

절연 신뢰성 평가를 이용한 다층구조 BaTiO₃ 박막의 전기적 특성 평가

오정훈, 김영식, 이윤희, 박창엽*, 오명환
한국과학기술연구원 정보재료·소자연구센터, *연세대학교 전기공학과

Study on the Electric Property of multilayered BaTiO₃ thin film using t Reliability test

Jeong-Hoon Oh, Young-Sik Kim, Yun-Hi Lee, Chang-Yub Park*, Myung-Hwan KIST, *Yonsei Univ.

Abstract - 서로 다른 두께를 가진 다층구조 BaTiO₃ 박막의 절연신뢰성을 time-zero dielectric breakdown (TZDB) 기법과 time-dependent dielectric breakdown (TDDB) 기법을 사용하여 평가하였으며 통계적 방법을 이용하여 그 결과를 분석하였다. 다층구조 BaTiO₃ 박막은 rf-magnetron sputtering 방법으로 ITO가 코팅된 유리기관 위에 형성되었다. TZDB 측정 결과, 박막의 두께가 증가할수록 최고 빈도수를 보이는 항복전기장의 세기는 낮아지는 것으로 확인되었으며, 두께에 따라 다른 항복전기장의 분포를 보였다. TDDB 결과로부터 박막의 두께 증가에 따라 안정적인 시간거동 특성이 확인되었으며 이것은 항복전기장의 분포 특성과 관계가 있는 것으로 보인다.

다층구조 BaTiO₃ 박막은 rf-magnetron sputtering 방법으로 제조하였으며, 기관으로 ITO가 코팅된 유리(Corning #7059)를 사용하였다. 박막의 형성 조건을 표 1에 정리하였다.

Table 1. Condition of the deposition

Target	4 inch-diam. Cerac. Co.
Work pressure	4 mTorr
Reactive gas	O ₂ (20%)
Temperature	550°C → 100°C

1. 서 론

차세대 평판 정보표시 소자 중의 하나인 교류구동형 전기장 발광 소자 (alternating current thin film electroluminescent device: AC TFELD)에서 사용되는 절연막은, 높은 구동 전기장 하에서 발광층이 절연항복되는 것을 방지하며, 발광층과 적절한 계면을 형성하여 EL 과정의 source 전자를 제공하고 재포획하는 등의 역할을 한다. 따라서 TFEL 소자의 동작특성은 발광층 자체의 물성뿐만 아니라 절연층의 전기적 특성과 두 층 사이의 계면 특성 등에 의해 좌우된다.

앞선 실험에서는, 낮은 전압에서 턴온되며 효율이 높은 소자를 구현하기 위하여 다층구조 BaTiO₃를 절연막으로 사용하였으며, 그 응용가능성을 확인하였다.[1], [2] 본 실험에서는 다층구조 막의 두께를 가변하여 절연신뢰성을 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 시편 준비 및 측정

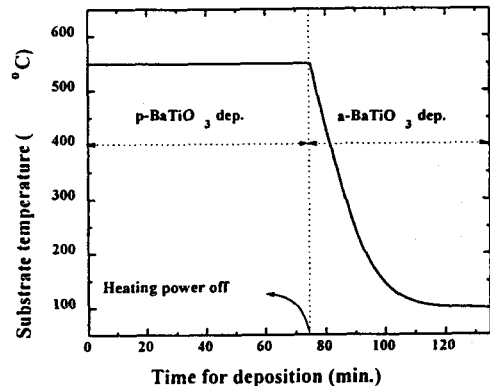


Fig. 1. Change of substrate temperature during the deposition of multilayered BaTiO₃ thin films.

박막 형성은 그림 1에서 보인 바와 같이 기관 온도의 자연서냉과정을 이용한 연속적층 방법을 사용하였다.[1], [2] 상부 비정질층은 일정한 두께(약 100nm)로 형성하였고 하부 다결정층은 각각 100, 300, 600nm의 두께로 변화시켜가며 제조하였다. 제조된 박막의 두께는 TENCOR a-200 model의 stylus를 사용하여 측정하였으며 박막위에 지름이 0.7mm인 원형의 개구가 형성된 금속 마스크를 얹고 알루미늄 전극을 열 증착하여 ITO/BaTiO₃/Al

구조의 MIM 캐패시터를 형성한 후 전기적 특성을 평가하였다.

