Journal of the Korean Vacuum Society
Vol.11, No.3, 2002, pp.135～140

기판에 따른 BST 박막의 전기적 특성에 관한 연구

이태일† · 최명률 · 박인철 · 김홍배*

청주대학교 전자공학과, *청주대학교 정보통신공학부

(논문접수일 : 2001년 7월 6일)

Study on electrical properties of BST thin film with substrates

Tae-Il Lee†, Cui minglu, Myung-Ryul Choi, In-Chul Park, and Hong-Bae Kim*

Department of Electronic Engineering, Chongju University
**School of Computer & Communication Engineering, Chongju University*

(Received July 6, 2002)

요 약

본 논문에서는 p-type (100)Si, (100)MgO 그리고 MgO/Si 기판 위에 RF Magnetron sputtering 법으로 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST)박막을 증착하였다. BST 박막 증착 후 RTA(Rapid Thermal Annealing)를 이용하여 600℃에서 산소분위기로 1분간 고온 급속 열처리를 하였다. 증착된 BST 박막의 결정화를 조사하기 위해 XRD(X-Ray Diffraction) 측정을 한 결과 모든 기판에서 (110) $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$의 주피크가 관찰되어졌고, 열처리 후 재결정화에 기인하여 피크 세기가 증가함을 관찰할 수 있었다. Al 전극을 이용한 커패시터 제작 후 측정한 C-V(Capacitance-Voltage) 특성에서 각각의 기판에서 측정된 커패시턴스 값으로 계산된 유전율은 120(bare Si), 305(MgO/Si) 그리고 310(MgO)이었다. 누설 전류 특성에서는 0.3 MV/cm이내의 인가전계에서 1 uA/cm^{2}이하의 안정된 값을 보여주었다. 결론적으로 MgO 버퍼층을 이용한 기판이 BST 박막의 증착을 위한 기판으로써 효과적임을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, We deposited the BST thin-film on p-type (100)Si, (100)MgO and MgO/Si substrates respectively using RF magnetron sputtering method. After the BST thin-fil m was deposited, we performed RTA(rapid thermal anneal) at 600℃, oxygen atmosphere and 1 min. In the XRD measurement, we observed the (110)$Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ main peak in all samples and the peak intensity increased after post annealing. Then we manufactured a capacitor using Al Electrode and measured I-V, C-V. In C-V measurement result values for each substrate, dielectric constant was calculated 120 (bare Si), 305(MgO/Si), 310(MgO) respectively. A leakage current density was present less than 1 μA/cm^2 at applied fields below 0.3 MV/cm. In conclusion we confirmed that MgO/Si substrates give good results for BST thin-film deposition.

1. 서 론

최근 강유전체 물질은 DRAM이나 FeRAM과 같은 메모리용 소자에서부터 도파관(waveguide), 공진기(resonator), phase shifter와 같은 고주파 통신용 소자까지 여러 분야에 걸쳐 연구되고 있다. 그리고 미국과 일본과 같은 선진국에서는 차세대 첨단 소자 개발용 재료로까지 거론되고 있어 이에 대한 관심은 대단히 고조되고 있다 [1]. 이와 같이 연구되고 있는 강유전체 물질로는 대표적으로 BST($Ba_xSr_{1-x}TiO_3$),

† E-mail : taeillee@chongju.ac.kr

PZT($PbZr_xTi_{1-x}O_3$), SBT($SrBi_2Ta_2O_9$) 등이 있다 [2].

강유전체 물질을 bare Si 기판위에 증착하면 기판과 강유전체 박막사이에서의 확산 등의 계면반응이 일어나서 이를 억제하기 위하여 단일 Si 기판 대신에 $Ti/SiO_2/Si$나 $Pt/Ti/SiO_2/Si$와 같은 확산방지막(diffusion barrier)를 사용한 다층기판(multi-layer substrate)을 사용하여 강유전체 박막을 형성하여왔다. 그리고 이와 같은 기판을 이용한 MFM(Metal-Ferroelctric-Metal) 구조의 커패시터에서 전극으로 사용하는 Pt는 noble metal과 에칭공정 등의 이유로 RuO_2나 IrO_2와 같은 산화물 전극으로 대체되고 있다 [3-4]. 그리고 기존의 고주파 통신용 소자에 사용되는 강유전체의 경우 세라믹 형태로 제조되고 있어 이를 박막화하여 소자의 부피 및 크기를 감소시키면서 기존의 특성을 유지 또는 향상하려 하고있다. 이를 위해 단일 기판 또는 단일 버퍼층을 사용한 기판 위에 제특성을 가질 수 있는 강유전체 박막을 형성하려는 연구가 진행되고 있다.

