

## 고주파 수동소자 유전체용 Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> 박막의 유전특성에 관한 연구

### Study on dielectric properties of Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> thin films for high-frequency passive device

이태일\*, 최명률\*, 박인철\*, 김홍배\*\*

Tae-Il Lee\*, Myung-Ryul Choi\*, In-Chul Park\*, Hong-Bae Kim\*\*

#### Abstract

In this paper, we investigated dielectric properties for BST thin films that was deposited on MgO/Si substrates using RF magnetron sputtering. In here, MgO film was used to perform that a diffusion barrier between the BST film and Si substrate and a buffer layer to assist the BST film growth. A deposition condition for MgO films was RF Power of 50W, substrate temperature of room temperature and the working gas ratio of Ar:O<sub>2</sub> were varied from 90:10 to 60:40. Finally we manufactured the capacitor of Al/BST/MgO/Si/Al structure to know electrical properties of this capacitor through I-V, C-V measurement. In the results, C-V characteristic curves was shown a ferroelectric property so we measured P-E. A remanent polarization and coercive electric field was present  $2\mu\text{C}/\text{cm}^2$  and  $-27\text{kV}/\text{cm}$  respectively at Ar:O<sub>2</sub>=90:10. And a value of dielectric constant was 86 at Ar:O<sub>2</sub>=90:10.

**Key Words** : MgO film, buffer layer, working gas ratio

#### 1. 서 론

최근 강유전체 물질을 이용한 비휘발성기억소자, 박막 커패시터, 적외선 센서, 광전자 소자 등의 여러 분야의 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이며, 미국이나 일본과 같은 선진국에서는 통신 분야의 고주파화에 따른 마이크로파 통신 소자와 같은 첨단 소자의 개발에 강유전체를 적용하려는 연구가 진행되고 있다<sup>[1]-[2]</sup>.

강유전체 물질의 응용 분야 중 하나인 DRAM의 커패시터 절연체 물질에서는 강유전체 물질을 증착

하기 위하여 다층기판(multi-layer substrate ; Ti/SiO<sub>2</sub>/Si, Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 등)을 사용하여 커패시터를 제작하였으나, 광도파로(optic waveguide)나 레이저 다이오드와 같은 소자에 강유전체를 응용하기 위해서는 Pt를 비롯한 다층기판을 갖는 하부전극 없이 Si 기판 위에 직접적으로 증착된 강유전체 박막의 형성이 요구되고 있다. 그러나 실제적으로 Si 기판 위에 강유전체 박막을 증착할 경우 기판과 강유전체 박막 사이의 계면에서 확산과 같은 상호 반응이 일어나 강유전체 본래의 특성을 나타내지 않는 연구 결과를 볼 수 있었다. 그래서 강유전체 박막의 증착을 위한 완충층(buffer layer) 역할을 하는 하나의 중간층을 삽입하여 강유전체 박막을 증착하려는 연구가 시도되고 있다<sup>[3]-[4]</sup>.

이와 같은 완충층 물질로 연구되고 있는 물질로는 MgO, YSZ(yttria-stabilized zirconia), TiN, CeO<sub>2</sub> 등

\* 청주대학교 대학원 전자공학과 반도체전공  
(충청북도 청주시 상당구 내덕동 36 청주대학교)  
Fax : 043-229-8461  
E-mail : taeillee@chongju.ac.kr  
\*\* 청주대학교 전자·정보통신·반도체 공학부

PZT( $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ )와 같은 페로브스카이트계 산화물 로써 구조적으로도 안정하며, 화학적 반응도 거의 없어 확산 방지막(diffusion barrier) 역할도 하여 위의 언급된 물질 중 강유전체 박막 증착을 위한 완충층 물질도 가장 유망한 물질로 보고 있다<sup>[5]-[6]</sup>.

따라서 본 논문에서는 (100)Si 기판위에 RF magnetron sputtering 법을 이용해 MgO 박막을 증착하였고, 증착시 작업 가스비(Ar:O<sub>2</sub>)의 변화를 주었다. 그리고 증착된 MgO/Si 기판위에 RF magnetron sputtering 법으로 Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>(이하 BST)박막을 증착하였다. 그리고 상·하부 전극으로 Al을 사용하여 커패시터를 제작하였다. 제작된 커패시터를 이용하여 I-V, C-V 그리고 P-E 측정을 통한 전기적 특성을 알아보았다.

