

작업가스비에 따른 BST 박막의 특성

최명률*, 권학용*, 박인철*, 김홍배**

*청주대학교 대학원 전자공학과, **청주대학교 이공대학 정보통신공학부

Study on working gas ratio dependance of BST thin film

CUI MING LU*, kwon hak-yong*, Park in-chul*, Kim hong-bae**

*Dept. Electronic Engineering, Chongju University

**Division of Information and Communication Engineering, Chongju University

Abstract

본 논문에서는 완충층용 MgO 박막을 P-type (100)Si 기판위에 작업가스 Ar:O₂=80:20, RF 파워 50W, 기판온도 400°C, 10mtorr의 작업진공에서 500Å 증착하였다. 제작된 MgO/Si 기판위에 RF Magnetron sputtering법으로 작업가스 Ar:O₂의 비율을 90:10, 80:20, 70:30으로 변화하면서 BST(Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃) 박막을 약 2000Å 증착하였다. XRD 측정결과 작업가스비의 변화에 관계없이 (110)BST와 (111)BST 피크만이 관찰되었으며 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 가장 양호한 결정성을 나타내었다. I-V 측정결과 인가전계 ±100kV/cm에서 10⁻⁷A/cm²이하의 양호한 누설전류 특성을 보여주고 있으며 C-V 측정결과 작업가스 Ar:O₂의 비율 90:10, 80:20, 70:30에서의 비유전율은 각각 283, 305, 296으로서 작업가스비 80:20에서 제작된 박막의 특성이 가장 우수하였다. 작업가스비 80:20에서 제작된 박막의 SEM 측정결과 결정이 성장되었음을 확인할 수 있었고 그레인의 크기는 약 10nm였다.

Key Words : Buffer layer, BST, crystalline.

1. 서 론

최근 강유전체 재료를 고주파용 tunable device, 비 휘발성 기억소자, 적외선 센서 등 소자에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2]. 고주파 수동소자의 크기를 작게 하고 큰 동작파워, 안정된 주파수 특성을 갖게 하기 위해서는 유전상수가 크며, 유전손실이 작고, 온도 변화에 따른 그 특성변화가 작은 유전체 재료가 필요하다[3]. 이와 같이 연구되고 있는 대표적인 강유전체 물질로는 BST(Ba_xSr_{1-x}TiO₃), PZT(PbZr_xTi_{1-x}O₃), SBT(SrBi₂Ta₂O₉)등이 있다[4]. 특히 BST는 barium과 strontium의 조성비를 조절하여 BaTiO₃의 높은 유전상수와 SrTiO₃의 낮은 유전손실의 장점을 얻을 수 있어 DRAM, FRAM 및 고주파용 재료로 대두되고 있다.

기존의 고주파 통신용 소자에 사용되는 강유전체의 경우 세라믹 형태로 제조되고 있어 이를 박

막화하여 소자의 부피 및 크기를 감소시키면서 기존의 특성을 유지 또는 향상하려하고 있다. 이를 위해 단일 기판 또는 단일 버퍼층을 사용한 기판위에 강유전체 박막을 형성하려는 연구가 진행되고 있다. 강유전체 박막의 성장은 일반적으로 격자상수나 결정구조가 유사한 LaAlO₃나 MgO[5] 등의 산화물 기판위에 많이 증착되었으나, 이와 같은 산화물 기판은 비교적 고가이기 때문에 소자의 단가를 낮추고 기존의 반도체공정을 이용하기 위해서는 Si기판을 사용할 필요가 있다. 그러나 강유전체 박막을 Si기판위에 직접 성장할 경우 높은 증착온도와 계면에서의 상호확산으로 인하여 강유전체의 물성이 저하된다[6][7].

이런 문제점을 해결하기 위하여 Si기판과 강유전체 박막사이에 완충층(buffer layer)을 삽입하여 상호확산을 제어하면서 우수한 물성의 강유전체 박막을 얻고자 하는 노력이 시도되고 있다. 이런 완충층 물질로는 MgO, YSZ(yttria-stabilized zirconia), CeO₂, TiN 등 물질이 있는데[8][9], 그

중 MgO는 화학적으로 안정하여 Si와 강유전체 박막 사이의 상호확산과 같은 반응을 억제할 수 있는 확산방지막 역할을 할 수 있을 뿐만 아니라 격자상수 및 결정의 대칭성에 있어서도 대부분의 페로브스카이트계 강유전체 박막제조를 위한 효과적인 완충층으로 사용되고 있다[10][11][12][13].

