

# 플라즈마 표면 처리가 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전기적 특성에 미치는 효과에 관한 연구

論 文  
48C-5-7

## Influences of Plasma Treatment on the Electrical Characteristics of rf-magnetron sputtered BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> Thin Films

金瑛植\* · 李允熙\*\* · 朱炳權\*\* · 成萬永<sup>§</sup> · 吳明煥\*\*\*

(Kim Young Sik · Lee Yun Hi · Ju Byeong Kwon · Sung Mang Young · Oh Myung Hwan)

**Abstract** - Direct current(d.c.) leakage current voltage characteristics of radio-frequency magnetron sputtered BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> film capacitors with aluminum (Al) top and indium tin oxide (ITO) bottom electrodes have been investigated as a function of applied field and temperature. In order to study surface treatment effect on the electrical characteristics of as-deposited film we performed exposure of oxygen plasma on BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> surface. d.c. current-voltage (I-V), bipolar pulse charge-voltage (Q-V), d. c. current-time (I-t) and capacitance-frequency (C-f) analysis were performed on films. All of the films exhibit a low leakage current, a high breakdown field strength (3MV/cm-4.5MV/cm), and high dielectric constant (20-30). From the temperature dependence of leakage current, we can conclude that the dominant conduction mechanism is ascribed to Schottky emission at high electric field (>1MV/cm) and hopping conduction at low electric field (<1MV/cm). According to our results, the oxide plasma surface treatment on as-deposited BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> resulted in lowering interface barrier height and thus, leakage current when a negative voltage applied to the Al electrode. This can be explained by reduction of surface contamination via etching surface and filling defects such as oxygen vacancies.

**Key Words** : BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films, ACTFELD, Oxygen Plasma treatment, High dielectric constant

### 1. 서 론

최근 고집적, 대용량, 극초미세 전자소자에서 요구되는 다양한 조건을 만족시킬 수 있는 우수한 특성의 고유전 박막에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재 전자 소자 분야에서 주로 사용되는 절연, 유전 박막으로는 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiON 등이 있으며, 이들 박막의 정전 용량을 증가시키기 위하여 박막의 두께 또는 형상을 제어하는 연구와 함께 BaTiO<sub>3</sub>로 대표되는 ABO<sub>3</sub> 구조의 페롭스카이트 재료[1]와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>[2] 같은 고유전율을 지닌 새로운 물질 개발이 중요한 연구 대상이 되고 있다. 그러나 형상을 제어하는 방법에 대한 연구는 집적도 증가에 따라 연구 범위에 한계가 있으며, 고유전 박막의 경우 고온 공정에서의 결정화에 따른 누설 전류의 증가 현상 등의 많은 문제점을 나타내고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 낮은 누설 전류를 갖는 고유전 재료의 개발이 중요한 연구 대상이 되고 있다. 특히 평판 표시 소자(Flat panel display)의 일종인 교류 구동형 전기 발광 소자(Alternating Current Thin Film Electroluminescent Device; ACTFELD)의 경우 고품위의 유전 박막 개발이 절실히 요구되는 분야이다[2].

상·하부 유전 박막 사이에 발광막이 위치하는 구조를 가

진 ACTFEL 소자의 경우 구동시에 1 ~ 2MV/cm의 높은 전기장이 발광막에 인가되며 이때 상하부의 절연막은 발광막의 급격한 절연 파괴를 방지하기 위한 전류 제한자로 거동하므로 소자의 성능과 동작 신뢰도는 절연 박막의 특성에 크게 좌우된다. 그리고 ACTFEL 소자의 발광은 절연층과 발광층 계면에 포획되어 있는 전자가 1.5 ~ 2MV/cm의 높은 전기장에 의해 ZnS의 전도대 내로 터널, 가속된 고에너지 전자와 발광중심과의 충돌로 발생한다.

교류 구동하에서 전자를 계속적으로 발광막 계면에 포획하기 위해서는 발광막 상·하부의 절연막이 우수한 전하 차단 능력 즉, 높은 전하 저장 능력(charge storage capacity C/cm<sup>2</sup>)을 지녀야 하며,[3] 상하 절연층과 발광층 사이의 계면 준위는 교류 전압 인가시 포획되어 있던 전자들을 터널 방출하여 발광막에 전자를 공급하는 원천으로 작용하므로 절연층과 발광층 계면의 화학적인 특성과 계면의 morphology는 계면에서 전자 터널 방출 특성과 밀접하게 관련되어 있다.