강유전체 박막을 증착시키는데 사용되는 단일 기판으로는 대표적으로 $SrTiO_3$(STO), $LaAlO_3$(LAO), MgO [5]등이 있으나 이들 산화물 기판들은 Si 기판과 비교할 때 가격면에서 고가이기 때문에 양산에 적합하지 않다. 그래서 Si 기판위에 단일 버퍼층을 이용하여 강유전체를 증착하려는 시도를 하고있는데, 이런 완충층 물질로 제안되고 있는 것들은 MgO, YSZ (yttria-stabilized zirconi a), CeO_2, TiN 등이 있고 [6-7], 이들 재료 중 특히 MgO는 화학적으로 안정하여 Si와 강유전체 박막 사이의 상호확산과 같은 반응을 억제할 수 있는 확산방지막 역할을 할 수 있으며, 구조적으로도 산화물 강유전체 결정구조인 페로브스카이트 구조를 가지면서 격자상수가 비슷하여 강유전체 박막의 증착을 위한 완충층 재료로서 가장 유망한 물질로 보고 있다 [8].

따라서 본 논문에서는 p-type (100)Si, (100) MgO 그리고 MgO/Si 기판에 각각 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ 박막을 증착하여 기판에 따른 BST 박막의 구조적 특성과 BST 박막을 이용한 커패시터를 제작하여 전기적 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

먼저 Si 기판은 직경이 4인치인 p-type (100) Si 웨이퍼를 10 mm×10 mm 크기로 절단한 다음 초음파세척, 자연 산화막 제거를 위한 2.5%의 HF용액에 30초동안 dipping 그리고 금속 이온 제거를 위한 20분동안 HCl과 NH_4OH boiling 등의 교체 유기세척을 시행하였다. 그리고 단결정 (100) MgO 기판은 10 mm ×10 mm×0.5 mm(가로×세로×두께)의 크기로 제조된 것을 구입하여 초음파 세척과 아세톤 boiling의 유기세척만 한 뒤 증착 준비를 하였다.

Si 기판과 BST 박막사이의 완충층인 MgO 박막은 RF magnetron sputtering 법을 사용하여 1시간동안 증착하였다. 이 때 증착 조건은 순수 아르곤의 작업가스에서 50 W의 RF Power와 상온의 기판온도로 해주었다. BST 박막의 증착은 (100)Si, (100)MgO, MgO/Si의 세 가지 기판 위에 RF magnetron sputtering 법으로 2시간동안 증착하였다. BST 박막의 증착 조건은 $Ar:O_2$= 80:20의 작업가스비, 50 W의 RF Power 그리고 상온의 기판온도로 해주었다. 전체적인 공정에 대한 순서는 그림 1에 나타내었고, MgO 박막과 BST 박막의 증착 조건은 표 1에 자세히 나타내었다.

각각의 기판에 BST 박막을 증착한 후 고온급속열처리를 위해 RTA(Rapid Thermal Anneal)를 이용하여 600℃, 산소분위기에서 1분간 열처리를 하였다. 그리고 BST 박막의 열처리 후 열처리 전 · 후의 결정화도를 알아보기 위해 Philips사의 X'pert를 이용하여 XRD(X-Ray diffraction) 측정을 하였다. 그리고 박막 표면의 상태를 알아보기 위해 SEM(Scanning

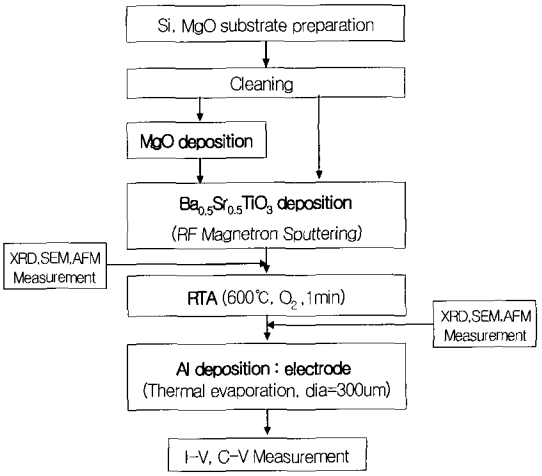


그림 1. 전체적인 공정 순서도.

