Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 28, No. 9, pp. 598-601 September 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.9.598
ISSN 1226-7945 (Print), 2288-3258 (Online)

열처리 방법에 따른 세라믹 박막의 AFM 및 C-F 특성

최운식[a]
세한대학교 기술교육과

AFM and C-F Properties of Ceramic Thin Film with Annealing Method

Woon-Shik Choi[a]
Department of Technology Education, Sehan University, Yeongam 526-702, Korea

(Received July 20, 2015; Revised July 31, 2015; Accepted August 3, 2015)

Abstract: The $Sr_{0.7}Bi_{2.3}Nb_2O_9$(SBN) thin films are deposited on Pt electrode(Pt/Ti/SiO_2/Si) using RF sputtering method at various deposition temperature. The deposition temperature of optimum was 300℃. SBN thin films were annealed at 500～700℃ using furnace and RTA, respectively. The surface roughness showed about 2.42 nm in annealing temperature(600℃) of furnace. The capacitance density of SBN thin films were increased with the increase of annealing temperature. The maximum capacitance density of 0.7 ㎌/㎠ was obtained by annealing temperature(700℃). The frequency dependence of dielectric loss showed about 0.03 in frequency ranges of 1～1,000 kHz.

Keywords: Deposition, Roughness, Capacitance, Dielectric loss

1. 서 론

최근에 전자기기의 소형화와 집적화 방향으로 박막 연구의 초점이 모아지고 있으며 강유전체의 압전성 및 초전성 등의 뛰어난 특성을 이용하는데 노력하고 있다 [1]. 강유전체를 이용한 기억소자는 컴퓨터 주변기기, 정보통신기기 및 ID 카드 등 여러 가지 용도로 이용이 가능하다. 특히 강유전체 물질 중 FRAM의 재료로는 PZT, SBT 및 SBN 등의 물질이 주목을 받고 있다 [2,3]. 강유전체로 많이 연구하던 PZT 재료는 백금 전극에서 10^8 cycle 전후에서 fatigue property이 일어나 FRAM 기억소자의 요구 조건인 10^{12}회 cycle 이상을 만족시키지 못하고 있다. 또한 유전체 박막은 전계와 분극의 관계에 이력현상이 있어서 자발분극이 인가전계의 방향에 따라 바뀌고, 자발분극의 방향과 크기가 전계를 인가하지 않는 상태에서도 그대로 존재한다. 이러한 성질을 이용하여 유전체 박막을 FRAM 소자로 응용할 수 있다. PZT계 박막은 유전율이 높고 항전력이 작으며, 잔류 분극량이 크기 때문에 FRAM 기억소자 재료로 적합한 특성을 가지고 있으나 누설전류가 크고 절연파괴 전압이 낮으며 노화와 피로현상이 발생하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선한 비스무스계 층상 페로브스카이트 박막인 $SrBi_2Nb_2O_9$(SBN)은 기존의 $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ (PZT)에 비해 누설전류를 방지할 수 있어서 많은 관심을 받고 있다 [4,5]. SBN은 PZT계 재료에 비해 remnant polarization 값은 작지만 비스무스 산화물 층이 완충 역할을 하여 피로 특성이 우수하다고 알려져 있다. 또한 동작전압이 낮고, 박막 두께에 대한 잔류분극의 의존도가 약해서 집적화에 아주 유리한 특성을 가지고 있다 [3].

따라서 본 연구에서는 증착이 용이하고 양질의 박막

a. Corresponding author; cws@sehan.ac.kr

Copyright ©2015 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 얻을 수 있는 RF sputtering법 이용하여 실리콘 웨이퍼 위에 $Sr_{0.7}Bi_{2.3}Nb_2O_9$(SBN) 박막을 증착하여 열처리법에 따른 AFM 및 C-F 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 및 측정

본 실험에서는 구조적인 특성이 안정한 것으로 알려진 세라믹 $SrBi_2Nb_2O_9$(SBN)을 RF 스퍼터링법으로 증착 온도(200~400℃)에 따라 SBN 박막을 제조하였다. 박막 제조 시 Ar/O_2비와 RF power는 각각 7/3과 60 W로 하였다. 또한, 300℃로 증착 후 전기로와 RTA에 의해 각각 500~700℃으로 열처리 하였으며, 실험에 사용된 기판은 P-type Pt/Ti/SiO_2/Si(100) 실리콘 웨이퍼이다. 실리콘 웨이퍼는 같은 크기로 절단하여 초음파 세척함으로써 표면에 잔류하는 불순물을 완전히 제거하였으며, 표 1에 증착 시 SBN 박막에 대한 스퍼터링 조건을 나타내었다. 상부전극은 스퍼터링법을 이용하여 백금(Pt)을 200 nm의 두께로 증착하여 사용하였다.