본 연구에서는 저전압 구동이 가능한 ACTFEL 소자를 위한 절연 박막으로서 rf-magnetron sputtering 방법을 사용하여 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막을 제조하고, 유전 특성과 전기적인 특성을 조사하였다. 또한 산화막의 표면 상태에 따른 절연막의 전기적 특성 변화를 고찰하기 위하여 제조된 산화막의 표면을 산소 플라즈마를 처리하여 표면처리공정이 박막의 전기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

### 2. 실험 및 측정

BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막은 ITO-coated Corning 7059 유리 기판 상

\* 準 會 員 : 高麗大 電氣工學科 博士修了

\*\* 正 會 員 : 韓國科學技術研究員 先任研究員

\*\*\* 正 會 員 : 韓國科學技術研究員 責任研究員

§ 正 會 員 : 高麗大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1998년 9월 23일

最終完了 : 1999년 3월 19일

부에 직경 4 inch, 두께 1/4 inch 타겟을 사용하여 rf-magnetron sputtering 방법으로 제조하였다. 제조시의 플라즈마 압력과 rf-power 밀도는 각각 5mTorr, 1.2W/cm<sup>2</sup>로 하였고 분위기 가스로서 (O<sub>2</sub>/Ar+O<sub>2</sub>) = 20 : 80의 혼합 가스를 사용하고, 기판온도 200°C 에서 각각 180nm, 360nm 두께의 박막을 제조하였다.

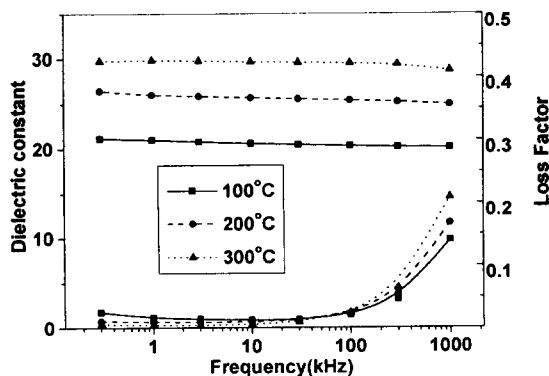
제조된 박막의 두께는 TENCO  $\alpha$ -200 model의 stylus를 사용하여 측정하였고 박막의 결정상의 변화를 확인하기 위하여 X-선 회절 실험을 하였다. 제조된 박막 시편 위에 직경 0.7mm의 원형 알루미늄 dot가 형성되어 있는 금속 마스크를 장착한 다음 저항가열식 증착기를 M(ITO)-I(절연박막)-M(Al) 구조의 커패시터를 형성한 후 전기적인 특성을 조사하였다. 유전 특성은 IBM-PC에 의해 제어되는 impedance analyzer(HP 4192A, Low Frequency Impedance Analyzer)를 사용하여 1kHz 1MHz 주파수 범위에서 측정하였으며, 전류-전압(I-V)특성과 전류-시간(I-t)특성은 Keithely 237 source/measure unit를 사용하였다. TFEL 소자 응용에 적용하기 위해 TFEL 소자에 인가되는 고전압 쌍극성 펄스 전압하에서 Sawyer-Tower 회로를 사용하여 이동 전하량(Q)-전압(V) loop을 관측하였다.

### 3. 결과 및 고찰

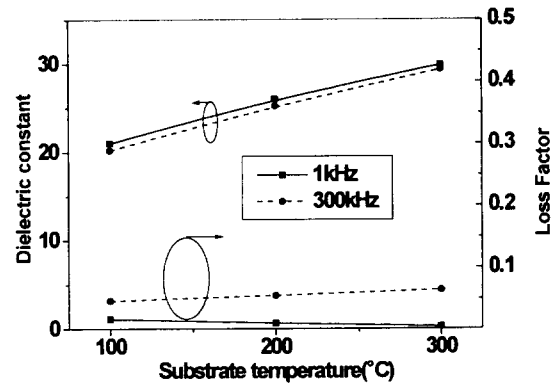
#### 3.1 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전기적 특성

그림 1은 각각의 상기 기술한 제조 조건하에서 기판온도를 변화시키면서 형성한 박막에 대한 유전 특성의 변화를 나타낸 것이다. 100°C에서 제조된 박막의 경우 유전율이 약 20 (1kHz, small signal : 0.1V, d.c. bias : 0V)을 나타내고 있으며, 기판 온도에 따라 상대 유전율이 증가하는 특성을 보이고 있다. 이는 기판 온도의 증가에 따라 박막이 치밀해지고 이에 따라 원자간 거리 감소로 인해 원자 분극의 증가로 인한 것으로 보인다.

유전 손실은 1kHz에서는 기판 온도에 따라 감소하는 반면, 고주파 영역인 300kHz 이상에서는 증가하는 특성을 보이고 있으며 특히 300°C에서 제조한 박막의 경우는 고주파에서 유전 손실이 가장 큰 값을 보이고 있다.