표 1. MgO 박막과 BST($Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$)박막의 증착 조건.

Thin-film		MgO	BST($Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$)
Substrate		Si	Si, MgO, MgO/Si
Target		MgO - Size : 3 inch - Thickness : 0.25 inch - Purity : 99.95%	$Ba_{0.5}Sr_{0.5}Ti_{O3}$ - Size : 3 inch - Thickness : 0.25 inch - Purity : 99.95%
Pressure	Base	less than 2.0×10^{-6} Torr	
	Working	1.0×10^{-2} Torr	
Working Gas Ratio(Ar:O_2)		Ar : O_2 = 80 : 20	
RF Power		50 W	
Substrate Temperature		R.T.	
Deposition Time	pre	< 10 min	< 20 min
	woking	1 hours	2 hours

Electron Microscopy)과 AFM(Atomic Force Microacopy) 측정을 하였다.

또한 전기적 특성을 조사하기 위해 각각의 기판을 이용한 BST 박막 커패시터를 제작하였다. 여기서 상·하부 전극용 물질은 Al을 사용하였고, thermal evaporator를 이용하여 증착하였다. 제작된 커패시터는 Al/BST/Si/Al 구조를 갖는 MFS(Metal-Ferroelectric-Semicductor)형, Al/BS T/MgO/Si/Al 구조를 갖는 MFIS (Metal-Ferroel ectric-Insulator-Semiconductor)의 구조를 가졌다. 이후에 내용에서는 사용된 기판에 따라 sam ple 1(Si), sample 2(MgO), sample 3(MgO/Si)로 부르기로 한다.

전기적 특성을 조사하기 위해 제작된 커패시터를 이용하여 C-V(Capacitance-Voltage), I-V(Current-Voltage) 측정을 하였다. C-V 측정은 HP4192A(Semiconductor Impedance analyzer)를 이용하여 1 MHz의 spot frequency에서 -5 V~5 V까지의 인가전압 범위와 0.02 V의 step으로 측정하였다. I-V 측정은 HP4145B(Semi cductor parameter analyzer)로 0~5 V의 범위에서 0.01 V의 step으로 측정하였다.

3. 실험결과

그림 2에서는 각각의 기판에 증착되어진 BST 박막의 열처리 전·후의 XRD 패턴을 보여주고있다. 측정 결과 모든 샘플에서 (110) $Ba_{0.5}Sr_{0.5}$ TiO_3 피크만이 관찰되었고 제2상의 피크는 (111) BST만이 관찰었다. 그리고 열처리 후의 피크 세기가 증가 하였는데, 이는 열처리 과정에서 박막내 원자의이동(migration)이 결정화에 기인한 것으로 보여진다.

C-V 측정에서 얻어진 커패시턴스 값으로 계산된 BST 박막 커패시터의 유전상수는 각각 120, 310, 305 이었다. 그리고 RT66A를 이용한 강유전체 히스테리시스 특성 측정에서는 sample 3에서 1.6 $\mu C/cm^2$의 잔류분극(2Pr) 값을 나타내었다. 그림 3에 보여진 누설 전류 특성에서는 모든 샘플에서 0.3 MV/cm이하의 인가전계에서 1 $\mu A/cm^2$이하의 양호한 누설 전류 값을 보여주었다.

마지막으로 증착된 박막의 표면 상태를 조사하기위한 SEM과 AFM 측정에서는 Si 기판을 이용한 BST 박막만이 결정립이 구분하기 힘든 그레인 형태를 나타내었고(그림 4), 표면 거칠기(roughness)의 비교에서도 Si 기판을 이용한 BST 박막이 격자 불일치와 계면 문제로 인하여 가장 높은 평균 두께차이를 보여주었다(그림 5).

4. 결 론

본 논문에서는 (100)Si, (100)MgO, MgO/Si 기판을 이용하여 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ 박막을 RF magnetron sputtering 법으로 각각 증착하였다. BST 박막 증착 후 RTA를 이용하여 600℃, 산소 분위기에서 1분동안 열처리를

