

Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ 박막 커패시터의 전기적 특성에 관한 연구

A study on electrical properties of Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ thin-film capacitor

이태일*, 송재현*, 박인철*, 김홍배**, 최동한**
(Tae-Il Lee, Jae-Hun Song, In-Chul Park, Hong-Bae Kim, Dong-Han Choi)

청주대학교 전자공학과 대학원*
(Dept. of Electronic Eng. Chongju University)

청주대학교 전자·정보통신·반도체 공학부**
(School of Electronic·Computer & Communication·Semiconductor Eng. Chongju University)

Abstract

In this paper, Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ thin-films were prepared on Pt/Ti/SiO₂/Si substrates by RF magnetron sputtering method. We investigated electric and dielectric properties of BST thin-films with various annealing temperature using *in-situ* RTA. Deposition conditions of BST films were set substrate temperature, 300°C and working gas ratio, Ar:O₂=90:10. After BST films deposited, we fabricated a capacitor of MIM structure with Al top electrode for measurement. Post-annealing using RTA performed at 400°C, 600°C, 800°C for 60 sec, respectively. Also we examined crystallization and composition of BST thin-films by XRD analysis. In measurement result, this capacitors showed a dielectric constant of about 200 at 1MHz and leakage current density of 5×10^{-8} A/cm² at 1.5V. Microstructure of BST thin-films exhibited effective quality in low-temperature annealed films than high-temperature annealed films. .

Key Words(중요용어) : RTA(Rapid Thermal Anneal), SEM(Scanning Electron Microscopy), dielectric constant (유전 상수), leakage current (누설 전류)

1. 서 론

감유전체 물질은 수십년 전부터 압전기, 초전기를 비롯한 광학 소자에까지 널리 연구되어져왔다¹⁾. 그러나 최근에 들어서 DRAM 및 FeRAM과 같은 메모리용 재료로서의 연구가 활발히 진행되고있다. 이와 같은 이유는 현재 DRAM용 유전체에 쓰이는 재료인 SiO₂, Si₃N₄, Ta₂O₅와 이들 재료를 이용한 ONO나 ONO구조의 유전체로써는 Gigabyte급 메모리 소자에 적용하기 위한 조건인 높은 정전용량과 낮은 누설전류 값을 만족시키지 못하고, 공정상으로도 물리적 한계에 다른 유전체 두께를 실현하기가 어려워졌기 때문이다.²⁾ 그래서 높은 유전율을 가지고 구조적으로도 안정적인 페로브스카이드 구조를 갖는 감유전체 물질에 대한 연구가 절실히 필요하게 된 것이다. 이

들 재료는 이전에 쓰였던 재료와 비교할 때 같은 두께에서 훨씬 더 큰 단위 셀 당 정전용량을 가지고, 구조적으로 안정되어 충분히 낮은 누설 전류 특성을 보인다고 여러 연구에서 발표되어 왔다. 이런 감유전체 물질로는 BaTiO₃(BTO), SrTiO₃(STO), (Ba_xSr_{1-x})TiO₃, Pb(Zr,Ti)O₃(PZT)등이 있으나 이 중 실온이하의 천이온도와 높은 유전 상수를 갖는 BST가 가장 유망한 재료로 대두되고 있다.

BST는 Ba와 Sr의 다양한 몰 비로 연구되고있는데, 이 중 Ba와 Sr의 몰 비가 0.5:0.5인 재료가 박막 형태에서 유전 특성이 우수하다고 알려져 있다.

BST 박막의 형성 방법에도 sol-gel, sputtering, MO CVD, PLD 등 여러 가지 방법으로 시도되고 있으나, 본 연구에서는 RF Magnetron sputtering 방법에 의하여 BST 박막을 형성하였다. BST 박막 형성후 전기적 특성을 측정하기 위해 상부 전극 Al을 사용하여

MIM 구조의 커패시터를 제작하였다. 제작한 커패시터에 대해 I-V, C-V 측정으로 누설 전류 및 유전 특성을 조사하였고, XRD 측정은 박막의 결정화와 구성 성분 분석을 위해 시행하였다.