## 2. 실험방법

먼저 준비된 p-type (100) Si 기판을 유기세척과 RCA Cleaning을 통해 자연산화막과 각종 금속 물질을 제거하였다. 다음으로 RF magnetron sputtering 법으로 MgO 박막을 증착하였다. MgO 박막 증착시 조건은 RF Power 50W, 기판 온도 R.T., 증착 시간 1시간으로 설정하였고, 작업 가스비(Ar:O<sub>2</sub>)만 90:10에서 60:40으로 변화시켜주었다. BST 박막의 증착도 RF magnetron sputtering 법으로 하였고, 증착 조건은 50W의 RF Power, 기판 온도 R.T., 증착 시간 2시간으로 하였고, 작업 가스인 아르곤과 산소는 80:20의 비로 설정하였다. 가스량 조절은 1차 가스 밸브를 75kgf/cm<sup>2</sup>으로 2차 가스 밸브를 1kgf/cm<sup>2</sup>으로 해주고, 챔버에 유입되는 가스는 MFC(Mass Flow Controller)를 통과한 뒤 GFS(Gas Flow System)에 의해 최종 조절되어 유입되었다. 증착 압력은 Exhaust valve controller를 사용하여 10mTorr로 조절해주었다. 세부적인 증착 조건은 MgO 박막 증착 조건과 함께 표 1에 나타내었다. 마지막으로 전기적 특성 측정을 위해 Thermal evaporation 법으로 상·하부 전극으로 Al을 증착하여 커패시터를 제작하였다. 여기서 상부 전극 Al은 직경이 300um인 도트 마스크를 사용하였고, 하부 전극은 샘플 전면에 증착하였다. 최종적인 샘플의 구조는 Al/BST/MgO/Si/Al의 구조였으며, 그림 1에 보여주었다.

MgO 박막과 BST 박막의 두께 측정에는 유전체 두께측정에 사용되는 Rudolph Research사의 Auto Ellipsometer를 사용하였고, 단차 측정시 사용되는 T

표 1. MgO 및 BST 박막의 증착 조건

Films		MgO	BST
Substrate		Si	MgO/Si
RF Power		50W	
Substrate Temperature(T <sub>sub</sub> )		R.T	
Working Gas Ratio		90:10 80:20 70:30 60:40	80:20
Deposition Time		1 hours	2 hours
Pressure	base	less than 1.0×10 <sup>-6</sup> Torr	
	woring	10mTorr	

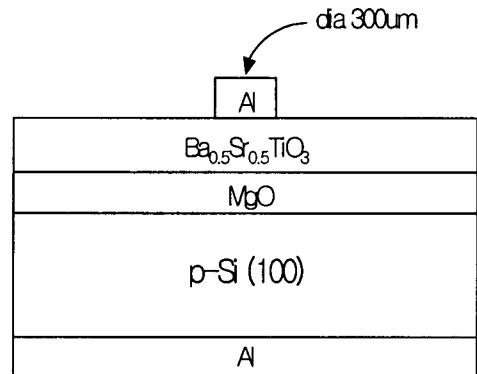


그림 1. 제작된 샘플의 단면도

encor사의 Alpha-step도 사용하였다. 그리고 박막의 결정 성장을 조사하기 위해 Philips사의 Expert를 이용하여 XRD(X-ray diffraction) 측정을 하였다. C-V 측정은 HP4192A(Semiconductor impedance analyzer)를 I-V 측정에는 HP4145B(Semiconductor parameter analyzer)를 사용하였다. 그리고 강유전체의 히스테리시스 특성 측정은 RT66A를 이용하였다.

## 3. 실험결과

그림 2에는 작업 가스비 조건에 따른 MgO 박막 위에 증착된 BST 박막의 XRD 회절 패턴이 나타나 있다. 그림에서 보는바와 같이 제1상의 (211) Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> 피크만이 관찰되어진다. 하지만 이 박막이 단결정으로 형성되었다고 여겨지기 보다는 제1상인 (211) BST의 결정방위가 지배적인 구조를 가진다고