TZDB와 TDDB 특성은 Keithley 237 high voltage source & measure unit를 사용하여 측정되었으며, 캐패시터의 항복 전기장의 세기는 10mA 이상의 전도전류가 흐르기 시작하는 시점에 인가된 외부전압의 크기를 항복전압으로 정의하고 박막의 두께를 고려하여 산출하였다. TDDB 특성의 측정 시, 캐패시터에 일정한 전기장을 인가한 후 0~1000초의 시간 간격에서 절연항복을 관찰하였다. TZDB의 경우에는 각각의 두께에 대하여 약 200개씩의 캐패시터를 측정하였으며, TDDB 측정은 각각 약 50개의 캐패시터가 사용되었다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 TZDB 기법을 이용한 절연항복 전기장 분포 특성에 대한 분석

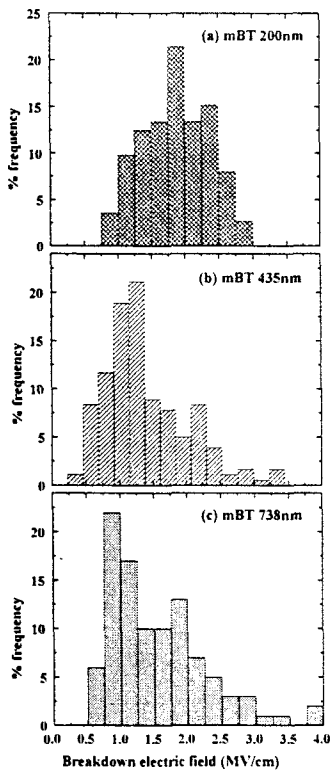


Fig.2. Breakdown histograms of multilayered BaTiO₃ thin films with three different thickness.

그림 2는 TZDB 방법으로부터 얻어지는, 서로 다른 두께를 가지는 다층구조 BaTiO₃ 박막에 대한 절연항복 전기장의 분포를 나타낸다.[3], [4] 그림에서 보는 바와 같이 막의 두께가 두꺼워질수록 최대 빈도수를 보이는 항복 전기장의 세기는 낮아지며, 또한, 항복전기장의 분포 형태가 두께에 따라 달라

지는 것을 볼 수 있다. 그림 2(a)의 200nm 두께를 가지는 박막의 경우는 그 분포 형태가 정규분포의 형상을 나타내는 반면, 그림 2(b), (c)에서 두께가 435nm와 738nm인 박막의 분포형태는 Weibull 분포의 형태를 나타낸다. 일반적으로, Weibull 분포는 전기절연강도나 시간에 대한 파괴율의 데이터에 가장 잘 적용되는 것으로 받아들여지고 있으므로 각각 다른 두께를 가지는 박막에 대한 분포가 어떤 분포함수에 적절히 대응되며 그 함수로부터 얻어지는 데이터들이 실험값과 잘 일치되는지를 조사하는 것은 박막의 절연신뢰성을 평가하는 데에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.[5]

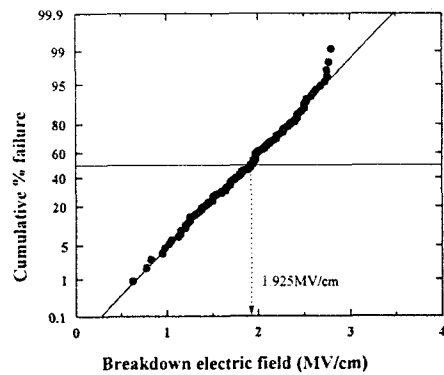


Fig.3. Normal distribution plot of 200nm-thick multilayered BaTiO₃ thin film.

Table 2. Statistical data calculated from the experimental results of multilayered BaTiO₃ thin films with three different thickness

	Mean	Standard deviation
200nm	1.886MV/cm	0.50567
435nm	1.423MV/cm	0.73477
738nm	1.536MV/cm	0.71085

200nm 두께의 다층구조 BaTiO₃ 박막의 절연항복 전기장에 대한 누적분포함수를 확률함수의 좌표계를 사용하여 그림 3에 나타내었다. 이러한 좌표계를 사용하였을 때, 그래프가 선형성을 보이면 데이터가 정규분포의 함수를 따르는 것을 나타내며, 50% 확률을 나타내는 데이터는 측정대상 고유의 평균값을 나타낸다. 그림 3에 보여진 200nm 박막의 경우는 그래프의 선형성으로부터 항복 전기장의 분포가 정규분포 함수를 따른다는 것을 확인할 수 있으며 50% 누적분포함수의 직선과 만나는 점의 전기장의 세기인 1.925MV/cm는 표 2의 실험데이터로부터 계산되어진 평균 절연항복 전기장의 값과 비교적 일치한다는 사실을 확인할 수 있다.

