

SBNO 박막의 특성에 미치는 RTA 영향

김진사^{1,a}

¹ 조선이공대학교 메카트로닉스과

Effects of RTA on the Properties of SBNO Thin Film

Jin-Sa Kim^{1,a}

¹ Department of Mechatronics, Chosun Colleng of Science & Technology, Gwangju 501-744, Korea

(Received October 5, 2012; Revised October 10, 2012; Accepted October 12, 2012)

Abstract: The $\text{Sr}_{0.7}\text{Bi}_{2.3}\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBNO) thin films were deposited on Si substrate by RF magnetron sputtering method at 300°C of substrate temperature. And the SBNO thin films were annealed at 650~800°C using RTA (rapid thermal annealing). The grain of SBNO thin films were increased with the increase of annealing temperature. The dielectric constant (100) of SBNO thin film was obtained by RTA above 750°C. The voltage dependence of dielectric loss showed a value within 0.03 in voltage ranges of -5~+5 V. Also, the dielectric constant characteristics showed a stable value with the increase of frequency.

Keywords: Sputtering, Dielectric constant, Dielectric loss, RTA

1. 서론

최근 전기전자 회로 소자의 소형화가 빠르게 진행되고 있으며, 이러한 과정에서 세라믹 박막은 경박 단소화의 요구에 부응할 뿐만 아니라 세라믹 벌크형에서는 가질 수 없는 독특한 열적 및 전기적인 우수한 특성을 가진다. 또한 정보화 산업의 급속한 발전과 더불어 전기전자 부품의 소형화, 다기능화 및 집적화가 급속하게 진행되고 있다. 현재 사용되고 있는 메모리 소자 응용에는 DRAM 및 FRAM 등이 있으며, 이들은 휘발성 메모리와 비휘발성 메모리로 구분된다. 휘발성 메모리인 DRAM은 단위 셀 (unit cell)을 하나의 트랜지스터와 하나의 캐패시터로 구성할 수 있어서 고집적화가 가능하고 동작 속도가 빠르며 기록가능 횟수에 거의 제약이 없는 등 여러 가지 장점 때문에 가장 대표적인 메모리 소자로 알려져 있지만 휘발성 메모리이기 때문에 문제가 생긴다. 그래서

최근에는 전원의 공급이 없어도 데이터가 손상되지 않은 비휘발성 메모리로서 FRAM이 각광을 받고 있으며, FRAM은 비휘발성 특성과 더불어 빠른 동작속도 및 10^{12} 이상의 기록가능 횟수 등의 장점이 있어서 컴퓨터 주변기기, 정보통신기기 및 ID 카드 등 여러 가지 용도로 사용이 가능하다 [1]. 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. 그 중에서도 FRAM용 유전체 박막재료로 가장 널리 알려진 재료는 PZT계 재료이며, PZT 박막은 유전율이 높고 항전력이 작으며 잔류 분극량이 크기 때문에 비휘발성 재료로 적합한 특성을 가지고 있으나 누설전류가 크고 절연과피 전압이 낮으며 잔류분극이 방치 시간 및 스위칭 횟수에 따라 감소하는 노화와 피로현상이 발생하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 크게 개선한 비스무스계 박막인 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBNO)

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

과 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBTO)는 기존의 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ (PZT)에 비해 누설전류를 방지할 수 있어서 많은 관심을 받고 있다 [2]. 또한 비스무스 산화물층이 완충층 역할을 하여 피로특성이 우수하다고 알려져 있으며, 동작전압이 작고 고집적화에 유리한 특성을 가지고 있다. 한편 SBTO는 공정온도가 800°C 이상으로 기존의 반도체 라인을 이용하기가 어려워, 이보다는 결정화온도가 낮은 SBNO 박막이 차세대 유전체 박막 재료로 많은 관심이 모아지고 있다 [3].

