

RF Sputtering법에 의한 BaTiO₃ 세라믹스 박막의 전기적 특성

The Electrical Properties of BaTiO₃ Ceramics Thin Films by RF Sputtering Technique

이문기*	광운대학교 전자재료공학과
류기원	여주전문대학 전자과
배선기	인천대학교 전기공학과
이영희	광운대학교 전자재료공학과

Lee, Moon-Kee*	Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.
Ryu, Ki-Won	Dept. of Electronic, Yeo Joo Junior College
Bae, Seon-Gi	Dept. of Electric Eng., Inchon Univ.
Lee, Young-Hie	Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.

ABSTRACT

BaTiO₃ thin film capacitor were prepared on Pt(100)/SiO₂/Si(100)wafer by RF sputtering technique. Dielectric and electrical characteristics of the thin film capacitor are investigated. The Dielectric constant and loss were about 683 and 5[%], respectively. We found that the leakage current of thin film capacitor is depend on RF power during deposition. Because of increase of activation energy, leakage current incresed at high RF power and sheet resistivity of the films was decreased. Swithching voltage of thin film capacitor was 4.4[V]

1. 서 론

BaTiO₃계 강유전 세라믹스는 높은 유전상수($\epsilon > 2000$)와 낮은 유전손실 특성에 의하여 메모리 셀 및 박막 캐패시터로의 응용에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히 DRAM 캐패시터로 응용할 경우, 높은 유전상수와 낮은 누설전류가 요구되어 PZT, PLZT, BaTiO₃, (Ba,Sr)TiO₃ 등의 강유전체 박막들이 기존의 SiO₂, Si₃N₄의 대체 유전체 박막으로 보고되고 있다.^{1),2),3)} 그러나, 이들 재료중 PZT와

PLZT는 우수한 유전특성을 지니고 있으나 주된 구성성분인 Pb의 높은 휘발성(m.p=888°C)에 기인하여 열처리시 인접부문의 확산 및 높은 누설전류 등이 단점으로 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 유전특성은 PZT계에 비해 떨어지나 상대적으로 열적, 전기적 안정성이 우수한 BaTiO₃ 박막을 RF sputtering법으로 제조하였으며, 상부전극으로 내산화성과 화학적 안정도가 우수한 Pt를 DC sputtering법으로 증착한 후 박막

의 유전특성과 전기적 특성을 고찰하여 DRAM용 박막 캐패시터로서의 응용가능성을 조사하였다.

2. 실험

박막의 증착에는 RF sputtering machine (Anelva, SPF-201B)을 사용하였으며, Ar/O₂ 비, RF power, working pressure 및 열처리 조건 등을 변화시켜 최적 증착 조건을 결정하였다.

실험결과 최적 증착 조건은 각각 4/1, 120W, 12mTorr 그리고 650℃에서 1시간 열처리한 박막이었다.

증착된 박막은 DRAM용 캐패시터로서의 응용가능성을 고찰하기 위하여 그림 1과 같은 MFM-type 캐패시터로 제작하였다. Back-contact용 전극 및 상부전극($\phi=250[\mu\text{m}]$)으로 전기전도도가 우수한 Pt를 DC sputtering법으로 증착시킨 후, 음성 접촉을 향상시키기 위해 600[℃]로 열처리하였다.

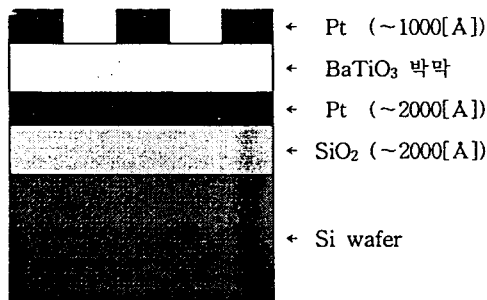


그림 1. MFM-type capacitor.

제작된 MFM-type 캐패시터의 주파수 및 인가전압에 따른 정전용량의 변화는 LCR-meter (ANDO, AG-4311B)를 이용하여 측정하였으며 C-V 특성을 측정하여 정전용량의 변곡점이 발생하는 스윓칭전압을 조사하였다. Sawyer-Tower 회로를 이용하여 D-E 히스테리시스 곡선을 측정한 후 포화분극, 잔류분극 및 항전계를 계산하였다.⁴⁾

MFM-type 캐패시터에 DC 5[V]를 인가하면서 시간에 따른 누설전류의 변화와 인가전압에 따른 박막의 면저항특성 및 누설전류의 변화를 Electrometer(Programmable Electrometer, Keithley 617)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

