

**RF 스퍼터링법에 의한 (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ 박막의
전기적 특성**

**Electrical Characteristics of (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ Thin Film by
RF Sputtering Method**

장원석*, 김진사*, 최운식**, 김충혁*, 이준웅*

(Won-Seok Jang, Jin-Sa Kim, Woon-Sik Choi, Chung-Hyeok Kim, Joon-Ung Lee)

* 광운대학교 전기공학과, ** 대불대학교 전기공학과

Abstract

The (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ (SCT) thin films are deposited on Pt-coated electrode using RF magnetron sputtering method at various substrate temperature. Dielectric constant of SCT thin films is increased with increased as the deposition temperature and changes almost linearly in temperature ranges from -80 to +90[°C]. The drastic decrease of dielectric constant and increase of dielectric loss in SCT thin films is observed above 200[kHz]. V-I characteristics of SCT thin films show the increasing leakage current with the increases of deposition temperature.

1. 서 론

반도체 산업의 급속한 발전으로 전기·전자회로 소자의 경박단소화가 빠르게 진행됨으로서 고유전율 박막재료의 개발이 필요하게 되었다. 고유전율 박막 재료로는 TiO₂, Ta₂O₅, BaTiO₃(BTO), SrTiO₃(STO), Ba_{1-x}Sr_xTiO₃(BST) 등이 있으며, 이 중에서도 SrTiO₃는 상온에서 고유전율($\epsilon_r = 320$)인 동시에 온도변화에 따른 정전용량의 변화도 거의 없으며, 또한 박막을 제조하기가 용이하여 차세대 유전 박막 재료로 관심이 모아지고 있다.

기존에 사용되고 있는 SiO₂ 및 Si₃N₄ 박막은 유전율이 10이하로 낮아 최근의 대용량 기억소자로 부적절하다. 따라서 본 연구에서는 증착이 용이하고 양질의 박막을 얻을 수 있는 RF 스퍼터링법으로 (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ 박막을 제조한 시편의 온도변화에 따른 유전특성, 주파수특성 및 전도특성에 대하여 연구한 결과를 보고한다.

2. 실험

2-1. 타겟 제조

본 실험에서는 SrCO₃, CaCO₃, TiO₂ 등의 시료를 사용하여 (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ 타겟을 제조하였으며 시료의 순도 및 제조회사는 표 1과 같다.

표 1 시료의 순도 및 제조 회사
Table 1 Purity and manufacturing company of raw materials

| 원료 | SrCO ₃ | CaCO ₃ | TiO ₂ |
|-------|-------------------|-------------------|------------------|
| 분자량 | 147.63 | 100.09 | 79.90 |
| 순도[%] | 99.99 | 99.99 | 99.99 |
| 제조회사 | Aldrich(USA) | Aldrich(USA) | Aldrich(USA) |

각 시료는 기본 조성식 (Sr_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃에 따라 전자천평을 사용하여 측량하였으며, 소결과정에서 온도를 일정하게 유지시키기 위해 ZrO₂를 분위기 분말로 사용하였다. 그림 1은 target 제작 공정을 나타낸 것이다.

2-2 박막 제조

($\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{TiO}_3$)으로 조성된 타겟을 RF 스퍼터링 장치의 타겟 홀더에 부착한 후에 RF 스퍼터링 장치 내부의 기판과 타겟의 거리는 45[mm]로 하였고, 증착온도는 200[$^{\circ}\text{C}$]~500[$^{\circ}\text{C}$]로 하였다. 실리콘 웨이퍼는 10×10[cm^2]으로 절단하여 초음파 세척을 하였다.

타겟 표면의 불순물과 초기 플라즈마를 안정화 시키기 위하여 아르곤과 산소 분위기에서 30분동안 예비 스퍼터링(pre-sputtering)을 행한후 SCT 박막의 기판온도를 변화시키면서 증착하였다. 그림 2는 실리콘 웨이퍼 위에 증착된 SCT 박막의 단면도이며, 표 2는 증착시 SCT박막에 대한 스퍼터링 조건을 나타내었다. 상부전극(top electrode)은 스퍼터링법을 이용하여 직경 1[mm], 두께 2000[\AA]로 백금(Pt)을 증착하였다.

