

DRAM 캐패시터 응용을 위한 STO 유전체 박막의 전기적인 특성
The electrical characteristics of STO dielectric thin films for application of DRAM capacitor.

이우선* · 오금곤* · 김남오** · 손경춘** · 정창수*** · 정용호****
 Woo-Sun Lee* · Guem-Kon Oh* · Nam-Oh Kim** · Chang-Su Chung**
 Kyeong-Choon Son*** · Yong-Ho Chung****

- * 조선대학교 전기공학과 교수
- ** 조선대학교 전기공학과 박사과정
- *** 조선대학교 전기공학과 석사과정
- **** 서강정보대학 열냉동과

Abstract

The objective of this study is to deposited the preparation of STO dielectric thin films on Ag/barrier-mater/Si(N-type 100) bottom electrode using a conventional rf-magnetron sputtering technique with a ceramic target under various conditions. It is demonstrated that the leakage current of films are strongly dependent on the atmosphere during deposition and the substrate temperature. The resistivity properties of films deposited on silicon substrates were very high resistivity. Capacitance of the films properties were the highest value(1000pF) and dependent on substrate temperature.

I. 서론

최근 전자회로의 직접화로 인하여 소형화 및 대용량화의 캐패시터에 대한 연구가 증대되고 있으며, DRAM(dynamic random access memory)에서는 캐패시터의 절연막의 중요성으로 축적용량의 저하를 방지하기 위해 캐패시터 절연막을 박막화되어 왔다. 기존의 Mbit 시대 이후부터 캐패시터를 stack이나 trench의 SiO₂ 계열의 박막은 공정의 복잡화에 따라한계에 이르고 있다. 따라서 1G DRAM급 이상의 차세대 메모리 분야에서는 초박막 고유전체의 형성 요소로 비유전율이 높은 캐패시터 절연막의 검토가 이루어져야 한다. 고유전율 박막의 DRAM 적용은 소자의 평탄화, 고신뢰화, planar capacitor화, 그리고 필터용 콘덴서의 면적을 작게 할 수 있으므로 칩 크기를 소형화시킬 수가 있다. 현재 유전체 박막형성방법으로서 실용화되고 있거나 개발되고 있는 성막법으로는 전자빔증착법, 펄스레이저 용발법,¹⁾ 스퍼터링법,²⁾ 이온주입법,³⁾ 화학기상퇴적법(MOCVD),⁴⁾ 그리고 졸겔법⁵⁾ 등이 있다. STO 박막은 열적 또는 구조적으로 안정하며 피로특성이 우수하고 그리고

BTO에 비하여 홀 이동도가 10배정도 높기⁶⁾ 때문에 입자내부의 전기전도도를 증가시킬 수 있고, 또한, 낮은 누설전류의 특성을 나타내며 두 개의 금속이온으로 이루어져 제조가 비교적 쉬운 반면에 페로브스카이트 물질로서는 상대적으로 낮은 유전상수를 가지고 있지만 고주파 10 [GHz]영역에서 저주파까지 유전손실이 없이 유전율이 유지가⁷⁾ 보고되었다. 고유전체를 DRAM 캐패시터 재료로 활용하기 위해서는 Si 기판위에 페로브스카이트 구조를 형성하는 기술이 개발되어야 하고 박막화에 따른 절연체 내부의 결함에 기인한 누설전류의 발생을 막을 수 있는 연구가 진행되어야 하므로 본 논문에서는 DRAM의 고집적화에 따라 cell의 정전밀도의 단위 면적당 캐패시턴스 증가 위하여 STO와 BTO 유전체를 사용하여 n-type(100) Si 웨이퍼 기판 위에 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 TiN을 버퍼층으로하여 Ag/TiN/SiO₂/Si 하부구조(MIM) 위에 유전체 박막을 증착하여 공정조건에 따른 소자의 누설전류 특성과 저항 특성 그리고 유전율 특성을 조사하였으며, MIS 구조에서는 C-V 특성을 조사하였다.