Table 1. Sputtering conditions of Sr based thin films.

Base pressure	2×10^{-6} Torr
Working pressure	5.5×10^{-3} Torr
RF power	60 W
Gas flow ratio(Ar/O_2)	70/30
Substrate temperature	200~400 ℃
Deposition time	60 min

RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착하여 얻은 SBN 박막에 대한 표면의 거칠기 분석은 AFM (atomic force microscope)을 사용하였다. 또한, 증착된 시편의 정전용량은 4294A impedance analyzer를 이용하였고, 시편의 두께는 α-step를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 증착 온도에 따른 SBN 박막의 표면 상태를 조사하기 위한 AFM 결과이다.

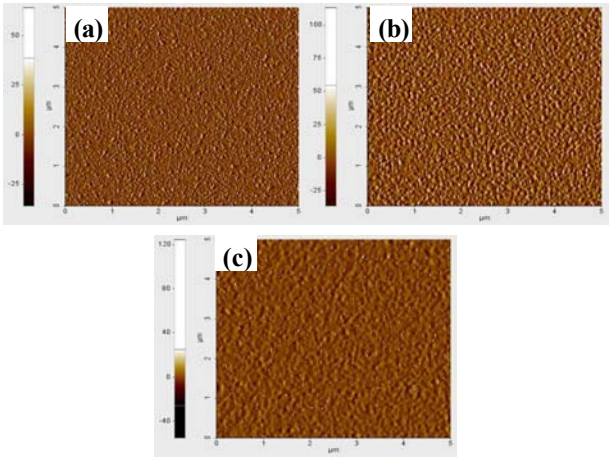

Fig. 1. AFM of SBN thin film with deposition temperature. (a) 200℃, (b) 300℃, and (c) 400℃.

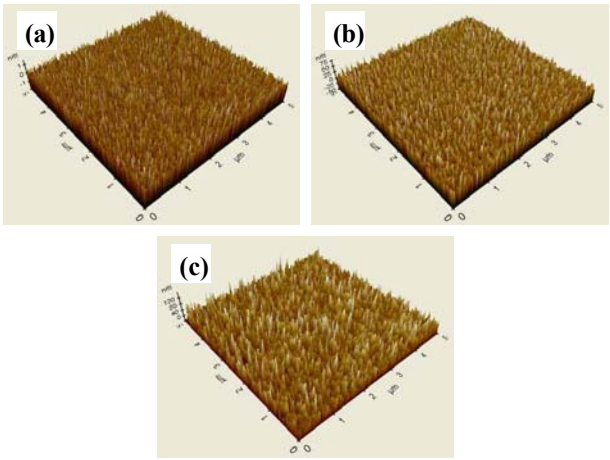

Fig. 2. AFM of SBN thin films with annealing temperature(Furnace). (a) 500℃, (b) 600℃, and (c) 700℃.

증착 온도 300℃에서는 표면의 거칠기가 5.64 nm에서 4.33 nm으로 감소하여 매끄러운 표면을 나타냄을 확인하였다. 이것은 증착 시 증착 온도가 증가함에 따라 원자의 이동에 필요한 열에너지를 받음으로써 보다 안정된 표면 에너지를 가지기 때문으로 사료된다. 하지만 400℃에서는 6.04 nm로 다시 거칠기가 상승하는 경향을 나타내었다. 이것은 고온에서 입자가 과성장함으로써 박막 전체의 표면 균일성이 떨어지기 때문으로 사료된다 [3].

그림 2는 SBN 박막의 표면 거칠기를 조사하기 위하여 300℃로 증착 후 전기로에서 열처리한(500~700℃)

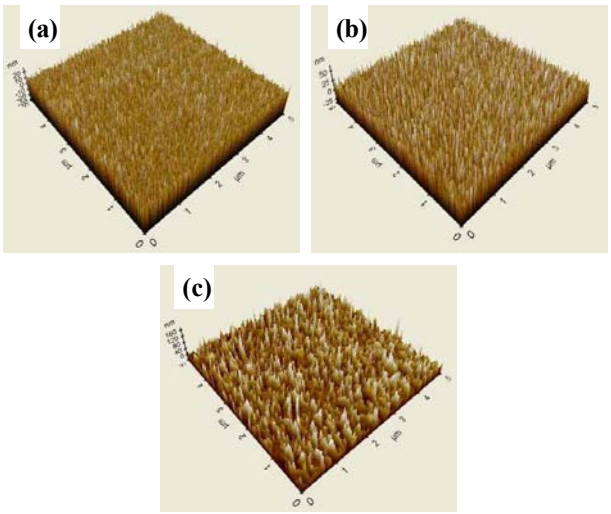

Fig. 3. AFM of SBN thin films with annealing temperature(RTA). (a) 500℃, (b) 600℃, and (c) 700℃.