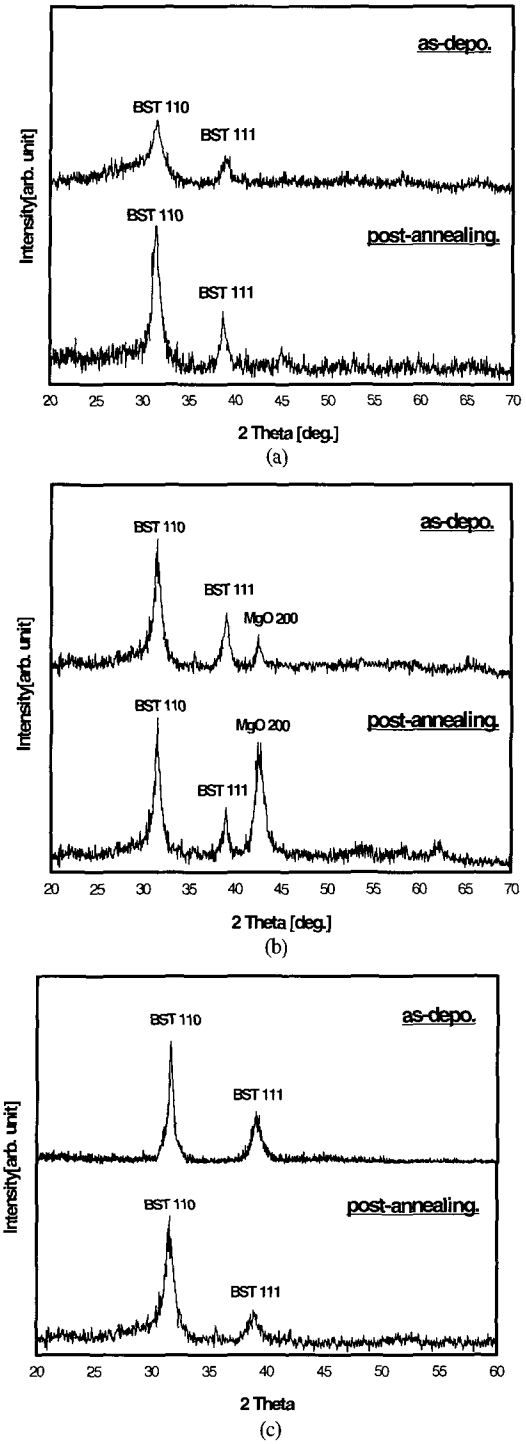


그림 2. 열처리 전 · 후의 각 기판에 따른 XRD 회절 패턴 (a) BST/Si(sample 1) (b) BST/MgO(sample 2) (c) BST/MgO/Si(sample 3).

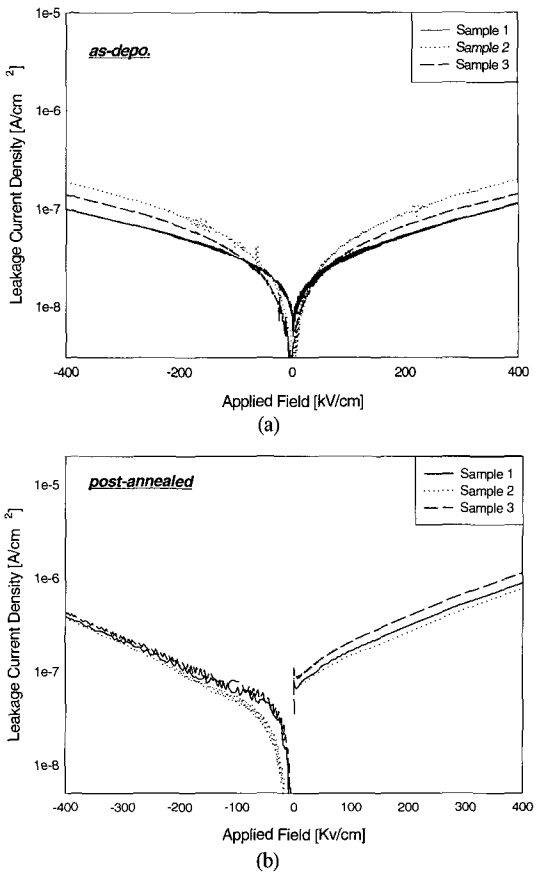
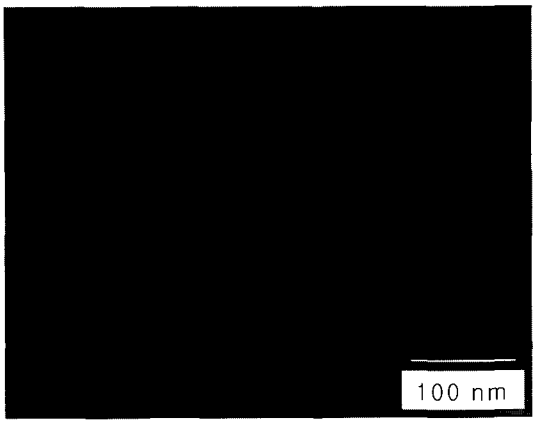


그림 3. 누설 전류 특성 (a) 열처리 전 (b) 열처 리 후.