2. 실험방법

2-1. 시편의 제작

(100) p-Si 기판에 건식 산화법으로 1000nm 두께의 산화막을 형성시키고, 그 위에 Ti를 DC Sputtering 방법으로 100nm 정도 증착시켰다. Ti는 하부전극으로 쓰는 Pt에 대한 증착 특성을 좋게하고 Si 기판으로부터 BST 막으로의 확산 방지막을 위한 역할도 한다. 다음으로 하부 전극으로 Pt를 150nm 두께로 E-beam으로 증착하였다. BST는 99.95%의 순도의 벌크형 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ 타겟을 가지고 RF Magnetron Sputtering 방법으로 증착하였다. 초기 진공은 2.0×10^{-6} Torr이하로 유지하였고, 작업 진공은 1.0×10^{-2} Torr로 조절해주었다. 기판 온도는 300°C로 하였으며, RF Power는 50W로 하고, 작업 가스는 Ar:O₂=90:10의 비율로 하여 pre-deposition을 10분간 하고 2시간 동안 증착하였다. BST 박막 증착 후 RTA(Rapid Thermal Anneal)로 400°C, 600°C, 800°C에서 각각 60초 동안 N₂ 분위기에서 열처리를 하였다. 상부전극은 직경이 200 μ m인 dot 마스크를 이용하여 DC sputtering 방법으로 Al을 증착하였다. 결과적으로 MIM(Metal-Insulator-Metal) 구조의 커패시터를 제작하였다. 전체적인 실험 순서도를 그림 1에 나타내었다.

2-2. 측정

Ti과 Pt와 같은 금속의 두께는 Tencor alphastep으로 측정하고, BST 막의 두께는 Rudolph Research사의 Auto Ellipsometer로 측정하였다. RTA로 아닐링 후 박막의 조성과 결정화를 관찰하기 위해 XRD 측정 통하여 분석했다. 제작된 MIM 커패시터의 전기적 특성을 알기 위해 HP4145B(Semiconductor parameter analyzer)를 사용하여 누설 전류를 조사하고, HP4192A(Semiconductor impedance analyzer)를 사용하여 유전 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 RTA로 400°C, 600°C, 800°C에서 N₂ 분위기에서 각각 60초동안 열처리한 BST 박막의 XRD 패턴을 보여주고 있다. 열처리 전의 패턴에서는 (111) Pt만이 뚜렷이 나타나고 BST 막의 피크는 보

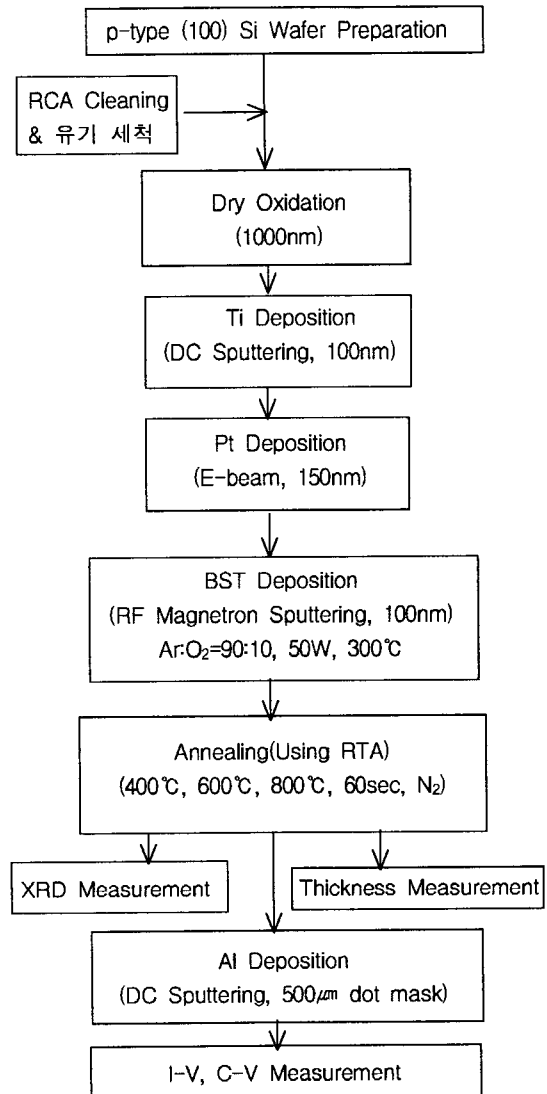


그림 1. MIM 커패시터 제작 순서도
Fig. 1. Fabrication flow chart of MIM capacitor

이지 않으나 열처리 온도가 증가함에 따라 (110) 피크를 비롯한 (200) 피크가 점점 커지는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 열처리 온도를 높여줌에 따라 박막 내의 원자의 활성화 에너지가 증가하여 결정화가 이뤄지도록 안정한 위치에 자리잡게 되는 이유이다.³⁾ 800°C 열처리에서 박막의 색이 변질되는 것을 볼 수 있었는데, 고온 처리과정에서 BST 박막과 Pt와의 반응이 이루어진 것으로 보아진다. 이런 이유로 이 이상의 열처리 온도는 막의 결정화에 기여를 못 할 것으로 판단되어진다. 또한 XRD 측정시에 하부전극으