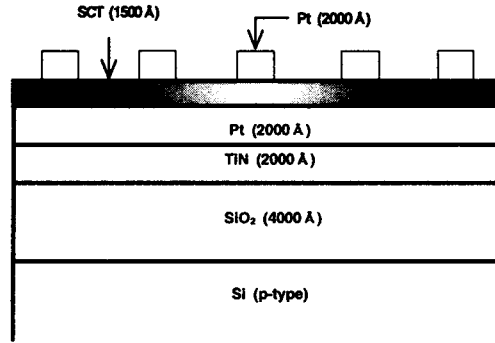


그림 2. SCT 박막의 단면도

Fig. 2. The cross section of SCT thin films

표 2 SCT 박막의 스퍼터링 조건

Table 2. Sputtering conditions of SCT thin films

| Target (2inch) | ($\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{TiO}_3$) |
|---------------------------|--|
| Substrate | P-type Pt/TiN/SiO ₂ /Si(100) |
| Base pressure | 5×10^{-6} [Torr] |
| Working pressure | 2×10^{-2} [Torr] |
| RF power | 140[W] |
| Substrate temperature | 100 ~ 500[$^{\circ}\text{C}$] |
| Ar : O ₂ | 4 : 1 |
| Target-Substrate distance | 45[mm] |
| Deposition time | 80[min] |

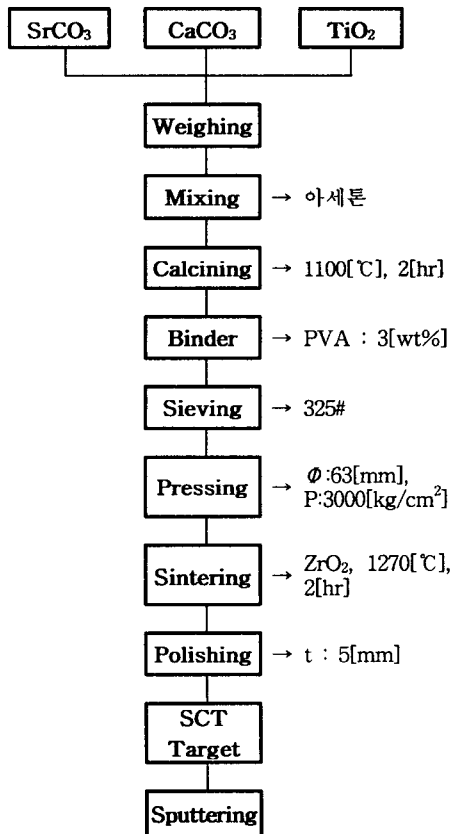


그림 1. 타겟의 제조 공정

Fig. 1. Manufacturing Process of Target

2-3. 측 정

1) 유전 특성

증착된 시편의 유전상수(Dielectric Constant)는 Video Bridge 2150를 이용하여 온도범위 -150~200[$^{\circ}\text{C}$], 10[kHz], 1[Vrms]의 교류전계하에서 정전용량을 측정하였다.

두께 측정에 사용된 기기는 ellipsometer이고, 박막의 두께는 약 1500[\AA]이었다.

정전용량의 주파수 특성은 LF Impedance Analyzer(HP 4192A)를 이용하였고, Oscillation 전압을 1[Vrms], 주파수 범위 0.1~1000[kHz]에서 정전용량 및 손실계수를 측정하였다.

2) 전압-전류 특성

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

3. 실험 결과 및 고찰

3-1 유전 특성

1) 증착온도에 따른 유전율의 변화

그림 3은 SCT 시편의 증착온도에 따른 유전상수의 변화를 나타낸 것이며, 주파수 10[kHz], 상온(25[°C])에서 측정된 유전상수는 증착온도가 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가함을 보이고 있다. 이러한 변화는 증착온도가 증가됨에 따라 박막의 결정성이 향상됨으로 해서 유전상수가 증가한다고 생각할 수 있다.