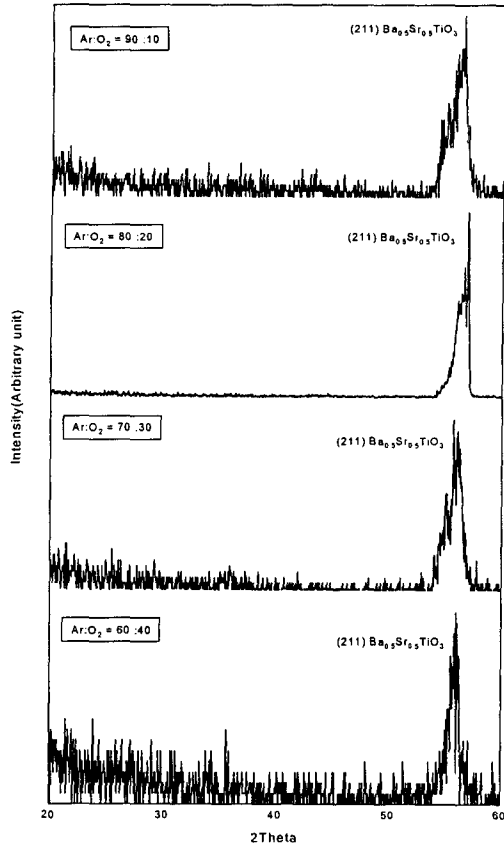


그림 2. 작업가스비에 따른 BST 박막의 XRD 회절 패턴

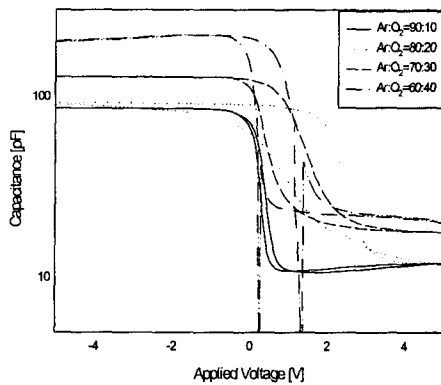


그림 3. 작업 가스비에 따른 MgO 박막위에 증착된 BST 박막의 C-V 특성 곡선

말할 수 있다. 이와같은 결과는 완충층으로 쓰여진 MgO박막의 두께의 변화에 따라 결정립 또는 그레인 크기에 의한 선택적 배향, 특히 a축 배향성이 큰 BST 박막의 결정 성장을 가져올 수 있다고 판단되어진다.

그림 3은 커패시터 제작 후 측정된 C-V 특성 곡선을 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와같이 강유전 특성이 관찰되어져서 P-E 측정을 하였다. P-E 측정 결과 Ar:O<sub>2</sub>=90:10인 조건에서 2μC/cm<sup>2</sup>의 잔류 분극(2P<sub>r</sub>) 값을 보여주었고, 항전계는 -27kV/cm였다(그림 4). 그림 5에는 C-V 측정 결과 얻어진 커패시턴스 값을 이용하여 계산된 유전 상수 값을