II. 실험 방법

본 연구를 수행하기 위해 고주파 RF 마그네트론 장치를 이용하여 STO 박막 증착 실험은 스퍼터와 진공증착 장비(Vacuum Science VSSE-2TS)을 이용하였다. STO 유전체를 실리콘웨이퍼(N-type 100)위에 증착하고 Ag 금속을 상·하부전극으로 채택하여 성장하고 이들의 특성을 연구한다. STO 박막의 누설전류 특성을 측정하기 위하여 하부구조를 중간층(buffer layer)으로 TiN을 사용하여 Ag/TiN/SiO₂/Si 구조 위에 유전체 박막을 제작하였으며, TiN막은 1000Å의 두께로 증착하였다. 또한, 캐패시턴스 특성을 관측하기 위하여 Si 기판위에 유전체 막을 증착하였다. 이때 상·하부전극은 진공증착 방법으로 Ag을 약 2000Å 두께로 증착하였다. RF-스퍼터링법으로 증착되는 STO와 TiN 막 증착은 시편을 반응로의 target(음극)과 기관(anode)위에 놓고 rotary pump를 가동해서 10⁻⁴ [torr]까지 배기시킨 다음 Diffusion과 스퍼터 건 및 기관에 냉각수를 공급하여 가열되지 않도록 하여 diffusion을 가동하여 10⁻⁷ [torr]까지 배기시키고 10⁻⁷ [torr] 영역까지 배기되면 기관온도 전원을 on 시켜 증착반응 온도까지 서서히 상승시킨다. 증착시 반응 가스를 주입시켜 반응로의 진공도를 10⁻⁴ [torr] 대역에서 스퍼터 전원을 음극에 공급하였고, 다음 공정으로 플라즈마를 발생시켜 약 3분간 pre-sputter를 실시한 후 증착을 실시하고 증착이 완료되면 RF 전원 및 반응 기체의 공급을 중단한 다음 반응로를 진공으로 유지시킨 후 실온에 가깝게 서서히 냉각시킨다. 한편, 전극 증착은 100 [mg]의 Ag 시료분말을 텅스텐 보트에 담아 rotary pump와 diffusion pump를 이용하여 10⁻⁶ [torr]까지 배기한 후 30 [mA]의 전류를 가하여 증착하였고 증착시 열화를 방지하여 약 3 [sec] 동안 증착하였다. 표 1은 박막 제작의 공정 순서도를 나타내었다.

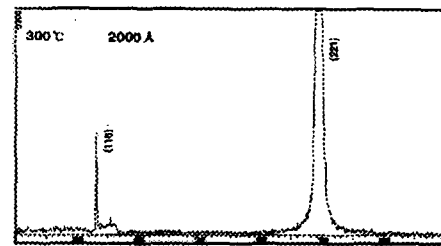
III. 실험결과 및 분석

그림 1(a)는 증착온도 300°C에서 고주파 마그네트론 방법으로 증착한 STO 박막의 회절선이다. 이때 회절피크는 33°와 70°에서 회절피크가 관측되고 있으며, 각각 면지수는 (110)과 (220)으로 회절피크 강도는 215.7 [cps], 500 [cps]로 나타내고 있음을 알 수 있다. perovskite 단일상의 특성임을 보이며, 본 논문에서는 저온(300°C)증

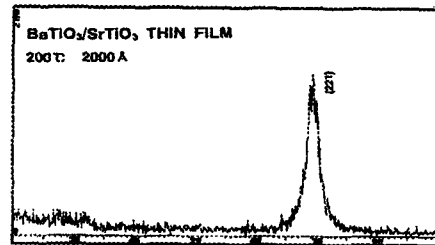
착으로 STO 유전체 박막을 단일 결정상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 그림 1(b)는 BTO/STO 박막을 200°C에서 증착한 경우에는 회절피크가 69.1°에서 (220)면의 면지수가 나타났으며 강도는 135.5 [cps]로 아몰퍼스 상태로 측정결과 나타났다. 이와 같이 아몰퍼스상의 박막이 나타나는 현상은 증착시의 낮은 증착온도에 의한 결정성장 배향에 영향이 미치는 것이라 생각된다.

Table 1. Process of thin films.

Si Substrate : n-type(100), 1~10Ω-cm
Cleaning:(H ₂ SO ₄ :H ₂ O ₂ =4:1), (HF:H ₂ O ₂ =1:5)
Nature Oxide : SiO ₂ (20Å)
Ag/TiN Deposition : Ag/TiN = 2000Å/1000Å Ambient : room temperature, Ar
STO Deposition : target : SrTiO ₃ T = 100°C, 200°C, 300°C, Ar/O ₂ = 8:2
Ag Deposition : top electrode : 0.2 mm Thickness : 2000Å
Measurement : XRD, SEM, HP4145B, HP4280/4192A



(a)



(b)

Fig. 1 X-ray patterns of STO and BTO/STO thin films

STO 캐패시터 박막을 측정시 인가전압을 증가할 때 박막의 두께 2000Å의 경우에 STO 캐패시터 박막의 증착시 기판온도와 인가전압에 따른 누설전류밀도의 특성곡선을 그림 2에 나타낸다. 박막 캐패시터의 누설전류값은 순방향전압 5[V]을 인가할 때 각각 기판온도에 의해서 9.1×10^{-5} [A/cm²], 7.1×10^{-5} [A/cm²], 5.5×10^{-5} [A/cm²]로 지수함수적으로 증가를 나타냈다. 온도가 높을수록 약간 높은 전압쪽으로 이동함을 보였다. 이와 같은 특성은 쇼트키형 전자방출에 의한 전자전도가 전자호핑 전도에 의한 특성으로 고려된다.

