

다결정 및 다층구조 BaTiO₃ 박막의 Time-Dependent Dielectric Breakdown 특성

오정훈*, 송만호, 이윤희, 박창엽*, 오명환
한국과학기술연구원 정보전자연구부
*연세대학교 전기공학과

Time-Dependent Dielectric Breakdown of
a Polycrystalline and a Multilayered BaTiO₃ Thin Films

Jeong-Hoon Oh^o, Man-Ho Song, Yun-Hi Lee,
Chang-Yub Park*, and Myung-Hwan, Oh
KIST
*Yonsei University

ABSTRACT

The dielectric reliability of a polycrystalline and a multilayered BaTiO₃ thin films was evaluated using a time-zero dielectric breakdown (TZDB) and a time-dependent dielectric breakdown (TDDB) techniques. The BaTiO₃ thin films were prepared by rf-magnetron sputtering technique on ITO-coated glass substrates. In case of the multilayered BaTiO₃ thin film, the dielectric breakdown histogram, which was obtained from the TZDB measurements, showed a typical Weibull distribution. While in case of polycrystalline BaTiO₃ thin film, a randomly distributed dielectric breakdown histogram was observed. The TDDB results of the multilayered BaTiO₃ thin film guaranteed about 10⁵ hours-operation under the stress field of 1 MV/cm.

1. 서론

차세대 평판 표시소자의 하나인 thin film electroluminescent device (TFELD) 의 구동특성은 사용된 절연박막의 물성에 의하여 좌우된다. 저소모 전력형 TFELD를 구현하기 위해서는 높은 유전율과 우수한 절연특성을 갖는 고품위 절연박막이 필수적일 뿐만 아니라 TFELD의 구동 안정성은 사용된 절연박막의 절연 신뢰도와 직접적으로 관계된다.

고유전율을 특징으로하는 다결정 BaTiO₃ 박막을 TFELD용 절연박막으로 사용하는 경우에는 구동전압은 다소 감소하나, BaTiO₃ 박막의 높은 누설전류특성으로 인하여 TFELD의 효율이 크게 감소하는 등의 문제점이 있다.[1] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제조된 다층구조 BaTiO₃ 박막은 고유전율과 우수한 절연특성을 나타내며 TFELD용 절연박막으로서의 응용가능성이 확

인된 바 있다.[2]

본 연구에서는, 다결정 및 다층구조 BaTiO₃ 박막의 절연 신뢰성을 time-zero dielectric breakdown (TZDB, ramp-voltage-stressed; I-V) 기법과[3,4] time-dependent dielectric breakdown (TDDB, constant-voltage-stressed; I-t) 기법을[3-6] 사용하여 평가하였으며 얻어진 결과를 이들 박막을 사용하여 제조된 TFELD의 안정성 및 수명 예측에 활용하고자 하였다.

BaTiO₃ 박막의 TZDB 측정 결과로부터 인가된 전기장 강도에 따른 절연파괴의 분포를 산출하여 high-field intrinsic dielectric integrity를 확인하였다. 또한, TDDB 기법을 사용하여 BaTiO₃ 박막의 내부 잠재결함을 가속열화시켜 시간에 따른 절연파괴 특성을 살펴봄으로써 절연 신뢰성과 관련된 전기가속인자(electric field acceleration factor)를 산출하고 이를 이용하여 절연막의 수명을 예측하였다.[3,4,7]

2. 시편 준비 및 측정

BaTiO₃ 박막은 rf-magnetron sputtering 방법으로 제조하였으며 기판으로는 ITO가 코팅된 유리 (Corning 7059)를 사용하였다. 직경 4인치의 BaTiO₃ 세라믹 소결체 (Cerac. Co. 순도 99.9%)를 타겟으로 사용하였으며 증착시 타겟에 인가된 rf-power 밀도는 2.5 W/cm² 이었다. 박막제조시 초기진공은 5×10⁻⁵ torr, 박막 형성시의 플라즈마 압력은 4 mtorr로 유지하였으며 반응기체로 주입된 산소분압은 약 20%로 하였다. 다결정질 BaTiO₃ 박막 제조시의 기판온도는 550℃로 유지하였으며 다층구조 BaTiO₃ 박막은 새로운 적층 방법을 사용하여 형성하였다.[2]