따라서 본 연구에서는 RF magnetron sputtering 법으로 (100)Si기판위에 MgO박막을 500 Å의 두께로 제작한 후 그 위에 작업가스비를 변화하면서 BST 박막을 증착하여 최적의 작업가스비를 확립하였다.

2. 실험

p-type (100)Si 기판에 대하여 유기 클리닝 및 RCA 클리닝을 통하여 유기물 및 자연 산화막을 제거하였다. MgO target은 순도가 99.99%이고 두께가 0.25 inch인 세라믹 target을 사용하였고 BST target은 순도가 99.9%이고 두께가 0.25 inch인 세라믹 target를 사용하였다. RF magnetron sputtering system을 사용하여 Si 기판위에 MgO 박막을 증착하였다. Ar:O₂=80:20의 작업가스비, RF power 50W, 작업진공 10mtorr, 기판온도는 400°C의 증착조건에서 500 Å의 두께로 증착하였다. 제작된 MgO/Si 기판위에 BST 박막을 증착하였다. BST 박막의 증착조건은 RF power 50W, 작업진공 10mtorr, 기판온도는 400°C이고 작업가스 Ar:O₂의 비율을 90:10, 80:20, 70:30으로 변화하였다. BSR 박막은 약 2000 Å의 두께로 제조하였다.

제작된 박막의 결정상을 확인하기 위하여 Philips사의 X'pert를 이용하여 XRD(X-Ray diffraction) 측정을 하였고 SEM(scanning electron microscopy)을 이용하여 박막의 표면특성을 관찰하였다. 전기적 특성 평가를 하기 위하여 제작된 BST/MgO/Si 샘플위에 직경 300um인 Metal shadow mask(dot type)를 이용하여 Al 상부 전극을 증착하였고 하부전극으로는 Al을 기판뒷면에 전체적으로 증착하여 Al/BST/MgO/Si/Al 구조를 갖는 MFIS (Metal-Ferroelectric-Insulator-Semiconductor)의 구조를 가진 커패시터를 제작하였다. HP4145B(Semiconductor parameter analyzer)를 이용하여 I-V 특성을 측정하였고 C-V 측정은 HP4192A(Semiconductor Impedance analyzer)를 이용하여 1MHz의 spot frequency에서 -5 V~5 V까지의 인가전압 범위에서 측정하였다.

3. 실험결과

그림 1은 작업가스비에 따른 BST박막의 XRD 회절패턴이다. 작업가스비의 변화에 관계없이 (110)BST와 (111)BST 피크만이 관찰되었으며 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 가장 양호한 결정성을 나타내고 있다.

BST는 산화물계 강유전체로서 작업가스 중 산소를 첨가하여야만 스퍼터링 중 손실된 산소원자 성분을 보충하여 원하는 조성비의 박막을 얻게 된다. 반면에 산소분압이 증가하면 Ar 원자의 양이 감소하여 target에서 떨어져 나오는 BST 분자의 양이 감소하여 결정성장에 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서 아르곤과 산소분압의 비가 8:2일 때 가장 우수한 결정의 박막을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