(a)



(b)

그림 1. 박막 제조시의 기판 온도에 따른 유전율과 유전 손실의 변화 (a) 기판 온도에 따른 유전율과 유전 손실의 변화 (b) 주파수에 따른 유전율과 유전 손실의 변화

Fig. 1. Dielectric properties of amorphous BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films according to substrate temperature. (a) Dielectric properties of amorphous BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films as function of substrate temperature (b) Dielectric properties of amorphous BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films as function of frequency

일반적으로 TFEL 소자는 1kHz 구동시 발광막 내에서 약 1μC/cm<sup>2</sup> 크기의 전하량이 이동된다. 이 전하의 이동은 발광막의 상하부에 형성되는 유전 박막에 의해 효과적으로 차단할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 1MV/cm 이상의 전계에서 1mA/cm<sup>2</sup> (1μC/cm<sup>2</sup>×1/1kHz) 이하의 누설전류 특성을 지닌 절연박막이 요구된다. 그림 2에는 제조된 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 직류 전류-전압(I-V) 특성을 나타내었으며 본 실험에서 제조한 박막은 기판 온도에 따라 누설전류가 다소 증가하는 경향을 보이고 있으나 1MV/cm 에서 10<sup>-6</sup> ~ 10<sup>-7</sup>A/cm<sup>2</sup> 정도의 낮은 누설전류를 나타내고 있어 고품위의 절연막이 형성되었다는 사실을 확인할 수 있다.

TFEL 소자에 적용하기 위한 절연박막의 성능 지수는 전하저장용량(유전율과 항복전계강도의 곱)으로 정의된다. 기판 온도 100°C에서 제조된 막의 항복전계는 3MV/cm로 나타났으며 200°C 와 300°C에서 제조한 박막의 경우 4.5MV/cm 이므로 기판온도의 변화에 따라 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub>의 전하저장능력은 각각 5.64, 10.6, 11.8μC/cm<sup>2</sup>로 나타나 EL소자용 유전체 박막으로서 우수한 특성을 보이고 있다.

BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전류-전압 특성은 기본적으로는 형성 온도에 따라 크게 변하지 않고 있으며, 특성 곡선은 1MV/cm를 경계로 두 영역으로 구별되는 특성을 보이고 있다. 즉, 낮은 전기장(E) 영역(<1MV/cm)에서는 전류 밀도(J)가 전기장에 따라 선형적으로 증가(J ~ E<sup>1.3</sup>)하고 있는 전형적인 Ohmic 특성이 관찰되었으며 이러한 특성은 벌크 트랩에서 열적으로 여기된 전자가 트랩들간으로 이동하는 hopping 전도기구에 의한 것으로 설명된다[4].

반면, 1MV/cm 이상의 높은 전기장 영역에서는 급격하게 증가하는 특성을 보이고 있어 낮은 전기장 영역과는 다른 전도 기구에 의해 지배되는 것으로 생각된다.

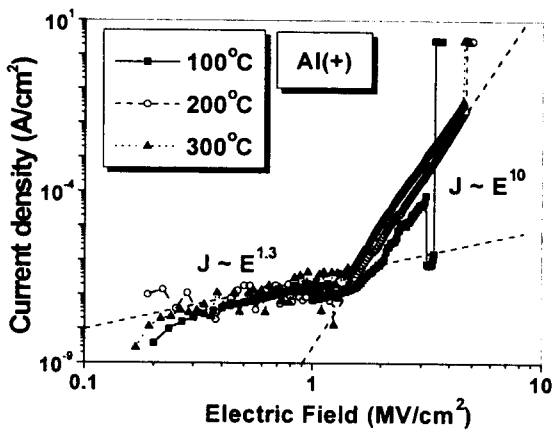
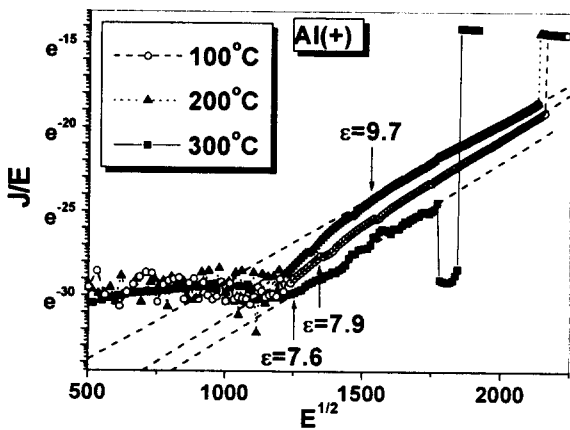


그림 2. 기판온도에 따른 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub>박막의 전류-전압 특성  
 Fig. 2. Leakage characteristics of a series of amorphous BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films with substrate temperature from 100°C to 300°C

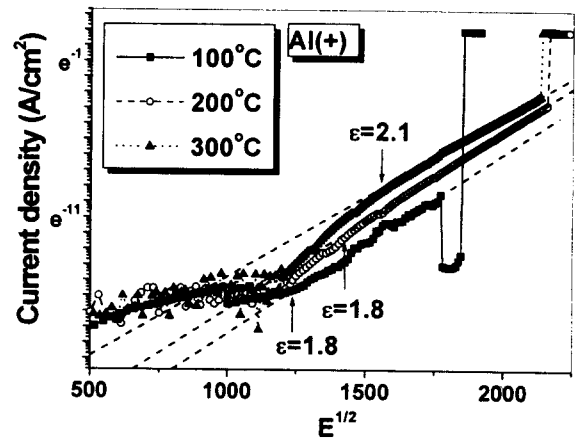
그림 3은 1MV/cm 이상의 전기장에서  $\ln(J/E)$ 와  $E^{1/2}$ 의 관계와  $\ln(J)$ 와  $E^{1/2}$ 의 관계를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 직선성을 보여주고 있는데 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 이러한 특성은 전도 기구를 두가지로 해석할 수 있게 한다. 인가된 전기장과 영상력에 의해 금속과 절연체 경계면의 장벽이 낮아지고 (Schottky 효과), 낮아진 장벽을 통해 열전자 방출되는 Schottky 방출전류와 벌크내부의 트랩에서의 전자가 Schottky 효과의 지배를 받아 흐르는 Poole-Frenkel(PF) 전류의 전도기구로 해석할 수 있다