435nm와 738nm 두께의 다층구조 BaTiO₃ 박막의 항복 전기장에 대한 누적분포함수를 확률함수의 좌표

계를 사용하여 그림 4에 각각 표시하였다. 그림 4에서는 항복 전기장의 축이 정규분포 그래프의 경우와는 달리 로그함수로 표시된 것을 알 수 있다. 이러한 좌표계에서 그래프의 선형성은 데이터가 Weibull 함수를 잘 만족하고 있다는 것을 나타내며 63.2% 선과 만나는 점은 데이터의 특성 항복스트레스(characteristic breakdown stress; a)라고 불리며, 이 값은 측정대상의 고유 평균값을 표시한다.

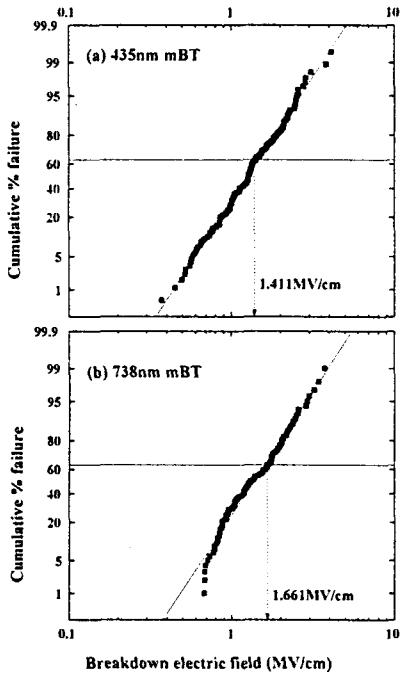


Fig.4. Weibull stress plots of multilayered BaTiO₃ thin films with different thickness.

그림 4에서 각각의 그래프가 선형성을 나타내므로 435nm와 738nm 두께를 가지는 다층구조 BaTiO₃ 박막의 경우는 전형적인 절연 파괴의 분포인 Weibull 분포 함수의 특성을 비교적 잘 따르고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 각각의 특성 항복스트레스도 실험으로 구해진 평균값(표 2)과 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 아래의 Weibull 함수를 나타내는 식에 위에서 구해진 특성 항복스트레스 값을 대입한 후 그림 4에서 그려진 실험데이터의 그래프에 적용하면 스트레스 변수(stress parameter; β , a), 즉, 측정대상의 표준편차를 구할 수 있으며 이 값들은 435nm와 738nm의 박막 모두의 경우에 약 2.2의 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

2.2.2 TDDb 기법을 이용한 절연항복의 시간 거동에 대한 분석

그림 2의 분포도에서 각각 최대 항복빈도수를 보

이는 영역의 전기장을 인가하여 시간에 따른 절연 항복의 거동을 살펴보았으며, 이러한 TDDb 기법을 이용하여 얻어진 시간에 대한 누적불량율의 관계를 확률함수의 좌표계를 이용하여 그림 5에 나타내었다. Weibull 분포에서 데이터를 잇는 직선과 누적 불량율이 63.2%인 직선이 만나는 점의 시간을 일반적으로 특성시간-불량율(characteristic time to failure; a)이라고 표시한다.

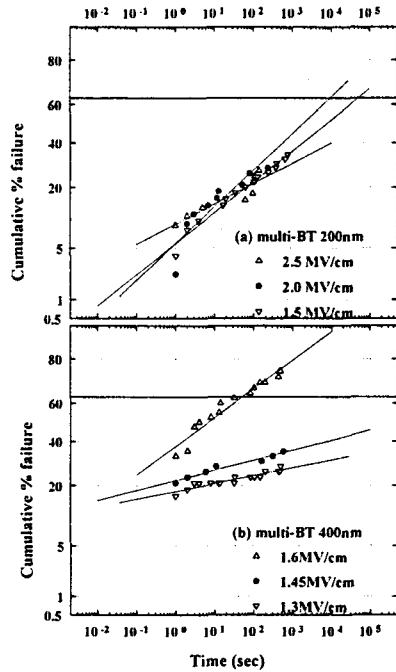


Fig.5. Weibull time plots of multilayered BaTiO₃ thin films with different thickness.