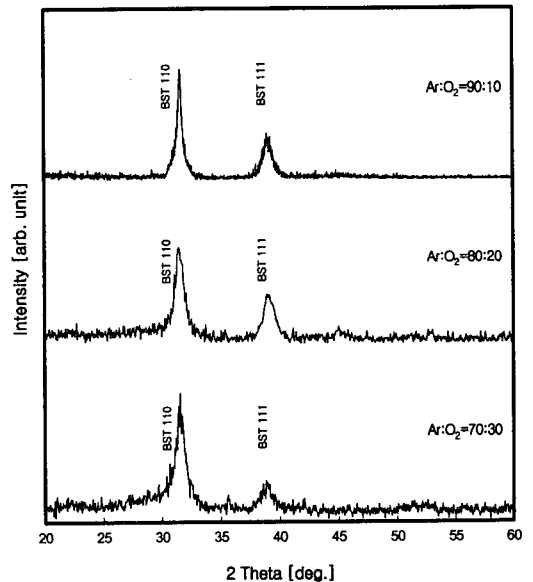


그림 1. 작업가스비에 따른 XRD 회절패턴

그림 2는 작업가스비에 따른 BST 박막의 누설전류특성곡선이다. 인가전계 ±100KV/cm에서 10⁻⁷ A/cm²이하의 양호한 누설전류 특성을 보여주고 있으며 이는 MgO 완충층이 누설전류 감소에 큰 작용을 함을 알 수 있다. 그 중 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 가장 우수한 특성을 보여주고 있는데 이 역시 박막의 결정성이 그 원인임을 알 수 있다.

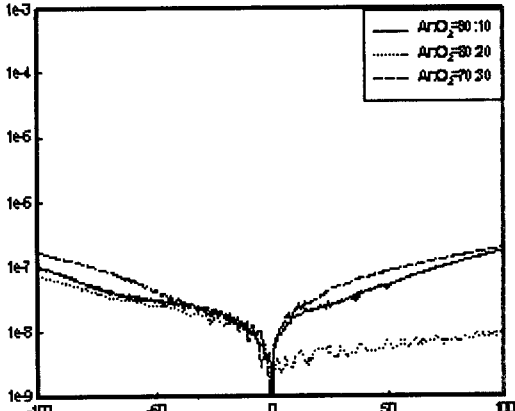


그림 2. 작업가스비에 따른 누설전류특성

그림 3은 C-V 측정으로부터 계산한 작업가스비에 따른 BST 박막의 유전율이다. BST 박막의 비유전율은 MgO 및 BST 박막의 직렬커패시터의 원리로 계산하였다. 제작된 MFIS 커패시터는 MgO 완충층과 BST 박막 사이의 전극유무에 관계없이 두개의 직렬 커패시터의 등가회로로 볼 수 있다. 먼저 제작한 MgO/Si 기판의 커패시턴스를 측정한 후 BST 박막을 증착한 샘플의 총 커패시턴스를 측정하여 식 1를 이용하여 BST 박막만의 커패시터를 계산하였다. 다음 식 2를 이용하여 BST 박막의 비유전율을 계산하였다.

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{MgO}} + \frac{1}{C_{BST}} \quad (1)$$

C_{tot} : Total capacitance

C_{MgO} : Capacitance of MgO buffer layer

C_{BST} : Capacitance of BST thin film

$$\epsilon_r = \frac{d \times C}{A \times \epsilon_0} \quad (2)$$

C : Capacitance of BST thin film

d : Thickness of BST thin film

A : Area of electrode ($9.62 \times 10^{-8} \text{m}^2$)

ϵ_0 : Permittivity of free space

식 (1) 및 식 (2)을 이용하여 계산한 작업가스 Ar:O₂의 비 90:10, 80:20, 70:30에서의 비유전율은 각각 283, 305, 296으로서 작업가스비 80:20에서 제작된 박막의 특성이 가장 우수하였다.

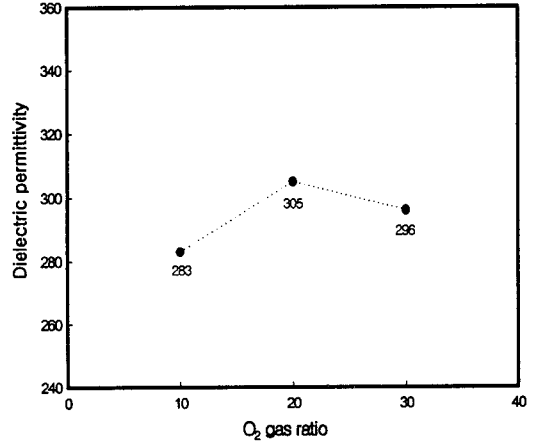


그림 3. 작업가스비에 따른 BST 박막의 비유전율

그림 4는 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 증착한 BST박막의 표면 SEM 사진이다. 확실한 결정립을 보여주고 있으며 그레인의 크기는 약 10nm 였다.