그림 3은 두께 2000Å의 BTO/STO 박막으로 인가전압과 증착시 기판온도에 따라서 누설전류밀도의 관계를 나타내었으며, 순방향 전압 5[V]을 인가할때는 각각 6.4×10^{-4} [A/cm²], 5.4×10^{-4} [A/cm²] 그리고 2.3×10^{-4} [A/cm²]의 누설전류값을 나타내었다. 전압 상승에 따라 STO 박막보다 누설전류 차가 더 크게 나타내고 있음을 알 수 있었다. 누설전류값은 기판온도가 낮을수록 두께가 증가할수록 증가를 보이고 있으며, 누설전류의 순방향 전압영역에서 포화영역은 각 온도에 대하여 1.25[V]으로 낮은 포화현상을 나타냈으나 STO 보다는 약간 높은 전압에서 포화영역이 존재함을 알 수 있었다. 순방향과 역방향 교차점 전압은 각각 기판온도에서 -1.5[V]을 나타내었다.

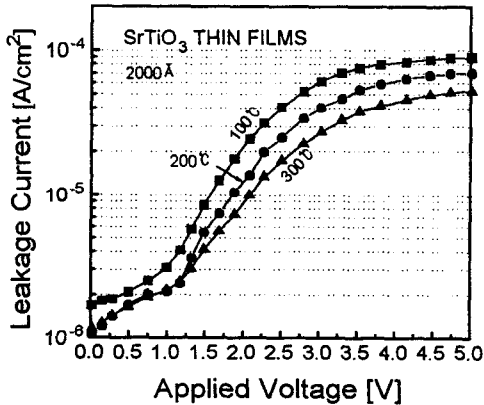


Fig. 2 The leakage current density vs. voltage characteristics of STO thin films

그림 4와 5는 증착온도 200°C와 2000Å 두께에서 STO 박막과 BTO/STO 박막의 캐패시턴스를 순방향 바이어스 전압과 역방향 바이어스 전압에 따라서 C-V 특성곡선을 나타내었다. 그림 4에서

캐패시턴스는 1.0V에서 -2[V]영역까지 공핍영역을 이루고 역방향 바이어스시에는 1.2[V]영역에서 -1.8[V]영역까지 공핍을 이루고 양(+)의 전압 영역에서 축적상태가 시작됨을 알 수 있었다. 그림 5에서는 주입형 방식에 의하여 전압 인가시 캐패시턴스는 1.3[V]에서 -1.6[V]영역에서 공핍형성, 역방향 바이어스시에는 1.8[V]에서 -1.4[V]영역에서 공핍, 1.5[V]영역에서 축적상태가 시작됨을 알 수 있다. 이와 같이 히스테리시스 현상을 보이는 이유는 전하주입에 의한 고정전하의 형성과 이동성전하의 이온화된 불순물 결합이나 금속 불순물 결합에 의한 트랩으로 계면전하와 유전성 분극반전에 의한 형상으로 생각된다.

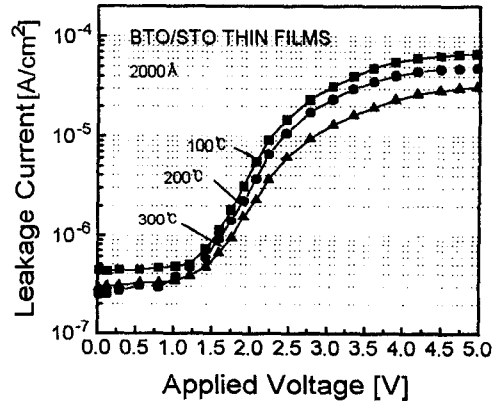


Fig. 3 The leakage current density vs. voltage characteristics of BTO/STO thin films

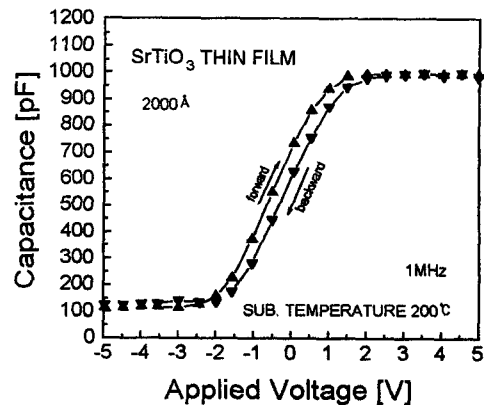


Fig. 4 Capacitance vs. voltage characteristics of STO thin films.