전자의 경우는 금속-산화막의 계면의 에너지 장벽에 의해 전류가 제한 받는 전극 제한 전류(electrode limited current)에 해당하고 후자의 경우는 벌크내의 트랩 밀도와 트랩 깊이에 의해 전류가 제한되는 벌크 제한 전류(Bulk limited current)에 해당한다.

이들 두 전도 기구는 모두 영상력에 의해 에너지 장벽이 전계에 따라 낮아지는 Schottky 현상에 기인하므로 일반적으로는 전류-전압 곡선으로부터 명확히 구분하기가 어렵다[2,4].



(a)



(b)

그림 3. 기판온도에 따른 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub>박막의 높은 전기장에서의 전류 전압 특성 (a)  $\ln(J/E)$ 와  $E^{1/2}$  plot (b)  $\ln(J)$ 와  $E^{1/2}$  plot

Fig. 3. High field conduction characteristic of BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films (a) The plot of  $\ln(J/E)$  vs.  $E^{1/2}$  (b) The plot of  $\ln(J)$  vs.  $E^{1/2}$

본 실험에서는, BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전도 기구를 보다 명확히 규명하기 위하여 먼저 Schottky 방출 전류와 PF 전류에서 기율기를 이용하여 이론적인 전도식을 통해 유전율을 구하였다. PF 전류로 가정했을 경우 유전율은 기판 온도에 따라 각각 9.7(300°C), 7.9(200°C), 7.6(100°C)로, Schottky 방출 전류로 가정했을 경우는 2.1(300°C), 1.8(200°C), 1.8(100°C)로 산출되었다. 한편, PF전류와 Schottky 방출 전류의 기율기로부터 산출된 유전율은 광 주파수(optical frequency)에서의 유전율 (=굴절율<sup>2</sup>)에 해당하므로[5,6,7,8] 전류-전압 측정 결과에서 도출한 유전율과 직접 비교하기 위해서 광 주파수에서의 유전율은 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 가시광 투과도를 측정하고 측정 파장 600nm에서 Manificier 등이 제시한 방법을 사용하여 굴절율을 계산하여 보았다[9].

광투과도로부터 굴절율은 각각 1.56(300°C), 1.6(200°C), 1.69(100°C)로 얻어졌으며 이로부터 각각 2.4(300°C), 2.6(200°C), 2.9(100°C)의 유전율이 산출되었다.

이상의 가시광영역에서의 굴절률로부터 얻어진 유전율 특성과 전류-전압 특성에서 구해진 유전율을 비교하면 1MV/cm이상 고전계에서 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전도기구는 PF 전류보다는 Schottky 방출 전류와 유사한 것으로 생각된다.

PF전도 기구는 벌크내 트랩에 따라 특성이 결정되므로 특성 곡선은 현저한 두께 의존성을 보일 것으로 예상되므로[9], 본 실험에서는 기판 온도를 200°C로 고정하고 박막의 두께를 달리했을 때 전류-전압의 변화를 그림 4와 같이 조사하였으나, 두께에 따른 전류-전압의 변화는 관찰되지 않았다

이상의 결과로부터 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 전류-전압 특성은 전도 기구에서의 벌크내 트랩이 영향을 주는 PF 전도 기구보다는 전극과 산화막의 계면 특성에 의해 영향을 받는 Schottky 방출 전류 특성에 지배되는 것으로 보인다.

Schottky 방출 전류는 금속-산화막 경계면에서의 에너지 장벽 높이에 크게 영향을 받으며, 장벽의 에너지 장벽 높이는 산화막 표면 거칠기, 표면의 불순물 상태 및 전극의 일함수에 따라 달라지게 된다.[4,8]

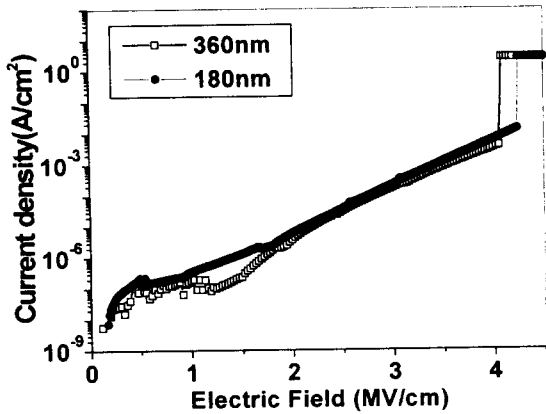


그림 4. BaTa₂O₆ 박막의 두께에 따른 전류-전압 특성  
Fig. 4. Thickness dependence of the current-voltage characteristics for BaTa₂O₆ thin films.