AFM을 나타낸 것이다. 열처리 온도 600℃에서는 표면의 거칠기가 5.70 nm에서 2.42 nm으로 감소하여 아주 매끄러운 표면을 나타냄을 확인하였다. 이는 증착 온도가 증가할 때와 마찬가지로 열처리 온도가 증가함에 따라 열에너지를 보상 받음으로써 보다 안정된 표면 에너지를 가지기 때문이라 사료된다 [6]. 하지만 700℃ 이상에서는 입자가 과성장함에 따라 다시 거칠기가 상승하는 경향을 나타내었다.

그림 3은 SBN 박막의 표면 거칠기를 조사하기 위하여 300℃로 증착 후 RTA(500~700℃)로 열처리한 AFM를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 표면의 거칠기가 3.73 nm에서 7.92 nm으로 증가함을 알 수 있었다. 이것은 열처리 온도가 증가함에 따라 원자의 이동에 필요한 열에너지를 얻게 되어 입자가 성장함으로 인하여 박막 전체의 표면 균일성이 저하되어지는 것으로 사료된다 [3,6].

그림 4는 전기로에서 열처리(500~700℃)한 SBN 박막의 주파수 증가에 따른 정전용량 밀도와 유전손실을 나타낸 것이다. 각 열처리 온도에서 주파수(1~1,000 kHz)가 증가함에 따라 정전용량 밀도는 거의 일정한 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 만약 백금 전극이 잘 형성되지 않아 접촉부에서의 저항률이 크면 주파수가 증가함에 따라 정전용량 밀도가 감소하게 된다. 이러한 경우 전극의 저항이 박막의 고주파 응답을 제한하는 요소로 작용하게 된다 [5]. 또한, 정전용량 밀도는 주파수 범위(1~1,000 kHz)에서 열처리 온도가 증

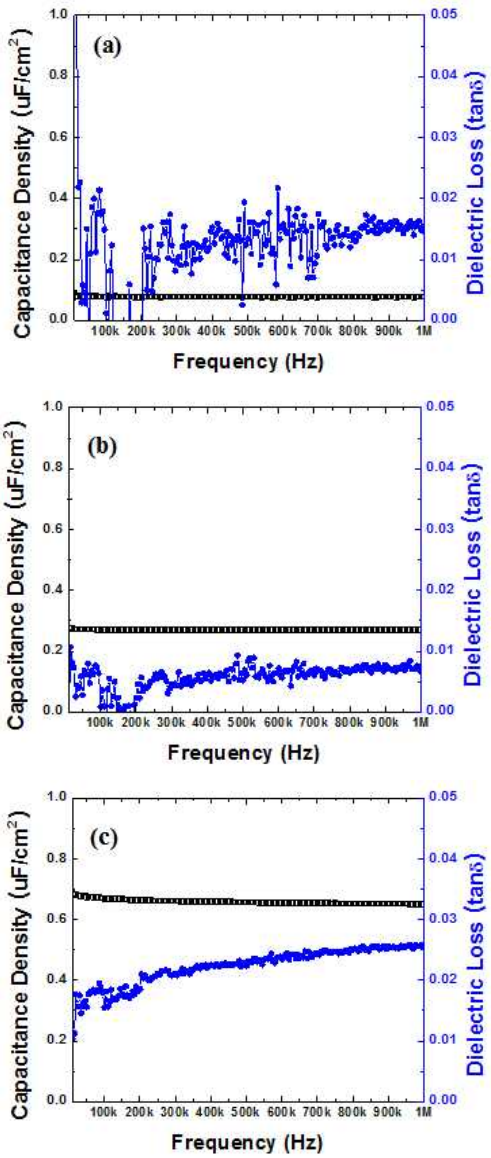

Fig. 4. Frequency dependence of capacitance density and dielectric loss of SBN thin film with annealing temperature(Furnace). (a) 500℃, (b) 600℃, and (c) 700℃.

가함에 따라 증가하였고, 열처리 온도 700℃에서는 정전용량 밀도가 약 0.7 μF/㎠으로 크게 나타남을 알 수 있었으며, 유전손실은 0.03 이하로 나타났다.

그림 5는 RTA(500~700℃)에서 각각 열처리한 SBN 박막의 주파수 증가에 따른 정전용량 밀도와 유전손실을 나타낸 것이다. 각 열처리 온도에서 주파수(1~1,000 kHz)가 증가함에 따라 정전용량 밀도는 거의 일정한 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.