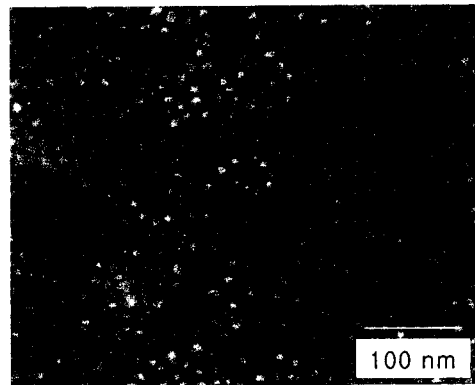


그림 4. Ar:O₂=80:20에서 증착한 BST 박막의 SEM사진

4. 결 론

Si기판위에 완충층용 MgO 박막을 500Å 증착하고 그 위에 작업가스 Ar:O₂의 비율을 90:10, 80:20, 70:30으로 변화하면서 BST 박막을 증착하였다. XRD 측정결과 작업가스비의 변화에 관계없이 (110)BST와 (111)BST 결정이 공존하는 다결정으로 성장되었고 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 가장 양호한 결정성을 나타내었다. I-V측정결과 모든 샘플

플에서 $\pm 100\text{KV/cm}$ 에서 10^{-7}A/cm^2 이하의 양호한 누설전류특성을 나타내었고 C-V측정 결과 역시 작업가스 Ar:O₂=80:20에서 증착된 박막의 비유전율이 약 305로서 가장 우수한 특성을 보여주었다.

박막의 결정성, 전기적 특성 평가 결과 MgO/Si 기판위에 BST 박막을 증착하기 위한 최적의 작업 가스비는 Ar:O₂=80:20임을 알 수 있다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1]. Ferroelectrics at Microwaves, ed. by O. G. Vendik (Soviet Radio, Moscow, in Russian)
- [2]. M.DiDomenico, D. Jonson. and R, Pantell, J.Appl.Phys. 33,1697.
- [3]. Deborah J. Taylor, "Ferroelectric Film Devices" p.113-122
- [4] Pirre C. Fazen, Integrated Ferroelectrics, 4, 247, 1994.
- [5] C.S. Chen, J. Zhao, L. Luo, P. Lu, Y.Q. Li, P. Norris, B. Keat, F. Consandey, C.J. Maggiore, B. Gallois and B.J. wilkens, "Epitaxial Grwth of BaTiO₃ Thin Films by Plasma Enhanced Mctalorganic Chemical Vapor Deposition" Appl. Phys. lett69(2) 1144-1146 (1992)
- [6] M.H. Yeh, Y.C. Liu, K.S. Liu, I.N. Lin, J. M.Y. Lee and H.F. Cheng, "Electrical Characteristics of Barium Titanate Films Prepared by Laser Ablation," J. Appl. Phys. 74(3) 2143-2145 (1993)
- [7] B.S. Kwak, K, Zhang, E.P. Boyd, A. Erbil and B.J. Wilkens, "Metalorganic Chemical Vapor Deposition of BaTiO₃ Thin Films," J. appl. Phys. 69(2) 767-772(1991)
- [8] V. Chivukula, J. Iowski, I. Emesh, D. McD onald, P. Leung, and M. Sayer, Inter. Ferro electr., 10, no. 1-4, 247 (1996).
- [9] K. R. Carroll, J. M. Pond, D. B. Chrisey, J. S. Horwitz, R. E. Leuchtner, Appl. Phys. Le tt., 62 1845 (1993).
- [10] H. Z. Durusoy, "Growth Structures of MgO Films on Si(100) and Si(111) surfaces. "J. Mat. Sei. Lett. 10. 1023-1025 (1991)
- [11] B.S. Kwak, E. P. Boyd, K. Zhang, A. Erbil and B. J. Wilkens, "Metalirganic Chemical Vapor Deposition of[100] textured MgO Thin Films."Appl. Phys. Lett. 54(25) 2542-2544
- [12] R. Huang and A. H. Kitai, "Temperature dependence of the Growth Orentationed Atomic Lyer Growth MgO," apol. Phys. Lett. 61(12) 1450-1452 (1992)
- [13] R. pinto, J.P. Poothra, S.C. Puradare, S.P. Pai. C.P.D Souza, D. Kumar and M, Sharon, "Growth and Microstructure Study of Radio Frequency Magnetron Sputtered MgO Film on Slicon," J. Vac. Sei. Thch