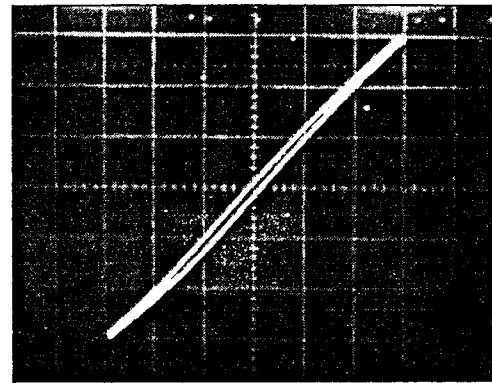


사진 1. BaTiO₃ 세라믹스 박막의 D-E 히스테리시스 특성

Sawyer-Tower회로로 관찰한 BaTiO₃ 박막의 히스테리시스 곡선은 사진 1과 같다. D-E 히스테리시스 곡선으로부터 관찰할 수 있는 바와 같이 박막은 메모리소자(DRAM)로 응용이 가능한 slim-loop의 이력특성을 나타내었으며 이때, 박막의 유전상수 및 유전손실은 각각 683, 5[%]였다. 박막의 포화분극, 잔류분극 및 항전계값은 각각 14[$\mu\text{C}/\text{cm}^2$], 0.93[$\mu\text{C}/\text{cm}^2$] 그리고 8.06[kV/cm]였다.

LCR-meter로 측정된 박막의 주파수 의존성과 전압의존성은 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

주파수변화에 따른 유전상수 및 유전손실은 주파수가 증가함에 따라 공간전하분극이 감소하고 이에 따라 유전상수와 유전손실이 감소하는 전형적인 유전분산특성을 나타내었다. 인가전압에 따른 박막의 C-V 특성곡선으로부터 박막의 스윓칭 전압은 4.4[V]였다. 높은 스윓칭전압특성은 박막 제

조사의 낮은 기판온도(<300°C)에 의해 박막이 완벽한 페로브스카이트 구조의 강유전상을 형성하지 못한 것에 기인한 것으로 증착시 기판의 온도를 500°C 이상으로 변화시킨다면 스위칭 전압을 낮출 수 있을 것으로 사료된다.

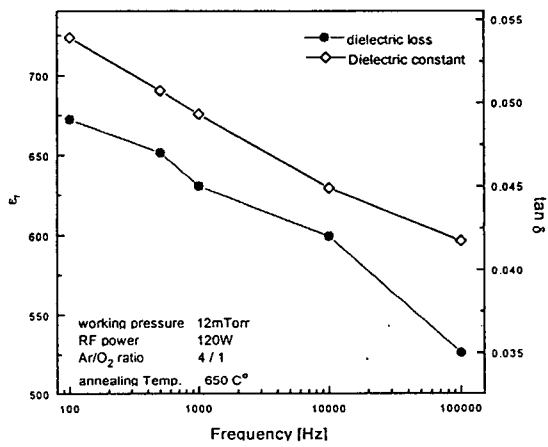


그림 2. 주파수에 따른 유전상수와 유전손실

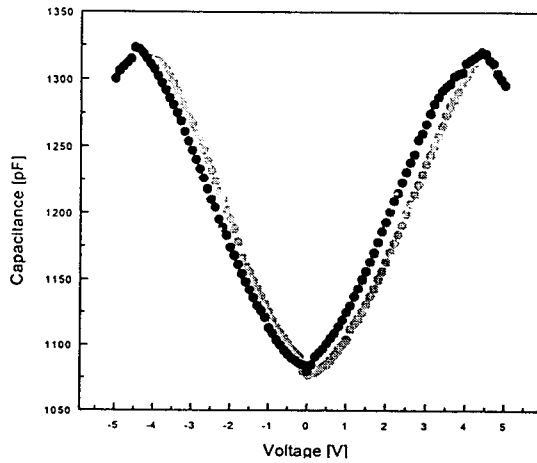


그림 3. 박막의 C-V 특성

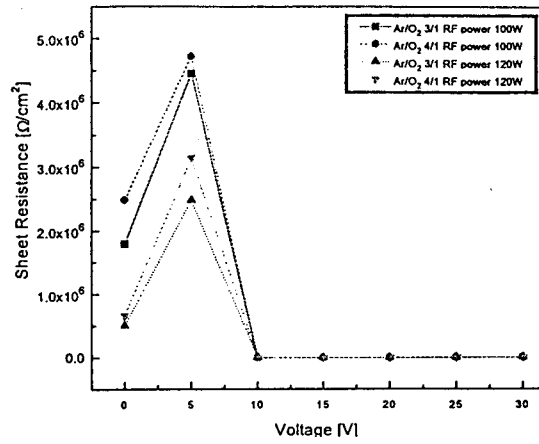


그림 4. 인가전압에 따른 BaTiO₃ 박막의 면저항

면저항의 변화를 관찰하기위해 Ar/O₂ 비가 3/1 과 4/1 그리고 RF power가 각각 100W와 120W일 로 변화시켰으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. RF power에 따라 면저항의 값은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 RF power의 증가에 따라 증착되는 박막의 활성화 에너지가 커져 전자의 이동이 활발해지고 이에따라 누설전류가 증가하였기 때문 이라 사료된다. 10[V] 이상에서는 캐패시터의 절연 파괴에 의하여 면저항은 급격히 감소하였다.