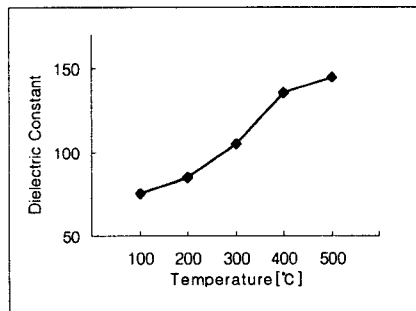


그림 3. 증착온도에 따른 유전상수

Fig 3. Dielectric constant with deposition temperature

2) 유전율의 온도특성

그림 4는 SCT 박막의 증착온도에 따른 유전상수와 유전손실에 대한 온도 의존성을 측정한 것이다. 유전상수는 증착온도가 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가함을 알 수 있었으며, 모든 증착온도에서 유전손실은 0.1 이하의 아주 양호한 값을 나타냈다. 유전손실의 경우 -80[°C]이하 그리고 +90[°C]이상에서 유전손실이 약간 증가하고 있음을 알 수 있다. 저온에서의 유전손실 증가는 결정구조의 불안정성이나 불순물에 의한 것이라 생각되며, 고온에서의 유전손실 증가는 열처리시 생기는 산화층의 온도가 높아짐에 따라 저항이 감소하게 되어 손실계수가 증

가하므로 실효 유전층의 두께를 감소시키는 결과를 초래하여 유전상수가 증가하게 된다고 생각된다.

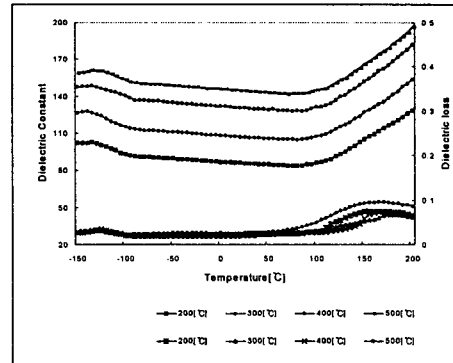


그림 4. SCT 박막의 증착온도에 따른 유전상수와 유전손실의 온도특성

Fig. 4. Temperature dependence of dielectric constant and dielectric loss with deposition temperature of SCT thin film

3) 증착온도에 따른 유전율의 주파수 특성

그림 5는 증착온도 200~500[°C]에서 80분 동안 증착시킨 박막의 주파수 특성이다. 모든 시편에서 주파수가 증가함에 따라 유전상수는 100[kHz]까지는 약간씩 감소하는 경향을 보이다가 약200[kHz]부터 급격히 감소하며, 유전손실도 약 200[kHz]부터 급격히 증가하였다. 이러한 특성은 200[kHz]이상에서 유전상수의 완화(relaxation)현상이 일어남을 알 수 있다. 또한 유전상수는 증착온도가 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가함을 알 수 있었다. 이러한 유전율의 증가는 증착온도의 증가에 따라 박막의 결정성이 향상된 결과로 생각된다.

4) 전압-전류 특성

그림 6는 증착온도에 따른 전압-전류특성을 측정한 것이다. 누설전류는 전체적으로 작은 양호한 값을 얻을 수 있었으며 증착온도가 상승함에 따라 누설전류도 증가하였다. 전계가 0.8[MV/cm] 이하에서는 전류가 인가전계에 거의 비례하여 증가하며, 그 이상의 전계에서의 전류는 비직선적으로 증가하여 파괴에 이르고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 증착온도가 낮을수록 산소 공공의 발생이 적고 전극과 증착된 박막사이에 상호 확산에 의한 전기적 인 도너(electrical donor)의 원인이 되는 불순물의 유입이 적어지기 때문이라고 사료된다.