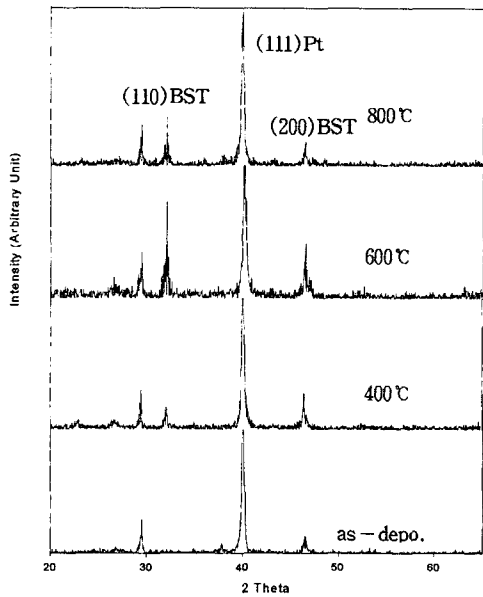


그림 2. 열처리 온도에 따른 XRD 패턴.
Fig. 2. XRD pattern with post-annealing temperature

로 쓰이는 Pt를 제거하지 않아 XRD 패턴상의 Pt의 피크가 열처리 온도에 따라 증가되었다고 생각된다. 전류-전압 특성에서는 직경이 200 μ m의 dot 마스크를 사용하여 전극을 형성한 MIM 구조의 커패시터를 측

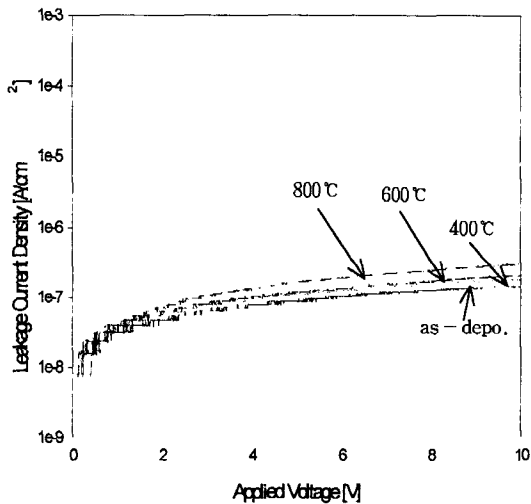
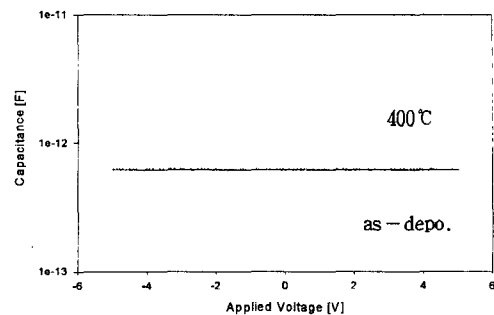


그림 3. 열처리 온도에 따른 전류-전압 특성
Fig. 3. Current-Voltage Characteristic for post-annealing temperature

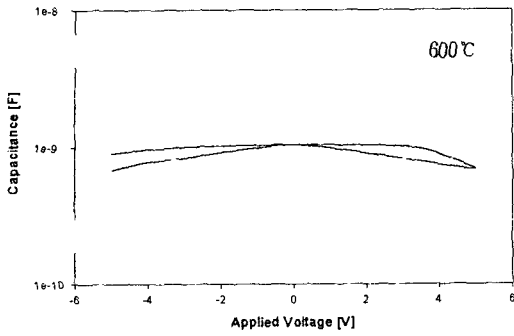
정하였다. 그림 3에 측정된 MIM 커패시터의 전류-전압 특성을 나타내었다. 측정결과 열처리 전과 모든 열처리 온도내에서 아주 우수한 누설전류 특성을 볼 수 있었다. 열처리를 하지 않은 샘플과 800 $^{\circ}$ C에서 열처리한 샘플의 누설 전류는 1.5V 인가 전압에서 각각 4.0×10^{-8} [A/cm 2], 5.6×10^{-8} [A/cm 2]의 값을 보였다. 이는 25 6Mbyte DRAM을 위해 요구되는 누설 전류의 값인 0.2MV/cm에서 3μ A/cm 2 이하의 값을 가져야 한다는 조건에 합당하며⁴, 1Gbyte DRAM의 요구 조건인 동작 전압하에서 10^{-7} A/cm 2 이하의 누설 전류 값에도 만족할만한 값을 가진다는 것을 보여주었다.⁵

일반적으로 커패시터에 순방향 전압을 인가하게 되면 인가 전압의 증가에 따라 전류가 터널링에 의해 급격히 흐르게 되나 유전 완화 현상으로 인해 일정한 누설 전류 값을 갖는 포화 영역에 접어들게 된다. 또한 인가 전압을 계속적으로 증가 시키게 되면 쇼트키형 전자방출 현상이 생겨 전자전도라는 메카니즘에 의해 누설 전류의 증가 현상을 볼 수 있게 된다. 그리고 상부 전극과 유전체간의 일함수 차이가 작게 되면 누설 전류 증가의 원인이 되어 커패시터의 특성을 떨어뜨리게 된다. 그래서 보통 BST 박막의 경우 일함수 차이가 큰 Pt(5.3eV)를 사용하여 상부 전극을 증착하는데, 본 연구에서는 Si를 사용하여 MIM 커패시터를 제작한 측정을 하였으나 고품질의 막 형성과 알맞은 열처리 온도의 영향으로 좋은 누설 전류 특성을 볼 수 있었다.

