si$  Substrate", J. Appl. Phys., Vol.66(12), pp.5826~5832, 1989.
2. D. W. Hoffman, and J. A. Thornton, "Internal Stresses in Cr, Mo, Ta, and Pt Films Deposited by Sputtering from a Planar Magnetron Sources", J. Vac. Sci.&Technol., Vol.20(3), pp.355~358, 1982.
3. Z. Surowiak, A. M. Margolin, I.N.Zaharochenko, and S.V.Biryukov, "The Influence of structure on the Piezoelectric properties of  $BaTiO_3$  and  $(BaSr)TiO_3$  Thin Films with a Diffuse Phase Transition", Thin Solid Films, Vol.176, pp.227~246, 1989.
4. L. M. Levinson and H. R. Philipp, "The physics of metal oxide varistors", J. Appl. Phys., Vol.46(3), p.1332~1336, 1975.
5. R. C. Neville and C. A. Mead, "Tunneling Currents in Zinc Oxide", J. Appl. Phys., Vol.42, pp.5285~5290, 1970.
6. J. C. Fisher and I. Glaefer, "Tunneling through thin insulating layers", J. Appl. Phys., Vol.32(2), pp.172, 1961.