

열처리 온도에 따른 Sr계 박막의 표면 및 전기적인 특성

최운식¹, 조춘남², 김진사^{3,a}

¹ 세한대학교 기술교육학과

² 대조건설주식회사 기술부

³ 조선이공대학교 메카트로닉스과

Surface and Electrical Properties of Sr Based Thin Film with Annealing Temperature

Woon-Sik Choi¹, Choon-Nam Jo², and Jin-Sa Kim^{3,a}

¹ Department of Technology Education, Sehan University, Youngam 526-702, Korea

² Department of Technology, Daejo Electrical Construction Co., Seoul 572-125, Korea

³ Department of Mechatronics, Chosun Colleng of Science & Technology, Gwangju 501-744, Korea

(Received January 6, 2014; Revised January 14, 2014; Accepted January 22, 2014)

Abstract: The Sr based ceramic thin films were deposited on Si substrate by RF magnetron sputtering method. And Sr based thin films were annealed at 500~700°C using RTA. The surface roughness showed about 2.4 nm in annealed thin film at 600°C. The capacitance density of Sr based thin films were increased with the increase of annealing temperature. The maximum capacitance density of 0.6 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ was obtained by annealing temperature at 700°C. The voltage dependence of dielectric loss showed about 0.02 in voltage ranges of -10~+10 V. The leakage current density of annealing temperature of 600°C was the 4.0×10^{-6} A/cm² at applied voltage of -5~+5 V.

Keywords: Sputtering, Capacitance density, Dielectric loss, Leakage current density

1. 서 론

메모리 소자는 크게 휘발성 메모리와 비휘발성 메모리로 나눌 수 있으며, 휘발성 메모리인 DRAM은 단위 셀을 하나의 트랜지스터와 캐패시터로 구성할 수 있어서 고집적화, 빠른 동작 속도 및 아주 많은 기록회수 등의 장점 때문에 대표적인 메모리 소자로 알려져 있다. 또한 비휘발성 메모리인 FRAM은 전원

의 공급이 없어도 데이터가 손상되지 않은 특성과 함께 빠른 동작 속도, 작은 동작전압 및 10^{12} 이상의 기록가능 회수 등의 장점을 가지고 있는 것으로 많이 알려져 있다 [1]. 메모리 소자용 고유전율 재료로는 ST, BT, PT, BST, PZT 등이 활발히 연구되고 있다. 이러한 고유전율 재료 중에 FRAM용 유전체 박막재료로 가장 널리 알려진 재료는 PZT계 재료이며, PZT계 재료는 유전율과 잔류 분극량이 크기 때문에 비휘발성 재료로 우수한 특성을 가지고 있지만 누설 전류가 크고 절연과피 전압이 낮다는 단점을 동시에 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 RuO₂, IrO₂와 같은 산화물 전극을 사용하여 개선시키려는

a. Corresponding author: kimjs@cst.ac.kr

노력을 하고 있으나 이들 산화물 전극은 집적화시키는데 어려움이 있다. 또한, 비스무스계 층상 페로브스카이트 박막인 SBN과 SBT으로 이러한 단점을 개선하려는 연구가 많이 진행되고 있다 [2]. SBN과 SBT 박막은 비스무스 산화물층이 완충층 역할을 하는 Bi층이 반복적으로 존재하여 피로 특성이 우수하다고 알려져 있으며 동작전압이 작고, 고집적화에 우수한 특성을 가지고 있다. 여기서 SBN 박막을 제조하는 방법으로는 졸-겔법, MOD법, MOCVD, 스퍼터링법 등이 이용되고 있지만 SBN 박막을 제조하기가 어려워 여러 가지 변화된 공정 방법을 통해 SBN 박막 제조에 노력하고 있다 [3,4]. 또한, 유전체 박막은 전기장과 분극의 관계에 이력현상이 존재하며 자발분극의 방향이 인가전계의 방향에 따라 바뀌고, 자발분극의 방향과 크기가 전압을 인가하지 않는 상태에서도 그대로 존재한다. 이러한 성질을 이용하여 유전체 박막을 비휘발성 소자로 응용할 수 있다 [5]. 따라서 본 논문에서는 RF magnetron sputtering법을 이용하여 Si 기판 위에 Sr계 세라믹 박막을 증착한 후, 열처리 온도에 따른 표면 및 전기적인 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Sr계 세라믹 타겟에 의한 박막을 기판 온도 200°C에서 1시간 동안 증착하였다. 증착 시 working pressure는 5×10^{-3} Torr이고, RF power는 70 W이며 gas flow ratio(Ar/O₂)는 8/2로 하였다. 또한 증착한 후 RTA에 의해 500~700°C로 열처리하였으며, 실험에 사용된 기판은 실리콘 웨이퍼 위에 상부전극 Pt를 증착하여 사용하였다. 실리콘 웨이퍼는 일정한 크기로 절단하여 초음파 세척함으로써 표면에 잔류하는 불순물을 완전히 제거하였다. 또한, 전기적인 특성을 측정하기 위하여 상부전극은 스퍼터링법을 이용하여 Pt를 일정한 두께로 증착하였다.