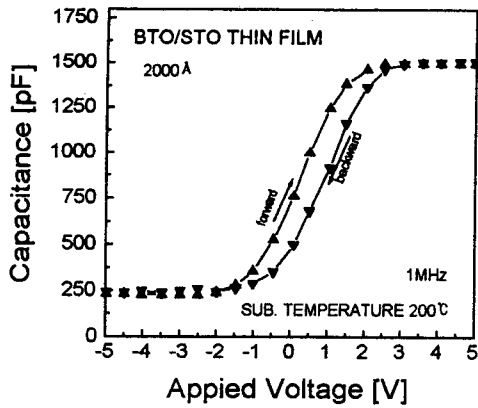


Fig. 5 Capacitance vs. voltage characteristics of BTO/STO thin films.

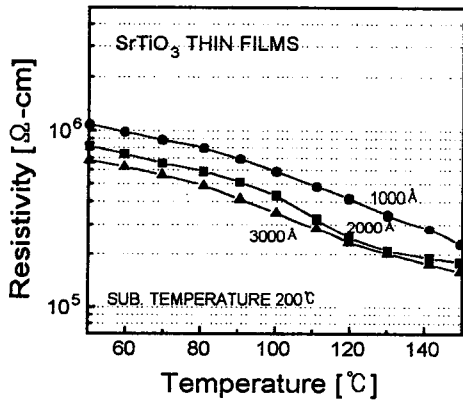


Fig. 6 Resistivity dependence of STO thin films as a function of sub. temperature(1KHz)

그림 6은 STO 박막의 저항특성을 측정시 온도 증가에 따른 저항율로 각 시료의 두께에서 측정된 값을 log 스케일로 나타내었다. 이때 STO 박막의 경우 온도증가에 따라서 일반적인 써미스터 특성을 보이고 있으며, NTCR 특성을 보이고 있다. 이 경우에 측정시 온도에 대한 저항율의 변화를 측정한 결과 온도의 상승에 비례하는 저항율의 선형적인 특성으로 Pool-Frenkel 전도성을 나타내었다. 이 때 상온에서 10^6 [Ω -cm] 정도의 저항율로 높은 절연성을 나타내었으며 두께가 두꺼울수록 저항값은 낮게 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 RF 스퍼터링 방법에 의해서 유전체 세라믹 캐패시터 박막을 제작하고 전기적인 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 누설전류밀도는 기판온도가 높을수록 높게 나타났으며 10^{-5} 값으로 낮은 누설전류밀도를 나타내었다.
2. 박막의 정전용량은 온도가 높을수록 높게 나타났으며 약 1000[pF] 정도로 히스테리시스 현상을 보였다.
3. 캐패시터의 비저항은 10^6 으로 높은 특성을 나타냈으며 절연체에서 요구되는 절연막으로의 적용성을 보였다.
4. 박막의 X-ray 회절피크는 STO에서 단일상의 단결정 박막으로 관측되었고 BTO/STO에서는 아몰퍼스 상을 나타내었다.

참고문헌

- (1). Masahiko Hiratani, Kazushige Imagawa and Kazumasa Takagi, "Orientation and crystal structure of SrTiO₃ thin films prepared by pulsed laser deposition," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34, 254-260, 1995.
- (2). Seigen Otani, Mami Kimura and Nobuo Sasaki, "Laser annealing of SrTiO₃ thin films deposited directly on Si substrates at low temperature," *Appl. Phys. Lett.*, 63(11), 4 October 1993.
- (3). K. Morii, H. Kawano, I. Fujii, T. Matui and Nakayama, "Dielectric relaxation in amorphous thin films of SrTiO₃ at elevated temperatures," *J. Appl. Phys.* 73(3), 1514-1919, 1 August, 1995
- (4). JOON SUNG LEE, HAN WOOK SONG, DAE SUNG YOON and SOO NO KWANG, "Preparation and characterization of SrTiO₃ thin films using ECR plasma assisted MOCVD," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 415, 183-188, 1996.
- (5). C. J. Brinker and G. W. Scerger, "Sol-Gel science," *Academic Press*, 1-10, 1990.
- (6). H. P. R. Frederikese and W. R. Hosier, "Hall Mobility in SrTiO₃," *Physical Review*, 161, 1968.
- (7). X. Chen, A. I. Kingon, et al, "Leakage and interface engineering in titanate thin films for non-volatile ferroelectric memory and ULSI drams," *Integrated Ferroelectrics*, 7, 293-306, 1995.