제조된 박막의 두께는 TENCO α-200 model의 stylus를 사용하여 측정하였으며 박막의 결정상을 조사하기 위하여 X-선 회절 분석 실험을 하였다. BaTiO₃ 박막위에 원형의 개구가 형성된 금속 마스크를 얹고 알

루미늄 전극을 열 증착하여 ITO-BaTiO₃-Al 구조의 MIM 캐패시터를 형성한 후 전기적 특성을 평가하였다.

Ramp voltage stress I-V 특성(TZDB)과 TDDB 특성은 Keithley 237 High voltage source & measure unit 를 사용하여 상온, 상압에서 측정하였다. 캐패시터의 절연파괴 강도는 10 mA 이상의 전도전류가 흐르기 시작하는 시점에 인가된 외부전압의 크기를 항복전압으로서 정의하고 소자의 두께를 고려하여 산출하였다. TDDB 측정시, 캐패시터에 일정한 전압을 인가한 후 0~1000 초의 시간 간격에서 절연파괴를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

제조된 다결정 및 다층구조 BaTiO₃ 박막의 두께는 각각 2500 Å와 4000 Å이었다.

Ramp-voltage-stress 하의 절연파괴 분포를 조사하기 위하여 다층구조 및 다결정 BaTiO₃ 각각의 박막에 형성된 180 개의 캐패시터에 대해 측정하였다. 그림 1은 다층구조 및 다결정 BaTiO₃ 박막의 절연파괴 분포를 인가된 전기장과 파괴율의 관계로 나타낸 결과이다. 다층구조 BaTiO₃ 박막의 분포도는 전형적인 절연막의 파괴 분포인 weibull 분포를[7] 보이나, 다결정 BaTiO₃ 단일박막은 최대 빈도의 절연파괴를 나타내는 특성 전기장 값을 결정하기 어려울 정도로 인가전기장 영역내에서 제멋대로 파괴현상이 발생됨을 볼 수 있다. 또한, 다결정 BaTiO₃ 단일박막은 2 MV/cm 이하의 전기장에서 모두 절연파괴를 일으킨 반면, 다층구조 BaTiO₃ 박막의 경우에 2 MV/cm 이상의 절연파괴강도를 보이는 캐패시터가 상당수 확인되었다. 이상의 결과로 부터 다층구조 BaTiO₃ 박막은 다결정 BaTiO₃ 박막에 비해 고전계하에서 대체로 균일한 절연특성을 나타낸다는 사실이 확인되었다.

TDDB 측정을 위하여 그림 1의 분포도에서 최고 빈도수를 보이는 영역의 전기장을 인가하여 시간에 따른 절연파괴 거동을 살펴보았다. 다층구조 BaTiO₃ 박막의 경우 1.3, 1.45, 1.6 MV/cm의 전기장을 인가하였으며 다결정 BaTiO₃ 박막의 경우에는 0.8, 1.0, 1.2 MV/cm의 전기장을 각각 인가하였다. 다층구조 및 다결정 BaTiO₃ 단일박막의 TDDB 결과로부터 얻어진 절연파괴시간에 따른 누적 불량율의 관계를 그림 2와 그림 3에 각각 나타내었다.