표 1에 Sr계 박막을 증착 시 RF 마그네트론 스퍼터링 조건을 나타내었다. 열처리한 Sr계 박막의 표면 거칠기 특성은 AFM (atomic force microscope)를 이용하여 측정하였고, 박막의 정전용량 특성은 전압 ± 10 V, OSC level 0.5 V에서 impedance analyzer 4,294 A (Agilent)를 사용하여 측정하였다. 또한, 열처리된 박막의 V-I 특성은 인가전압 ± 5 V, step 전압

Table 1. Sputtering conditions of Sr based thin films.

Base pressure	2×10^{-6} Torr
Working pressure	5×10^{-3} Torr
RF power	70 W
Gas flow ratio(Ar/O ₂)	8 / 2
Substrate temperature	200°C
Deposition time	60 min
Substrate rotation speed	10 rpm

0.05 V, delay time 1 sec에서 6430 SUB-FEMTOAMP Source Meter (Keithley)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Sr계 세라믹 박막의 표면 거칠기를 알아보기 위하여 열처리 온도 500~700°C에 따라 AFM 측정 결과를 나타낸 것이다. 열처리 온도 600°C에서 표면의 거칠기가 3.2 nm에서 2.4 nm으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 열처리 온도가 증가함에 따라 원자가 이동하는데 필요한 열에너지를 받음으로써 보다 안정된 열적 에너지를 가지기 때문이라 사료된다. 하지만 650°C 이상에서는 다시 거칠기가 11.6 nm 이상으로 급격히 상승하는 경향을 나타내었다. 이것은 입자의 크기가 과다하게 성장함으로 인하여 박막 표면의 균일성이 떨어지는 것으로 사료된다 [5].

그림 2은 500~700°C에서 각각 열처리된 Sr계 세라믹 박막의 정전용량 밀도 및 유전손실의 전압의존성을 나타내었다. 측정전압 $-10 \sim +10$ V에서 정전용량은 열처리 온도가 증가함에 따라 증가되었고, 열처리 온도 700°C에서는 정전용량이 $0.6 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ 이상으로 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 현상은 증착 시 박막 내에 존재하는 비정질이 열처리 과정에 의해서 결정화되기 때문이다. 또한 열처리 온도 600°C까지는 유전손실이 약 0.02 이하로 아주 양호한 값을 얻을 수 있었다. 이와 같은 유전손실을 나타내는 원인은 여러 가지가 있으나 다결정 구조를 갖는 세라믹 박막에서는 불안정한 결정과 결정 내 불순물의 원인으로 사료된다. 따라서 Sr계 세라믹 박막에서도 열처리 온도가 증가함에 따라 산화층이 유전층의 두께를 감소시키는 역할을 하여 정전용량은 증가되고 유전손실은 안정된 값을 유지하는 것으로 생각된다 [5,6].