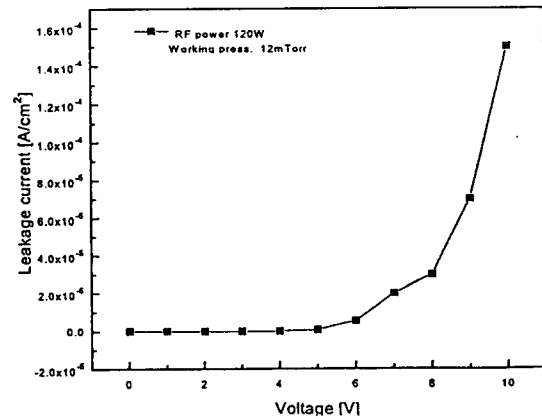


그림 5. 인가전압에 따른 BaTiO₃ 박막의 누설전류

그림 5는 인가전압에 따른 BaTiO₃ 박막 캐패시터의 누설전류의 변화를 나타낸 것이다. 6[V]까지는 전압에 거의 영향을 받지 않았으나 7[V]이상에서는 BaTiO₃ 박막 캐패시터의 절연파괴에 의해 지수함수적으로 증가하였다. 또한 박막 캐패시터의 시간에 따른 누설전류를 10초 간격으로 1800초까지 측정하였으며 그림 6에 나타내었다. 그림에서와 같이 초기에는 상부 및 하부전극과 박막사이의 계면에 축적된 전하의 이동에 의해 누설전류가 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 250초 이후에는 박막 내부의 구조적 결함에 의해 생성된 트랩내 전하의 포획이 증가하여 누설전류의 흐름이 완만해졌으며 700초이후에는 2.44×10^{-7} [A/cm²]의 값으로 안정화 되었다.

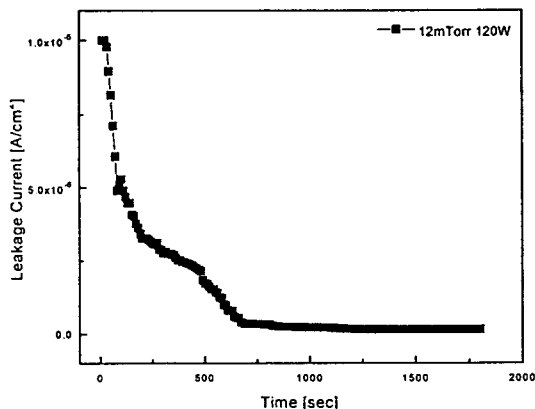


그림 6. 시간에 따른 BaTiO₃ 박막 캐패시터의 누설전류

4. 결 론

본 연구에서는 RF sputtering 방법으로 BaTiO₃ 박막 캐패시터를 제조한 후, 유전 및 전기적 특성을 조사하였다.

1. Ar/O₂ 비 4/1, RF power 120W, working pressure 12mTorr에서 증착한 후 650℃에서 1[hr] 열처리한 박막의 유전상수 및 유전손실은 각각

683과 5[%]이었으며 이때의 잔류분극 및 항전계는 0.93[μ C/cm]과 8.06[kV/cm]였다.

2. 주파수변화 및 인가전압에 따른 BaTiO₃ 박막 캐패시터의 유전상수의 변화를 관찰한 결과 주파수가 증가함에 따라 전형적인 유전분산특성이 관찰되었다. C-V 특성 곡선으로부터 스윗칭 전압은 4.4[V]였으며 증착시 기판온도를 높인다면 스윗칭전압이 개선되어질 것으로 사료된다.

3. RF power가 증가함에 따라 증착된 박막의 활성화 에너지 및 충돌에 의해 생성된 열전자의 증가에 의해 면저항은 감소하였으며, 10[V]이상의 전압에서는 절연파괴에 의한 누설전류의 증가로 면저항은 급격히 감소하였다.

4. 6[V]이상의 전압에서 박막의 누설전류는 절연파괴에 의해 지수함수적으로 증가하였으며, DC 5[V]를 인가한 박막의 경우 700초 이후에서 누설전류는 2.44×10^{-7} [A/cm²]로 안정화되었다.

이상의 실험 결과로부터 BaTiO₃ 세라믹스 박막은 증착시 기판온도를 높여 박막의 스윗칭 전압을 더욱 낮춘다면 DRAM용 캐패시터 박막으로 응용가능할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Tsuyama et al., Preparation of SrTiO₃ Films on 8-inch Wafers by Chemical Vapor Deposition, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35, 9B, 1996, 4875.
- [2] T. Sumi, Ferroelectric Nonvolatile Memory Technology, *IEICE Trans. Electron.*, E-79-C, 6, 1996, 812
- [3] M. Suzuki, Review on Future Ferroelectric Nonvolatile Memory: FeRAM, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 103, 11, 1995, 1099
- [4] M. Marutake, "IRE standards on piezoelectric crystals", *Proc. Vol.46*, pp.764-778, 1958