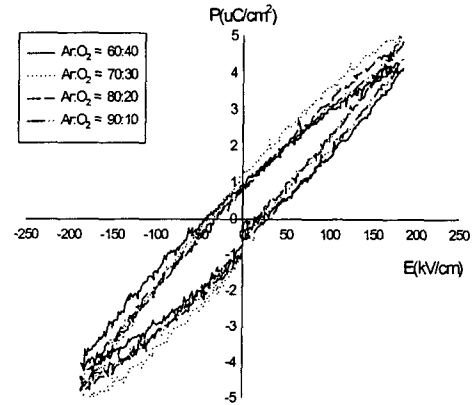


그림 4. BST 박막의 히스테리시스 곡선

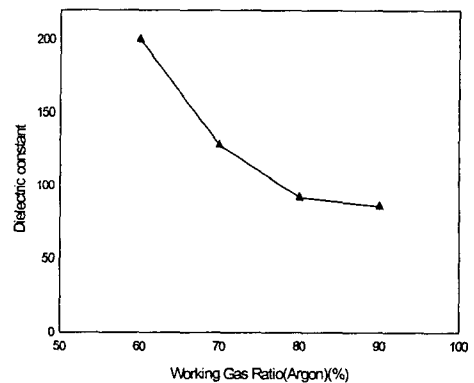


그림 5. 작업 가스비에 따른 유전 상수의 변화

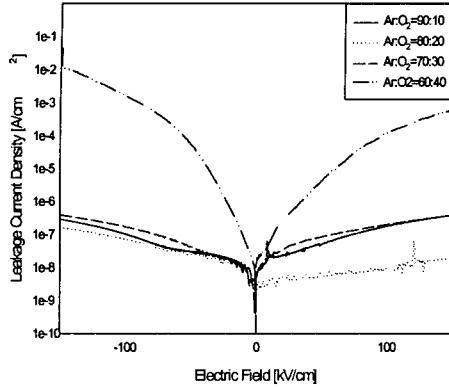


그림 6. BST 박막 커패시터의 I-V 특성 곡선

나타내었다. 유전 상수 값은 작업 가스비(Ar:O<sub>2</sub>)가 60:40일 때 가장 큰 200을 나타내었고, 90:10에서 86을 나타내었다.

마지막으로 누설 전류 특성에서는 Ar:O<sub>2</sub>=60:40인 조건에서 증착된 MgO 박막위에 증착한 BST 박막 커패시터의 샘플을 제외하고는 0.1MV/cm의 인가전계에서 0.1 μA/cm<sup>2</sup> 정도의 양호한 누설 전류 특성을 보여주었다(그림 6).

#### 4. 결 론

본 논문에서는 Si 기판상의 BST 박막의 증착을 위한 완충층으로써 MgO 박막을 사용하였다. MgO 박막은 RF magnetron sputtering 법에 의해 증착되어 졌고, 증착시 작업 가스비(Ar:O<sub>2</sub>)를 90:10에서 60:40까지 변화시켜주었다. BST 박막 증착 후 Al을 사용하여 상·하부 전극을 증착하였고, 최종적으로 Al/BST/MgO/Si/Al 구조의 커패시터를 제작하였다.

XRD 측정 결과 제1상으로 (211) Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> 피크만 관찰되어 (211) Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> 방향의 우선배향성이 컸음을 알 수 있었다. C-V 측정에서는 모든 샘플에서 강유전 특성을 볼 수 있었고, P-E 측정에서는 작업 가스비가 Ar:O<sub>2</sub>=90:10인 경우에 2μC/cm<sup>2</sup>의 잔류 분극과 -27kV/cm의 항전계 값을 나타내었다. 유전 상수는 200에서 86의 값을 가졌다. 누설 전류 특성은 Ar:O<sub>2</sub>=60:40인 경우를 제외하고 0.1 MV/cm의 인가전계에서 0.1 μA/cm<sup>2</sup>의 양호한 누설 전류 특성을 보여주었다.

결론적으로 작업 가스비가 Ar:O<sub>2</sub>=90:10인 경우의

MgO 박막이 Si 기판위에 BST 박막을 증착하기 위한 양호한 조건임을 확인할 수 있었다. 그리고 이 조건의 BST 박막 커패시터가 비교적 작은 유전 상수 값을 나타내었지만, 이는 고주파 소자의 적용에 있어서 무조건 큰 유전 상수 보다는 안정된 결정 성장과 전반적으로 양호한 전기적 특성을 요구하는 점으로 볼 때 적용 가능성이 있는 결과라 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] 이상미, "열처리 온도에 따른 BaTiO<sub>3</sub> 박막의 특성에 관한 연구", 청주대학교 석사학위 논문, 199 9.2
- [2] J. M. Mir and J. A. Agostinelli, "Optical Thin Films for wave Guide Applications", J. Vac. Sci. Technol., A12(4) 1439-1445 (1994)
- [3] F. J. Walker, R. A. Mckee, H. W. Yen and D. E. Zelmon, "Optical Clarity and Wave Guide Performance of Thin Film Perovskites on MgO", Appl. Phys. Lett., 65(12) 1495-1497 (1994)
- [4] R. Pinto, J. P. Poothra, S. C. Purandare, S. P. Pai, C. P. D'Souza, D. Kumar and M. Sharon, "Growth and Microstructural Study of Radio Frequency Magnetron Sputtering MgO Films on Silicon", J. Vac. Sci. Technol., A9(5) 2670-2674 (1991)
- [5] H. Z. Durusoy, "Growth Structures of MgO Films on Si(100) and Si(111) Surfaces", J. Mat. Sci. Lett., 10, 1023-1025 (1991)
- [6] T. Inoue, Y. Yamamoto, S. Koyama, S. Suzuki and Y. Ueda, "Epitaxial Growth of CeO<sub>2</sub> Layers on Silicon", Appl. Phys. Lett., 56(14) 1332-1333 (199)