따라서, 본 실험에서는 다음에 자세히 기술한 바와 같이 BaTa₂O₆ 박막의 전류-전압 특성을 명확하게 하기 위하여 제조된 산화막의 표면 상태를 달리한 경우에 대한 전류-전압의 변화를 조사하였다.

### 3.2 BaTa₂O₆ 박막의 산소 플라즈마 표면 처리 효과에 대한 특성

BaTa₂O₆ 박막의 표면 상태를 달리했을 때의 전도 기구 확인하기 위하여 400nm 박막을 제조한 후 동일한 시편을 이등분하여 시편 #1은 표면 처리를 하지 않았고, 시편 #2에는 산소 분위기에서 플라즈마 압력 720mTorr, rf 전력 밀도 1.2W/cm² 하에서 5분 동안 표면 처리하였다.

그림 5는 표면 처리를 하지 않은 시편 #1과 산소 플라즈마 표면 처리 한 시편 #2에 대해 극성에 따른 전류 밀도(J)와 전계(E<sup>1/2</sup>)의 관계를 나타낸 것이다. 시편 #1과 시편 #2의 경우 모두 극성에 따라 전류 특성이 다르게 나타나고 있으며 이는 하부 전극(ITO)과 상부 전극(Al)의 일함수의 차이와 계면의 상태의 차이 때문인 것으로 보인다.

Al(+)의 경우 두 시편은 전체 전기장 영역에서 같은 전류 특성을 보여 주고 있다. 이는 산소 플라즈마 처리가 하부 전극의 전기적인 특성에 영향을 주지 않았기 때문으로 설명된다. 반면, Al(-)의 경우, 시편 #1에서는 0.7MV/cm에서 전류가 급격하게 증가하고, 시편 #2에서는 2MV/cm에서 전류가 급격하게 증가하고 있어 서로 다른 특성을 보여 주고 있다.

Al(+)인 경우 두 시편 모두 1.5MV/cm 이상에서 직선성을 보여 주고 있으며 직선의 기울기로 도출한 유전율은 2.0으로 나타났고 Al(-)의 경우 시편 #1은 0.7MV/cm에서 시편 #2의

경우는 2MV/cm 이상에서 각각 직선성을 보여주고 있다. 또 그 직선성에서 도출한 유전율은 2.2와 2.6으로 조사되었다. 그러나 낮은 전계 영역에서는 산소 플라즈마 표면 처리와 관계 없이 같은 전류 밀도가 관찰되었고, 또한 전극 극성에 따라서도 변화가 관찰되지 않았다는 점에서 벌크 제한 전류가 지배적임을 알 수 있다. 일부 보고에 의하면 산소 플라즈마 표면 처리는 산화막 상부 표면에 존재하는 탄소와 수소 불순물이 산소 플라즈마에 의해 제거됨에 따라 누설전류를 감소시킨다고 보고된 바 있다[10].

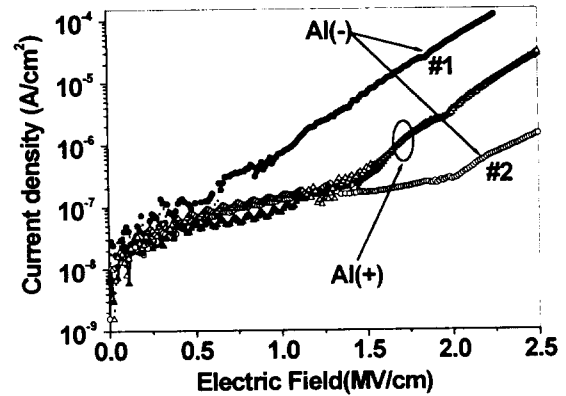


그림 5. 산소 플라즈마 표면 처리와 전압 극성에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 J-E 특성

Fig. 5. The polarity dependence of the J vs. E curves for as-deposited (#1) and oxygen plasma treated (#2) BaTa₂O₆ thin films.

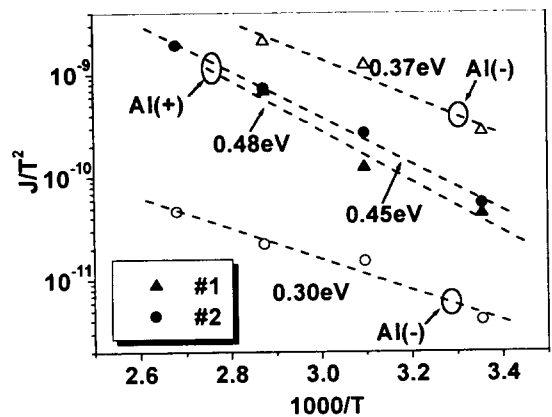


그림 6. 산소 플라즈마 표면 처리 전압 극성에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 J/T² vs. 1000/T 특성. 시편 #1은 표준 시편이며, 시편 #2는 산소 플라즈마 표면 처리한 시편에 해당한다.