따라서 본 연구에서는 RF magnetron sputtering 방법을 이용하여 Si 기판 위에 SBNO 박막을 증착한 후, RTA (rapid thermal annealing)가 SBNO 박막의 특성에 미치는 유전상수와 유전손실에 대한 전압과 주파수 의존성의 대하여 고찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 $\text{Sr}_{0.7}\text{Bi}_{2.3}\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBNO) 세라믹 타겟을 만들어 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 기판온도 300°C 에서 60분 동안 증착한 후, RTA로 $650\sim 800^\circ\text{C}$ 로 열처리하였다. 실험에 사용된 기판은 실리콘 웨이퍼 위에 Pt/Ti/SiO₂를 증착하여 사용하였으며, 사양은 SiO₂-3,000 Å, Ti-100 Å, Pt-1,500 Å 등이다. 실리콘 웨이퍼는 $10\times 10\text{ mm}^2$ 로 절단하여 초음파 세척함으로써 표면에 잔류하는 불순물을 완전히 제거하였으며, 증착 시 SBNO 박막에 대한 스퍼터링 조건을 표 1에 나타내었다. 상부전극은 DC 스퍼터링법을 이용하여 직경 $300\ \mu\text{m}$ 로 백금 (Pt)을 2,000 Å의 두께로 증착하여 사용하였다.

Table 1. Sputtering conditions of SBNO thin films.

Target(2 inch)	$\text{Sr}_{0.7}\text{Bi}_{2.3}\text{Nb}_2\text{O}_9$ (SBNO)
Substrate	Pt/Ti/SiO ₂ /Si(100)
Base pressure	2×10^{-6} Torr
Working pressure	5.5×10^{-3} Torr
RF power	70 W
Gas flow ratio(Ar/O ₂)	70 / 30
Substrate temperature	300°C
Deposition time	60 min
Substrate rotation speed	10 rpm

RTA한 SBNO 박막에 대한 결정립의 크기를 관찰하기 위하여 주사전자 현미경 (SEM)을 이용하여 관찰하였고, 박막의 두께는 α -step를 사용하여 측정하였다. 또한 RTA된 시편의 유전상수 및 유전손실의 측정은 Impedance Analyzer 4294 A를 사용하였고, 유전상수의 주파수 특성은 1 Hz ~1 MHz의 주파수 범위에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 SBNO 박막을 RF power 70 W, 기판온도 300°C 에서 60분 간 증착한 후 RTA ($650\sim 800^\circ\text{C}$)로 각각 1분 동안 열처리하여 관찰한 미세구조를 나타내었다. RTA가 증가함에 따라 grain의 크기가 점차 성장됨을 알 수 있었으며, 특히 RTA 750°C 이상에서는 grain의 크기가 크고 뚜렷하게 성장됨을 확인할 수 있었지만, 800°C 에서는 입자가 아주 크게 성장되었으며 박막의 여러 곳을 관찰한 결과 약간의 미세 크랙이 보였다. 이러한 미세 크랙은 SBNO 박막과 증착시 기판으로 사용된 Si의 열팽창 계수 차이로 인하여 RTA된 박막이 고온에서 상온으로 냉각될 때 열팽창 계수 차이에 의한 스트레스 (stress)가 야기되어 박막 내에 미세 크랙이 생기는 것으로 사료된다 [4].

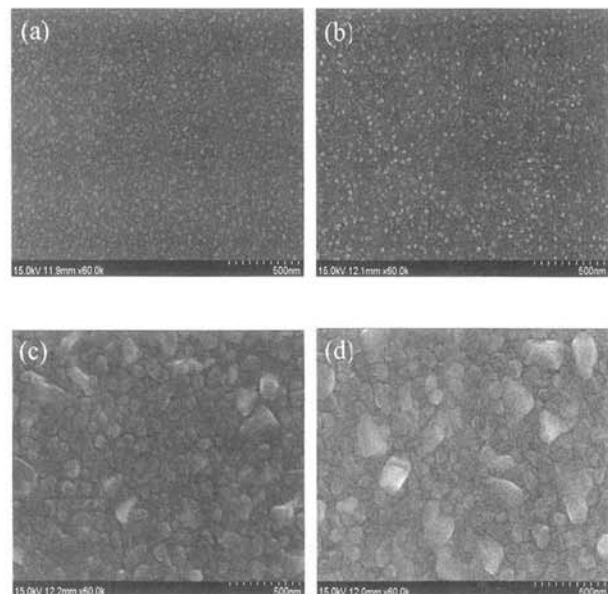


Fig. 1. SEM images of SBNO thin films with RTA. (a) 650°C , (b) 700°C , (c) 750°C , (d) 800°C .