그림 2에 나타낸 다층구조 BaTiO₃ 박막의 경우에는 SiO₂, SiON 박막에서 보고된 바[3-6]와 같이 누적불량율이 전기장 인가시간에 비례하여 증가하며 인가 전기장의 강도가 증가함에 따라 직선의 기울기는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 인가 전기장의 강도가 증가함에 따라 가속열화가 촉진되고 있음을

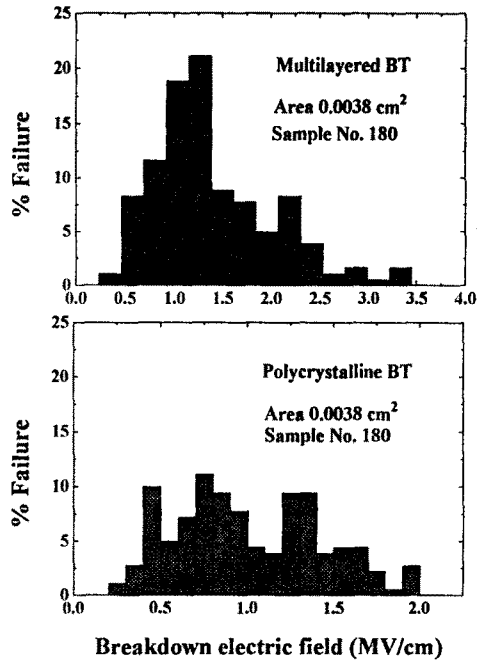


Fig. 1. The dielectric breakdown histograms of a polycrystalline and a multilayered BaTiO₃ thin films

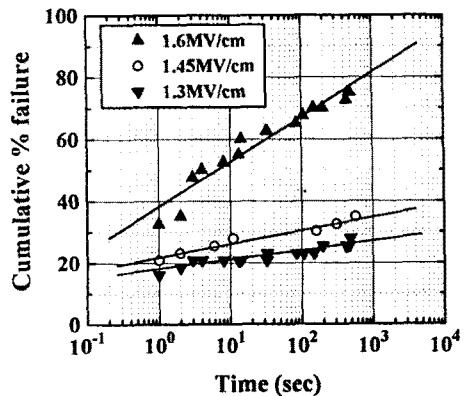


Fig. 2. The TDDB results of a multilayered BaTiO₃ thin film

보여준다. 그림 3에 나타낸 다결정 BaTiO₃ 단일박막의 경우에는 인가 전기장에 따른 누적불량율의 일관된 경향을 확인하기 어려우며 이와 같은 측정 결과는 그림 1의 분포도에서 확인된 다결정 BaTiO₃ 단일박막의 산발적인 절연파괴특성과 직접적으로 관계된다. 최대 빈도수를 나타내는 절연파괴 강도가 존재하지 않는다는 사실은 박막의 절연파괴를 유발하는 물리적인 원인을 예상하기 어려울 뿐만 아니라 이와 같은 경우, 전기장 인가시간에 무관하여 전계가속인자를 결정할 수 없다.

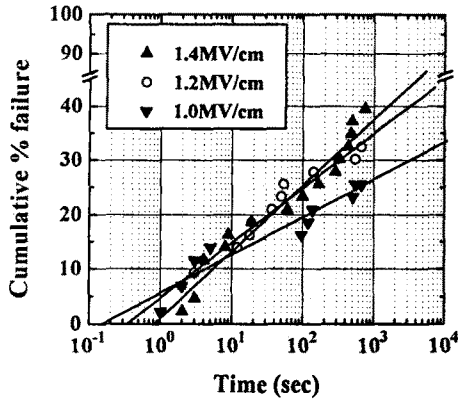


Fig. 3. The TDDB results of a polycrystalline BaTiO₃ thin film

다층구조 BaTiO₃ 박막의 전계가속인자를 구하기 위하여 본 연구에서는 절연박막의 수명을 30%의 누적 불량율에 이르는 시간으로 설정하였으며 인가 전기장의 강도와 시간의 관계를 그림 4에 나타내었다. 30%의 누적 불량율에 이르는 시간은 인가 전기장의 강도가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하는 것이 확인되었으며 이러한 경향은 단일 SiO₂과 SiON 박막에 대해 보고된 경향과 매우 유사하다.[3,4,7]