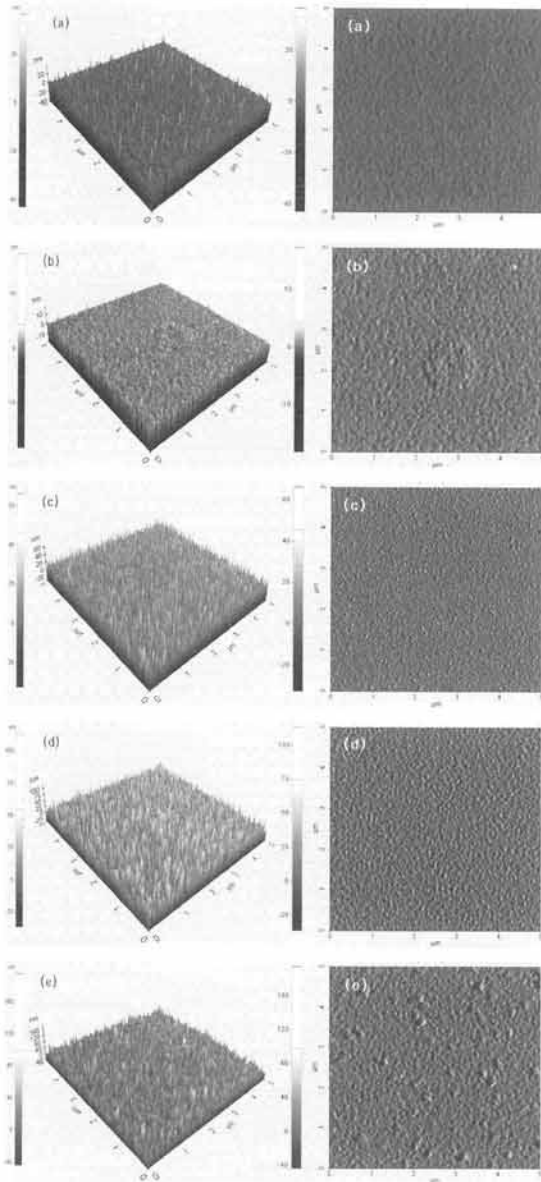


Fig. 1. AFM of Sr based thin films with annealing temperature. (a) 500°C, (b) 550°C, (c) 600°C, (d) 650°C, and (e) 700°C.

그림 3에 500~700°C에서 각각 열처리한 Sr계 세라믹 박막의 V-I 특성을 나타내었다. 인가전압 ±5 V에서 측정된 누설전류 밀도는 열처리 온도가 500°C에서 600°C 증가할 때는 5.8×10^{-6} A/cm²에서 4.0×10^{-6} A/cm²으로 약간 향상되었지만 열처리 온도 650°C 이상에서는 나빠지다가 700°C에서는 2.6×10^{-5} A/cm²으로 증가됨을 알 수 있었다.

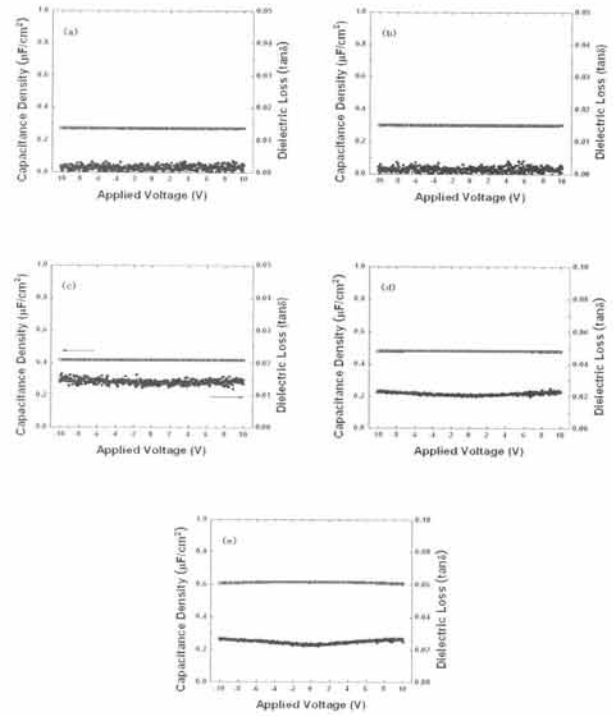


Fig. 2. Voltage dependence of capacitance density and dielectric loss of Sr based thin film with annealing temperature. (a) 500°C, (b) 550°C, (c) 600°C, (d) 650°C, and (e) 700°C.