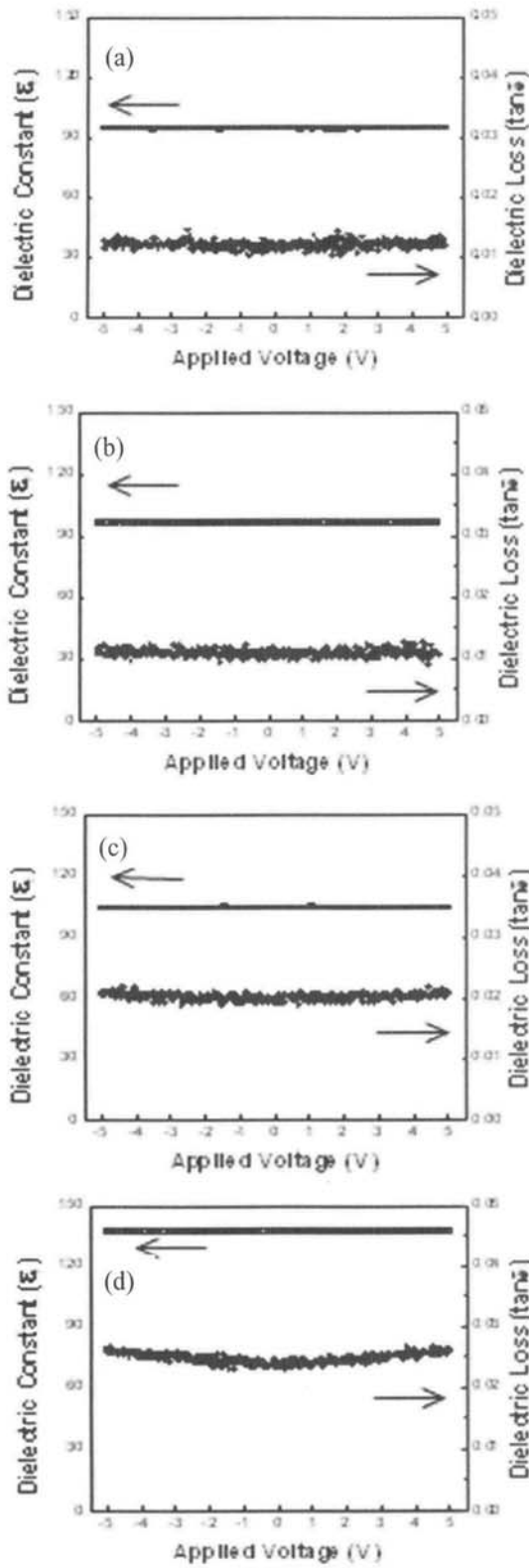


Fig. 2. Voltage dependence of dielectric constant and loss of SBNO thin film with RTA. (a) 650°C, (b) 700°C, (c) 750°C, (d) 800°C.