그림 7은 SCT 박막의 측정온도에 따른 전압-전류 특성을 나타내었다. 박막은 측정온도가 상승함에 따라 누설전류가 점진적으로 증가하였으며 모든 측정 온도에서 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.

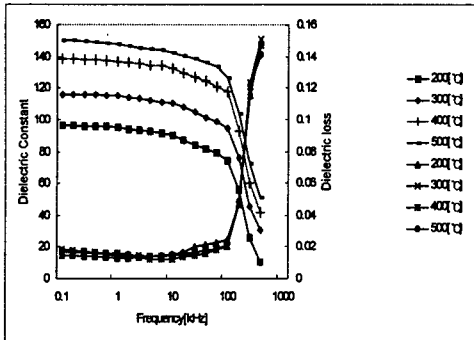


그림 4-3. SCT 박막의 증착온도에 따른 유전상수와 유전손실의 주파수 의존성

Fig 4-3. Frequency dependence of dielectric constant and dielectric loss with deposition temperature of SCT thin film

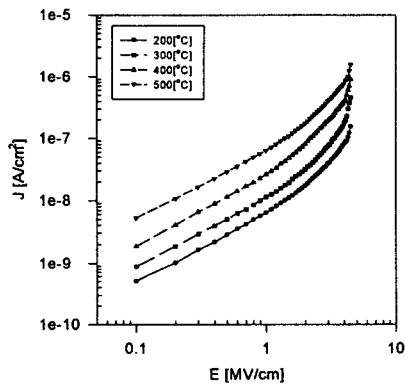


그림 4-5. 증착온도에 따른 SCT 박막의 전압-전류 특성

Fig. 4-5. V-I characteristic of SCT thin films with substrate temperature

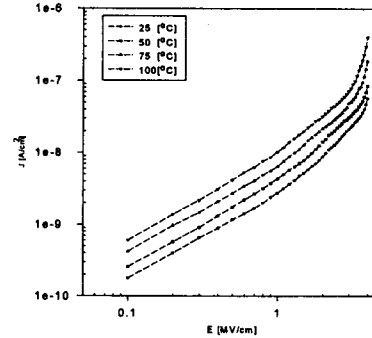


그림 4-6 측정온도에 따른 SCT 박막의 전압-전류 특성

Fig. 4-6. V-I characteristics of SCT thin films with measurement temperature

5. 결 론

여러 증착온도에 따라 RF 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 제작한 $(\text{Sr}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})\text{TiO}_3$ 의 유전특성 및 V-I 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 증착온도가 증가함에 따라 선형적으로 유전상수가 증가함을 알 수 있었으며, 400[°C]에서 유전상수가 크게 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 시편은 -80~+90[°C]의 온도범위에서 거의 일정한 유전상수를 얻었으며, 유전손실은 0.1 이하의 아주 양호한 값을 얻을 수 있었다.
- 3) 모든 증착 온도에 대한 시편이 주파수 증가에 따라 200[kHz]이상에서 유전상수값이 급격히 감소함을 알 수 있었다.
- 4) V-I 특성은 증착온도가 상승함에 따라 누설전류의 크기도 선형적으로 증가하였으며, 측정온도가 상승함에 따라 누설전류도 서서히 증가함을 확인할 수 있었으며, 전계가 0.8[MV/cm]까지는 누설전류가 인가전계에 거의 선형적으로 증가하다가 그 이상의 전계에 대해서는 전류가 비선형적으로 증가하여 파괴에 이르는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Noboruichinose et al., "Introduction to Fine Ceramics", John Wiley & Sons Ltd., pp.12, 1987
- 2) W.B.Pennebaker, "RF sputtered Strontium Titanate Films", MRS Symposium Proceeding, Vol.200, pp.199, 1990
- 3) 原誠, "セラミックス 評價法 III, 17: 誘電特性", セラミックス, Vol.24(6), pp.566~573, 1989