Fig. 6. Plot of  $\ln(J/T^2)$  vs.  $1000/T$  at 3MV/cm for as-deposited (#1) and oxygen plasma treated (#2) BaTa₂O₆ thin films.

본 실험에서는 산소 플라즈마 표면 처리가 산화막의 전기적인 특성에 미치는 영향을 자세하게 고찰하기 위해 측정온도에 따른 전류 특성 변화, 그리고 전류-시간 변화, 전압-전하 변화를 고찰하였다.

산소 플라즈마에 의한 산화막 표면 처리 금속-산화막 경계에서의 영향을 살펴보기 위해서 온도에 따른 전류 변화를 고찰하여 carrier의 활성화 에너지를 조사하였고 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서는 3MV/cm의 전계를 인가하였을 때 시편 #1(a), 시편 #2(b)의 활성화 에너지를 구한 결과이다. Al(+)의 경우 활성화 에너지는 시편 #1과 #2에서 각각 0.48eV와 0.45eV로 큰 변화를 관찰되지 않았으나 Al(-)의 경우는 0.37eV에서 0.3eV로 감소하는 경향을 보여, 표면 상태가 달라졌음을 확인할 수 있었다.

그림 7은 전기장의 변화에 따른 활성화 에너지( $E_a$ )의 변화를 측정된 결과이다. 그림 7에서는  $E^{1/2}$ 와  $E_a$ 의 관계에서 직선성은 전도기구가 Schottky 효과에 의한 것임을 확실히 보여준다. 또한 직선으로부터  $V = 0$ 까지 외삽하여 얻어진 계면 에너지 장벽의 높이는 ITO와 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 계면에서는 1.18-1.13eV로서, 시편 #1과 #2가 유사하게 나타나므로 산소 플라즈마 표면 처리 효과는 하부 계면의 에너지 장벽에는 영향을 주지 않음을 보여주고 있다. 플라즈마 표면 처리 한 Al과 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막 경계의 경우 시편 #1에서는 0.8eV, 시편 #2에서는 0.58eV로 나타나므로, 산소 플라즈마 표면 처리 금속-산화막 계면의 에너지 장벽을 낮추는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

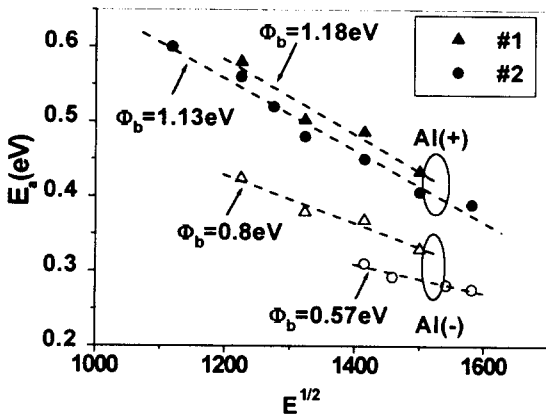


그림 7. BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막에서 산소 플라즈마 처리와 전압극성에 따른  $E_a$  vs.  $E^{1/2}$  특성 변화

Fig. 7. The polarity dependence of the  $E_a$  vs.  $E^{1/2}$  curve for as-deposited (#1) and oxygen plasma treated (#2) BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films.

일반적으로 금속-산화막 경계면의 에너지 장벽이 낮아지면 장벽으로 주입되는 전자가 증가하나, 그림 7의 실험 결과에 따르면 Al(-)일 때 에너지 장벽이 낮아졌음에도 불구하고 누설전류는 2MV/cm 크기의 고전계 인가시에도 낮은 누설전류 특성을 유지하고 있다. 이러한 현상은 경계면의 장벽이 낮아짐에 따라 전극과 산화막 경계면의 장벽에 전류가 제한받기보다는 벌크에 의해 제한 받는 전류 영향이 나타나는 경우에만 가능한 결과이다. 즉, 상부 표면 처리 효과로서 상부의 계면 장벽이 낮아지는 효과는 설명되었으나, 동시에 박막의 누설전류 크기도 개선되는 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 일반적으로 스퍼터법으로 제조된 산화막에서는 상부에 산소 공격자(vacancy)에 의한 결함이 존재하게 된다. 이러한

산화막을 산소 플라즈마로 표면 처리할 경우, 활성화된 산소는 산화막내로 확산이 용이하며 일정 정도 깊이까지 존재하는 산소 공격자에 의한 결함을 감소시키는 것으로 보여지고 [13] 이러한 감소효과에 의해 전체적으로 누설전류의 감소 효과도 초래된 것으로 생각된다.

이와 같이 산소 플라즈마 표면 처리에 따른 벌크 특성의 변화를 확인하였으며 좀더 미세한 변화를 측정하기 위해 본 실험에서 시편 #1과 #2를 대상으로 유전율과 유전 손실의 변화를 조사하여 그림 8에 나타내었다.