해주었다. 열처리 후 박막의 결정 성장을 조사하기 위해 XRD 측정을 한 결과 모든 샘플에서 (110) $Ba_{0.5}Sr_{0,5}TiO_3$과 (111) $Ba_{0.5}Sr_{0,5}TiO_3$ 피크만이 관찰되어졌고, 열처리 후의 샘플에서는 피크 세기가 다소 증가하는 현상을 보여주었다. 이와 같으로 결과로 전형적인 강유전체 특성인 a축 배향성이 우세한 박막으로 성장되었다고 판단된다. 그리고 C-V 측정 결과의 커패시턴스 값을 이용한 유전 상수는 120(sample 1), 310(sample 2) 그리고 305(sample 3)를 나타내었다. 그리고 sample 3의 P-E 측정 결과 1.6 μC /cm^2의 잔류분극(2Pr) 값을 나타내었다. 누설 전류 밀도 특성은 모든 샘플에서 인가전계 0.3 MV/cm이하에서 1 μA/cm^2이하의 양호한 값을 보여주었다.

결론적으로 MgO 완충층을 사용한 기판이 BST 박막을 증착하는데 효과적임을 확인할 수 있었다.

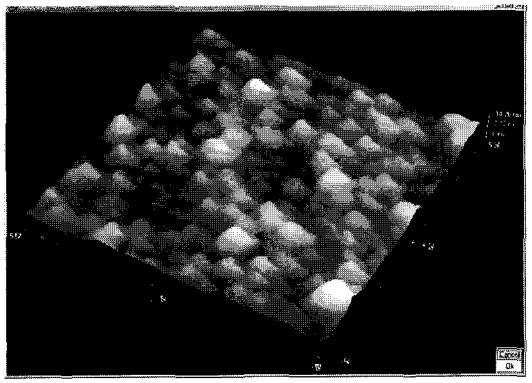


(a) BST/Si

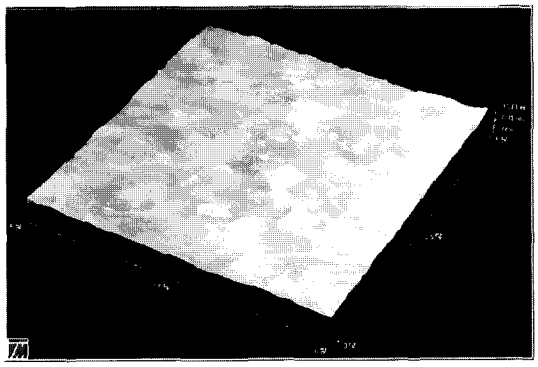
(b) BST/MgO

(c) BST/MgO/Si

그림 4. 열처리 후의 BST 박막의 표면 사진.



(a) BST/Si



(b) BST/MgO/Si

그림 5. BST 박막의 AFM 측정 사진

감사의 글

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] J. F. Scott, *Ferroelectric Memories* (Springer, 2000). p.3.

[2] P. C. Fazen, Integrated Ferroelectrics **4**, 247 (1994).

[3] H. N. Al-Shareef, K. R. Bellur, O. Auciello and A. I. Kingon. Thin Solid Films **256**, 73 (1995).

[4] K. Aoki, Y. Fukuda, K. Numata and A. Nis himura, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, 5250 (1995).

[5] B. S. Kwak, E. P. Boyd, K. Zhang, A. Erbil and B. J. Wilkens, Appl. Phys. Lett. **54** (25) 2542

(1989).

[6] V. Chivukula, J. Ilowski, I. Emesh, D. McDonald, P. Leung, and M. Sayer, Inter. Ferroelectr. **10**(1-4), 247 (1996).

[7] K. R. Carroll, J. M. Pond, D. B. Chrisey, J. S. Horwitz, R. E. Leuchtner, Appl. Phys. Lett. **62** 1845 (1993).

[8] M. Y. Yamanaka, M. Tazoe, Y. Nezawa, A. Morimota and T. Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, 5154 (1995).