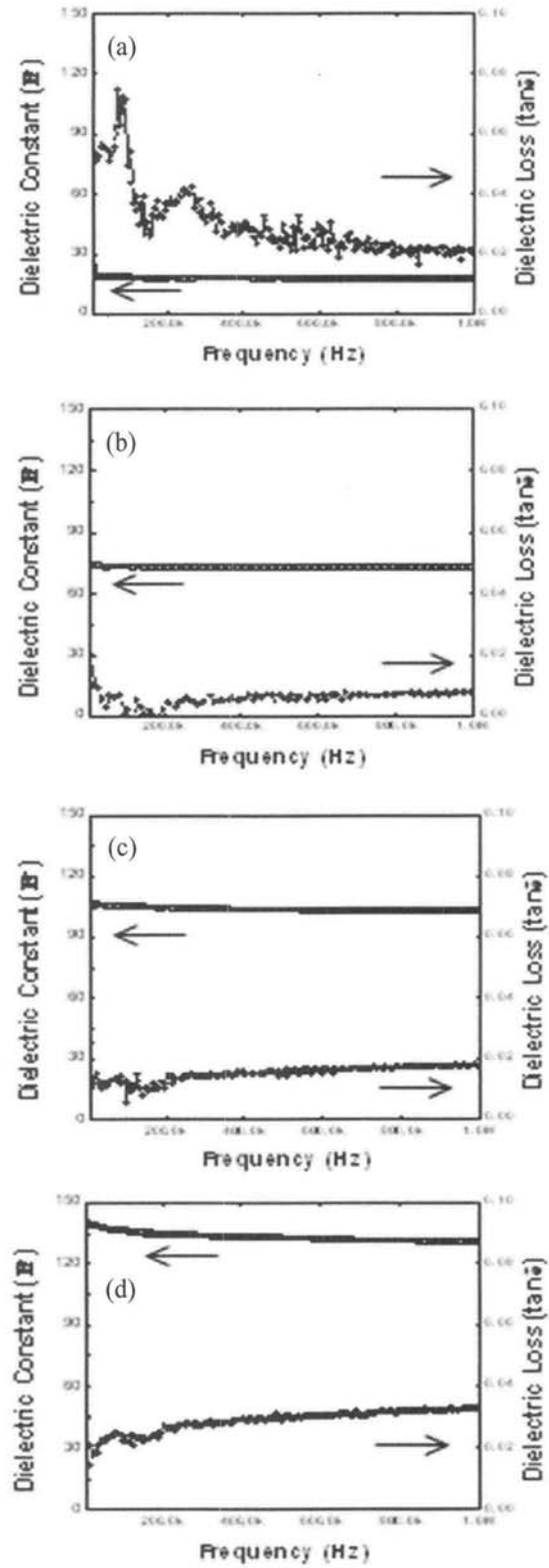


Fig. 3. Frequency dependences of dielectric constant and loss of SBNO thin film with RTA. (a) 650°C, (b) 700°C, (c) 750°C, (d) 800°C.

그림 2는 RF power를 70 W, 기판온도 300°C에서 60분 간 증착한 후 RTA (650~800°C)로 각각 열처리한 SBNO 박막의 유전상수 및 유전손실의 전압의존성을 나타내었다. 측정전압 -5~+5 V에서 유전상수는 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였고, RTA 750°C 이상에서는 유전상수가 100 이상으로 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 현상은 증착 후 박막 내에 존재하는 비정질 구조가 RTA에 의해서 결정화가 되었기 때문이다. 또한 모든 SBNO 박막의 유전손실은 약 0.03 이하로 아주 양호한 값을 얻을 수 있었다. 이와 같은 유전손실을 나타내는 원인은 여러 가지가 있으나 다결정 구조를 갖는 SBNO 박막에 있어서는 내부 변형력과 같은 결정의 불안정성, 불순물 및 격자결함 등을 들 수 있다. 따라서 SBNO 박막에서도 산화층이 RTA가 높아짐에 따라 유전층의 두께를 감소시키는 결과를 초래하여 유전상수는 증가되고 유전손실은 안정된 값을 유지하는 것으로 생각된다 [5,6].

그림 3은 RF power를 70 W, 기판온도 300°C에서 60분 간 증착한 후 RTA (650~800°C)에서 각각 열처리한 SBNO 박막의 주파수 증가에 따른 유전상수와 유전손실을 나타내었다. 각 RTA에서 주파수가 1 MHz 까지 증가함에 따라 유전상수는 거의 일정한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이와 같이 주파수의 영향이 작은 것은 좋은 전기적인 성질의 박막이 만들어졌음을 의미한다. 만일 SBNO 박막의 전극이 잘 형성되지 않아서 접촉부에서 저항률이 크면 주파수가 증가함에 따라 유전상수가 감소하게 된다. 이러한 경우 전극의 저항이 박막의 고주파 응답을 제한하는 요소로 작용하게 된다 [5,7].

또한 유전상수는 RTA가 증가함에 따라 상승하였고, 열처리 온도 750°C 이상에서는 유전상수가 100 이상으로 크게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

RTA가 증가함에 따라 grain의 크기가 점차 성장됨을 알 수 있었으며, 특히 RTA 750°C 이상에서는 grain의 크기가 크고 뚜렷하게 성장됨을 확인할 수 있었다. 측정전압 (-5~+5 V)에서 유전상수는 RTA가 증가함에 따라 증가되었고, RTA 750°C 이상에서는 유전상수가 100 이상으로 크게 상승됨을 알 수 있었다. 또한 각 RTA에서 주파수가 증가함에 따른 유전상수는 거의 일정한 값을 나타내었고, 유전손실의 주파수 특성은 약 0.03 정도의 아주 안정된 값을 얻었다.

REFERENCES

- [1] K. Saito, M. Mitsuya, N. Nukaga, I. Yamaji, T. Akai, and H. Funakubo, *J. Appl. Phys.*, 39, 5489 (2000).
- [2] C. Bedoya, C. Muller, F. Jacob, Y. Gagou, and E. Elkaim, *J. Phys.*, 14, 11849 (2002).
- [3] J. S. Kim and C. H. Kim, *J. KIEEME*, 22, 671 (2009).
- [4] J. S. Kim, *Trans. KIEE*, 58, 539 (2009).
- [5] J. S. Kim, *Trans. KIEE*, 59, 1085 (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).