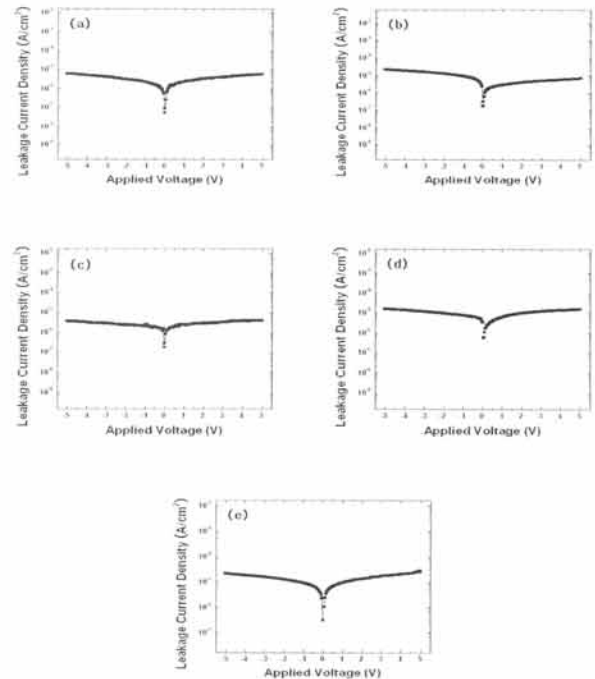


Fig. 3. V-I characteristics of Sr based thin film with annealing temperature. (a) 500°C, (b) 550°C, (c) 600°C, (d) 650°C, and (e) 700°C.

이러한 MFM 구조에서 누설전류 특성은 상부전극을 통해 박막 내부로 전하주입을 할 때 안정된 특성이 저하되는 것으로 사료된다. 따라서 박막 표면의 거칠기가 박막의 누설전류 특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다 [7]. 즉, Sr계 세라믹 박막의 AFM 측정결과 열처리 온도 500°C에서 650°C으로 증가될 때는 표면의 거칠기가 3.2 nm에서 2.4 nm로 감소하여 안정된 표면 상태를 나타내었지만, 650°C 이상에서 표면 거칠기가 다시 상승하여 11.6 nm으로 크게 나타남을 수 있었다. 이것은 입자가 과다하게 성장하여 Sr계 세라믹 박막 표면 균일성이 떨어짐으로써 표면에 공공이 증가되고, 이러한 결함자리에 상부전극이 침투하여 누설전류 특성이 저하되는 것으로 생각된다 [4].

4. 결론

RF magnetron sputtering법을 이용하여 Sr계 세라믹 박막을 증착하여 열처리 온도에 따른 표면 및 전기적인 특성은 다음과 같다. Sr계 세라믹 박막은 열처리 온도 600°C에서 표면의 거칠기가 2.4 nm으로 양호하였지만 650°C 이상에서는 거칠기가 11.6 nm 이상으로 급격히 상승하는 경향을 나타내었다.

측정전압 -10~+10 V에서 정전용량은 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였고, 열처리 온도 700°C에서는 정전용량이 0.6 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ 이상으로 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 열처리 온도 600°C까지는 유전손실이 약 0.02 이하로 아주 양호한 값을 얻을 수 있었다. 인가전압 -5~+5 V에서 측정된 누설전류 밀도는 열처리 온도가 500°C에서 600°C 증가할 때는 $5.8 \times 10^{-6} \text{ A}/\text{cm}^2$ 에서 $4.0 \times 10^{-6} \text{ A}/\text{cm}^2$ 으로 약간 향상되었지만 열처리 온도 700°C에서는 $2.6 \times 10^{-5} \text{ A}/\text{cm}^2$ 으로 크게 증가됨을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] K. Saito, M. Mitsuya, N. Nukaga, I. Yamaji, T. Akai, and H. Funakubo, *J. Appl. Phys.*, **39**, 5489 (2000).
- [2] C. Bedoya, Ch. Muller, F. Jacob, Y. Gagou, M-A. Fremy, and E. Elkaim, *J. Phys.*, **14**, 11850 (2002).
- [3] J. S. Kim and C. H. Kim, *J. KIEEME*, **22**, 671 (2009).
- [4] J. S. Kim, *Trans. KIEE*, **60**, 1175 (2011).
- [5] J. S. Kim, *Trans. KIEE*, **59**, 1083 (2010).
- [6] J. H. Lee, J. H. Koh, S. M. Koo, and B. M. Moon, *J. KIEEME*, **12**, 167 (1999).
- [7] T. K. Song, J. K. Lee, and H. J. Jung, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3839 (1996).