그림 5(b)에서 400nm 두께의 다층구조 BaTiO₃ 박막은 인가된 전기장의 세기가 증가할수록 누적불량율이 점차 증가되고 있으나 그림 5(a)의 200nm 두께를 가지는 박막의 경우에는 뚜렷이 드러나는 거동을 보이지 않는다. 이것의 본 실험에서 측정된 200nm 박막의 항복전기장의 분포가 Weibull 분포를 따르지 않기 때문인 것으로 보인다.

그림 5(b)에서 63.2%의 누적불량율을 나타내는 시간, 즉, 특성시간-불량율은 일정하게 가해진 전기장의 세기가 1.6, 1.45, 1.3MV/cm일 때 각각 52.21, 9.5×10^7 , 2.8×10^{12} 초였다. 그러나 그림에서 알 수 있듯이 기율기에서 결정되는 변수인 시간변수(time parameter; β , b)가 전기장의 세기에 따라서 크게 변화한다. 따라서 Inverse Power Model[5]을 이용한 수명예측에는 어려움이 있다.

위의 두가지 분석에서 박막의 두께가 절연신뢰성에 미치는 영향을 통계적인 방법을 통하여 알아보

았다. 다층구조에서 하부층과 상부층의 두께의 비가 1:1일때는 절연항복 전기장의 분포특성이 정규분포를 나타내며 따라서 시간거동 그래프에서도 뚜렷한 특성을 나타내지 못하였다. 이것은 다층구조 형성시에 생성되는 것으로 생각되고 있는 전이영역의 두께가 얇으므로 상, 하부층의 계면에서 충분한 스트레스 완화의 역할을 하지 못하기 때문에 발생하는 결과로 생각될 수 있다.[6] 또한, 400nm 두께를 가지는 박막의 경우, Weibull 시간거동 그래프에서 시간변수가 인가된 전기장의 세기에 따라 변화되는 것도 박막이 다층 구조로 형성되어 있는 것에 원인이 있는 것으로 생각된다.

3. 결 론

본 연구에서는 TZDB와 TDDB 기법을 사용하여 서로 다른 두께의 다층구조 BaTiO₃ 박막의 절연신뢰성을 조사하였으며 통계적 방법을 이용하여 그 결과를 분석하였다. TZDB 측정 결과, 박막의 두께가 증가할수록 최대빈도수를 보이는 항복전기장의 세기는 낮아지는 것으로 확인되었다. 또한 절연항복 분포특성에서 200nm 두께의 박막의 경우는 정규분포함수를 따르는 반면에, 435nm와 738nm 두께를 가지는 박막의 경우는 전형적인 절연항복의 전기장 분포특성인 Weibull 분포함수를 따르는 것으로 확인되었다. TDDB 결과, 400nm 박막의 경우는 인가 전기장의 세기에 따라 누적불량율이 증가하는 시간거동 특성을 보였으나 기울기가 인가 전기장의 세기에 따라 달라지므로 수명예측에는 어려움이 있다. 200nm 박막의 경우는 인가 전기장의 세기에 대한 뚜렷한 시간거동 특성을 나타내지 못하였으며, 이것은 항복 전기장이 Weibull 분포특성을 따르지 않음으로써 기인되는 것으로 보인다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. H. Song et al., "Effects of a new stacking method on characteristics of multilayered BaTiO₃ thin film", J. Appl. Phys., vol.79(7), pp.3744-3748, 1996
- [2] M. H. Song et al., " Characteristics of amorphous/polycrystalline BaTiO₃ double layer thin films with high performance prepared new stacking method and its application to AC TFEL device", J. of Korea Ceramic Society, vol.32(7), pp.761-768, 1995
- [3] K. Yamabe et al., "Time-dependent dielectric breakdown of thin thermally grown SiO₂ films", IEEE Trans. Electron Devices, ED-32(2), pp.423-428, 1985
- [4] C. F. Chen et al., "The dielectric reliability of intrinsic thin SiO₂ films thermally grown on a

- heavily doped Si Substrate-characterization and modeling", IEEE Trans. Electron Devices, ED-34(7), pp.1540-1551, 1987
- [5] R. Bartnikas, "Engineering Dielectrics". Special Tech. Pub., PP.490-529, 1987
- [6] J. H. Oh et al., "Effects of the thickness on the dielectric reliability of multilayered BaTiO₃ Insulating layer", Proceedings of 5th ICPADM, vol.2, pp.1026-1029, 1997