산소 플라즈마 처리한 시편의 경우 유전 상수는 다소 감소하였으나, 고주파에서 유전 손실이 줄어드는 효과를 확인할 수 있었다. BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 경우 결함과 유전 상수의 관계에 대해 보고된 바는 없으나 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막의 경우 산소 공격자 결함에 의해 발생한 트랩이 많이 존재할 때, 유전 상수가 증가한다고 보고된 바 있다[14]. 이로부터 산소 플라즈마 처리 효과는 전극-산화막의 계면에서 에너지 장벽을 낮추는 효과와 함께, 산화막의 벌크 특성도 개선시킨다는 사실을 확인할 수 있다.

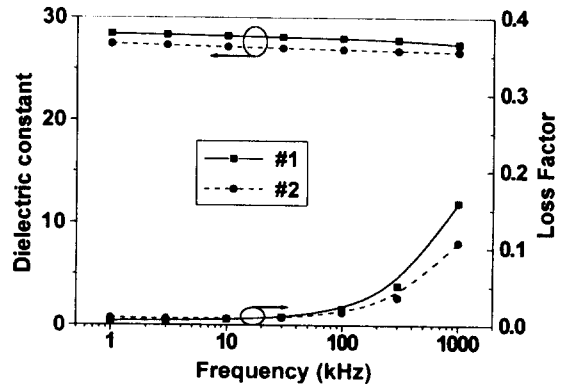


그림 8. 산소 플라즈마 표면 처리 효과에 따른 주파수에 따른 유전 특성 변화

Fig. 8. The Effect of oxygen plasma treatment on the C-f characteristics of BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films with 400nm thickness.

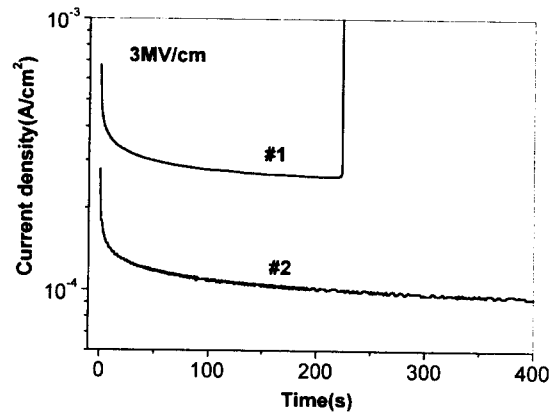
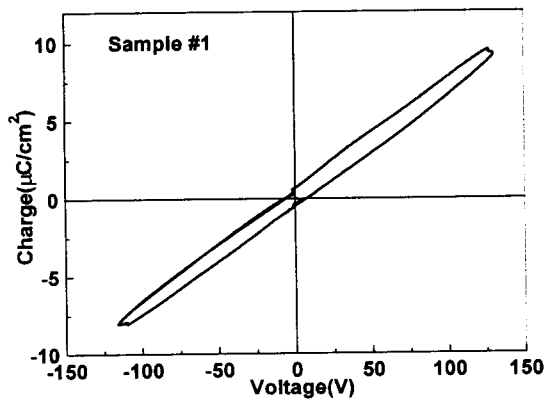


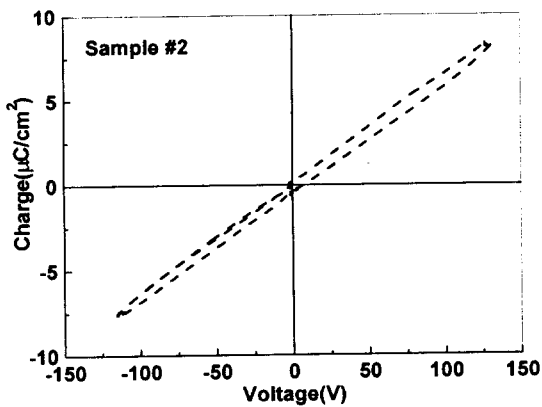
그림 9. 산소 플라즈마 표면 처리 효과에 따른 전류와 시간 특성

Fig. 9. The Effect of oxygen plasma treatment on the current-time characteristics of BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films with 400nm thickness.

그림 9는 3MV/cm의 일정한 전기장을 시편 #1과 #2에 Al(-)로 인가하고 직류 전류 밀도의 변화를 시간에 따라 관찰한 결과이다. 정상 상태의 경우 시편 #2는 #1 보다 2.5 배 전류 밀도가 작게 나타났다. 시편 #1의 경우는 230초 경과시에 치명적인 항복이 발생하였으며 #2의 경우는 400s 동안 항복 현상이 일어나지 않았다. 산화막의 항복 특성은 산화막내의 표면 거칠기, 표면의 화학적 상태 등 산화막 표면과 산화막 내부상태 등에 의해 지배되므로 본 실험에서와 같이 동일 조건으로 성장한 산화막은 플라즈마 노출시에 산화막 표면의 미세 cleaning 효과에 기인한 것으로 보인다[10,11,12]



(a)



(b)

그림 10. 산소 플라즈마 표면 처리 효과에 따른 전하-전압 이력 특성 (a) 표준 시편에서의 이력 특성 (b) 산소 플라즈마 표면 처리한 시편의 이력 특성

Fig. 10. The Effect of oxygen plasma treatment on the charge-voltage characteristics of as-deposited (a) and oxygen plasma treated (b) BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> thin films.