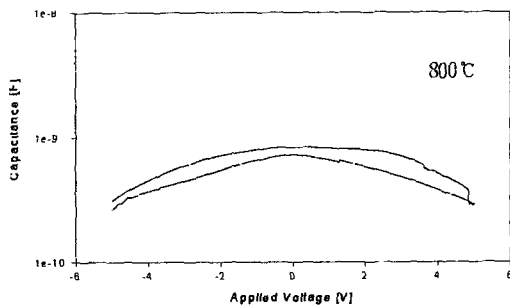
그림 4는 전압-커패시턴스 특성을 보여주고 있다. 열처리 하지 않은 샘플과 400 $^{\circ}$ C에서 열처리한 샘플에서는 강유전체 특성이 나타나지 않았으나, 600 $^{\circ}$ C 이상에서 열처리한 샘플에서는 약한 강유전 특성을 볼 수 있었다. 대체적으로 커패시턴스 값이 좋지 않게 나온 이유 중 하나는 하부 전극으로 Pt를 썼을 때 Pt와 BST 막의 계면에 저유전층의 영향으로 기생 커패시턴스의 발생에 따른 유전율의 저하가 원인이 된다는 보고도 있다.⁶



(a)



(b)



(c)

그림 4. 열처리 온도에 따른 커패시턴스-전압 특성
Fig. 4. Capacitance-Voltage Characteristic by various post-annealing temperature

4. 결 론

차세대 DRAM용 유전체로 대두되고 있는 BST를 Ba와 Sr의 몰 비가 0.5:0.5인 타겟을 가지고 RF Magnetron Sputtering 방법으로 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판위에 1000 Å 두께로 증착시켰다. BST가 증착된 샘플에 대하여 400°C, 600°C, 800°C의 온도로 N₂ 분위기로 60 초동안 각각 열처리를 시행하였다. 열처리 후 측정을 위해 상부 전극으로 Al을 사용하여 MIM 구조의 커패시터를 제작하였다.

XRD 측정결과 (110)과 (200) 피크의 세기가 열처리 온도에 따라 증가됨을 관찰 할 수 있었고, 800°C 이후의 열처리 온도에서는 Pt와의 반응으로 막 성장과 결정화에 기여를 하지 못하였다. 누설 전류 측정은 40~56[nA/cm²]의 값을 나타내어 Gigabyte 급 DRAM까지도 적용할 수 있는 누설 전류 특성을 나타내었다. 유전 특성에서는 1MHz의 측정 주파수에서 151의 유전 상수 값을 나타내었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. M J Lancaster, J Powell and A Porch, "Thin-film ferroelectric microwave", Supercond. Sci. Technol. 11 p 1323-1334, (1998)
2. Su-Hyon Paek, Jinhee Won, Kong-Soo Lee, Jin-Seog Choi and Chi-Sun Park, "Electrical and Microstructural Degradation with Decreasing Thickness of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering, J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 5757-5762, (1996)
3. Sang-Chul Lee, Sung-Soo Lim, Jang-Ho Chung, Seon-Gi Bae, Young-Hie Lee, "Structure Properties of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films with Substrate Temperature", 전기전자재료학회 '99 춘계 학술대회 논문집. PB-47(pp. 649-652), (1999)
4. Sang-Shik Park and Soon-Gil 4oon, "Preparation and Electrical Properties of (Ba_{0.5}Sr_{0.5})TiO₃ Thin Films by RF Magnetron Sputtering", Korean Journal of Materials Research, Vol. 4, No. 4, (1994)
5. Jeong-Seon Ryoo, Seong-Jun Kang, Yong-Sup Yoon, "Preperation and Properties of BST(Barium Strontium Titanate) Thin Films for the Capacitor Dielectrics of ULSI DRAM's", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 9, No. 4, pp. 336-343, 1996
6. Seung-Hoon Lee, Dong-Hwa Kwak, Byung-Tak Jang, Seon-Young Cha, Hee-Chul Lee, Byoung-Gon Yu, and Jong-Tae Baek, "Analysis of Dielectric Properties of the Interfacial layers in Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃/Pt structure", 전자공학회논문지, 제 33 권. A편. 제 8 호, pp.132-137, (1996)