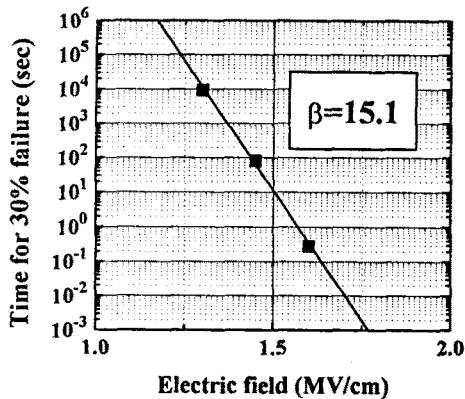


Fig. 4. The time to 30% failure as a function of the electric field for a multilayered BaTiO₃ thin film

그림 4에 나타낸 그래프의 기울기는 전계가속인자(β)로서 정의되며 다층구조 박막의 경우 전계가속인자는 약 15.1인 것으로 계산된다. 이는 인가 전기장의 강도가 1 MV/cm 증가할 때 30% 누적 불량율에 이르는 시간이 10^{-15} 만큼 감소함을 의미한다.

본 실험에서 측정된 결과로부터 다층구조의 BaTiO₃ 박막을 TFELD 소자에 사용할 경우, 절연층만의 동작 수명을 예측할 수 있다. 즉, EL 소자의 구동시

절연박막에는 약 1 MV/cm의 전기장이 인가되므로, 다층구조 BaTiO₃ 박막은 1 MV/cm의 전기장 인가시에 약 10^5 시간(11.5년) 이상 절연층으로서 동작할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

다층구조 및 다결정 BaTiO₃ 단일박막의 절연 신뢰성을 TZDB와 TDDB 기법을 사용하여 평가하였다. 다층구조 BaTiO₃ 박막의 절연파괴 분포도는 전형적인 절연막의 특성을 나타내는 Weibull 분포 특성을 보였으나 다결정 BaTiO₃ 단일박막은 산재된 분포를 보였다.

다층구조 BaTiO₃ 박막의 경우, 누적 불량율에 이르는 시간과 인가 전기장의 관계로부터 30% 누적 불량율에 대한 전계가속인자($\beta=15.1$)를 확인할 수 있었으며 이로부터 1 MV/cm의 인가 전기장에서 약 11.5년의 수명을 예측할 수 있었다.

다결정 BaTiO₃ 단일박막의 경우, 산재된 절연파괴 분포도와 TDDB 결과를 보이므로 전계가속인자를 통하여 수명을 예측할 수 없었다. 차후, 이러한 결과의 원인을 밝혀내기 위한 실험으로써 박막의 두께 또는 형성시 온도 등을 가변시켜 측정해 볼 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] M. H. Song, Y. H. Lee, T. S. Hahn, M. H. Oh, *J. Cryst. Growth submitted*.
- [2] M. H. Song, Y. H. Lee, T. S. Hahn, M. H. Oh, *J. Appl. Phys.*, Vol. 79, No. 7, 3744 (1996).
- [3] K. Yamabe and K. Taniguchi, *IEEE Trans. Electron Devices ED-32*, No.2, 423 (1985).
- [4] C. F. Chen, C. Y. Wu, M. K. Lee, and C. N. Chen, *IEEE Trans. Electron Devices ED 34*, NO.7, 1540(1987).
- [5] J. Ahn, A. Joshi, G. Q. Lo, and Dim-Lee Kwong, *IEEE Electron Device Letters*, Vol.13, No.10, 513(1992).
- [6] A. B. Joshi, D. L. Kwong, and S. Lee, *Appl. Phys. Lett.* Vol.60, No.12, 1489 (1992).
- [7] R. Bartrikas, "Engineering Dielectrics," 490 (1987).