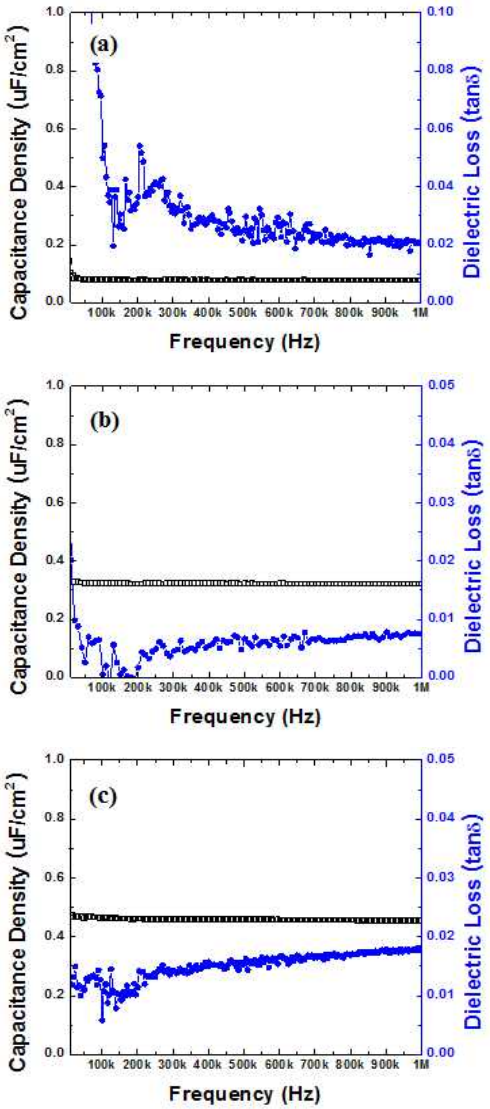

Fig. 5. Frequency dependence of capacitance density and dielectric loss of SBN thin film with annealing temperature(RTA). (a) 500℃, (b) 600℃, and (c) 700℃.

또한, 정전용량 밀도는 주파수 범위(1~1,000 kHz)에서 열처리 온도가 증가함에 따라 약간씩 증가하였고, 특히 열처리 온도 700℃에서는 정전용량 밀도가 0.48 μF/㎠으로 나타남을 알 수 있었고, 유전손실은 0.02 이하로 안정된 값을 얻었다 [7,8].

4. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링법으로 SBN 박막을 증착하여 AFM 및 C-F 특성에 대하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 증착 온도에 따른 SBN 박막의 표면 상태는 증착 온도 300℃에서는 표면 거칠기가 4.33 nm으로 매끄러운 표면을 나타내었지만 400℃에서는 6.04 nm로 다시 거칠기가 상승하는 경향을 나타내었다.

(2) 열처리 온도 600℃에서 전기로와 RTA의 표면의 거칠기는 각각 2.42 nm와 3.73 nm이었으며, 700℃ 이상에서는 다시 거칠기가 상승하는 경향을 나타내었다.

(3) 전기로에서 열처리한 SBN 박막은 주파수가 증가함에 따라 정전용량 밀도는 거의 일정한 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한, 정전용량 밀도는 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였고, 열처리 온도 700℃에서는 정전용량 밀도가 약 0.7 μF/㎠으로 크게 나타남을 알 수 있었고, 유전손실은 0.03 이하로 안정된 값을 얻었다. RTA에서 열처리한 SBN 박막의 정전용량 밀도와 유전손실은 열처리 온도 700℃에서 각각 0.48 μF/㎠와 0.02 이하로 안정된 값을 나타내었다.

이와 같은 결과로부터 같은 온도에서 RTA보다 전기로에서 열처리한 SBN 박막의 표면이 더욱 매끄러웠으며, 정전용량 밀도도 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 세한대학교 교내연구비 지원에 의하여 씌여진 것임.

REFERENCES

[1] T. K. Song, J. K. Lee, and H. J. Jung, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3839 (1996). [DOI:http://dx.doi.org/10.1063/1.117122]

[2] C. Bedoya, Ch. Muller, F. Jacob, Y. Gagou, M. A. Fremy, and E. Elkaim, *J. Phys.*, **14**, 11850 (2002).

[3] J. S. Kim, W. S. Choi, and C. H. Kim *Trans. KIEE,* **58**, 546 (2009).

[4] K. Saito, M. Mitsuya, N. Nukaga, I. Yamaji, T. Akai, and H. Funakubo, *J. Appl. Phys.*, **39**, 5489 (2000). [DOI: http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.39.5489]

[5] J. S. Kim, *Trans. KIEE,* **59**, 1085 (2010).

[6] J. S. Kim, *Trans. KIEE,* **59**, 1084 (2010).

[7] J. H. Lee, J. H. Koh, S. M. Koo, and B. M. Moon, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **12**, 167 (1999).

[8] J. S. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 929 (2012).