끝으로, 산소 플라즈마 표면 처리한 산화막을 TFEL 소자에 적용할 때 예상되는 효과를 직접 확인하기 위하여 쌍극성 펄스 구동 하에서 전하-전압(Q-V) 특성을 측정하였으며 그 결과는 그림 10과 같다. 그림 10은 최대 전기장을 약 3MV/cm 로 하였을 때 박막 내부의 이동전하 즉 누설전류에 의한 호

파를 나타내며 플라즈마 표면 처리하지 않은 시편 #1에서는 1.2 μC/cm<sup>2</sup>의 전하이동이 발생하였으며, 산소 플라즈마 표면 처리한 시편 #2의 경우는 0.62 μC/cm<sup>2</sup>로 관찰되어 산소 플라즈마 처리 공정을 통하여 이동 전하량을 약 50% 이상 감소시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

#### 4. 결 론

ACTFEL 소자용 절연박막에 대한 연구를 위하여 BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막에 대해 유전 특성과 전기적인 특성을 평가하였다.

(1) 제조된 박막은 기판 온도에 따라 약 20-30의 높은 유전율과 3MV/cm-4.5MV/cm 항복전계 강도를 특징으로 한다. 성능지수는 각각 5.64, 10.6, 11.8 μC/cm<sup>2</sup>로 나타나 모든 경우 ACTFEL소자에 응용에 있어 매우 우수한 박막으로 판단된다.

(2) BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막의 누설전류는 두께 의존성, 극성 의존성, 가시광 투과성의 측정 결과로부터 전극과 산화막의 계면의 영향이 지배적인 Schottky 방출 기구가 지배한다는 사실을 확인하였다.

(3) 산소 플라즈마로 표면처리한 시편과 처리하지 않은 시편에 대해서 전기적인 특성을 조사하므로써 산소 플라즈마로 표면 처리한 경우는 하부 전극-산화막의 계면에는 영향을 주지 않으며, 상부 전극과 산화막 경계면에서는 Schottky 에너지 장벽을 낮추는 효과를 주는 것으로 확인되었다.

(4) BaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 박막에 산소 플라즈마 처리는 고 전계에서 누설전류 감소에 효과적이라는 사실을 확인할 수 있었다. 이는 플라즈마로 활성화된 산소가 산화막내로 확산되어 일정 정도 깊이까지 존재하는 산소 공격자에 의한 결함을 감소시킴으로써 벌크 특성의 개선에도 관여하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 시간-전류 특성에서 산소 플라즈마 처리한 산화막은 우수한 절연 특성을 보여 주었다.

(5) 플라즈마 표면 처리한 유전체 박막을 ACTFEL소자에 적용할 경우 발생하는 효과를 관찰하기 위하여 최대 전기장을 3MV/cm로 하였을 때 전하-전압(Q-V) 특성을 측정하였다. 표면 처리하지 않은 박막의 경우 1.2 μC/cm<sup>2</sup>의 전하이동이 발생하였으며, 산소 플라즈마 표면 처리 경우는 0.62 μC/cm<sup>2</sup>로 관찰되어 절연 특성이 2배 향상되었음을 확인할 수 있었다.

ACTFEL 소자에서 상하 절연층과 발광층 사이의 계면 준위는 교류 전압 인가시 포획되어 있던 전자들을 터널 방출하여 발광막에 전자를 공급하는 원천인 동시에 발광층의 turn-on시에는 전류 제한자로서 작용하며 이러한 특성은 절연층과 발광층 계면의 전기, 화학적인 특성과 결정학적인 특성 및 계면의 형상에 밀접하게 관련되어 있다. 그러므로 이러한 박막의 플라즈마 표면처리 결과는 ACTFEL 소자의 계면 특성의 제어에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

[1] J.H.Oh, Y.H.Lee, B.K.Ju, D.K.Shin, C.Y.Park, and

M.H.Oh, "Impact of surface properties on the dielectric breakdown for polycrystalline and multilayered BaTiO<sub>3</sub> thin films", J.Appl.Phys. Vol. 82, pp. 6230-6280, 1997.

[2]Fu-Chien Chiu, et al., "Leakage currents in amorphous Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films", J.Appl.Phys. Vol. 81, pp. 6911-6915. 1997.

[3]M.H.Song, Y.H.Lee et al., "Thickness effects of SiOxNy interlayer inserted between BaTiO<sub>3</sub> insulating layer and ZnS:Mn phosphor layer in thin film electroluminescent device", J. Crystal Growth Vol. 167 pp.157-164, 1996.

[4]G.W.Dietz, et al., "Leakage current in Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>TiO<sub>3</sub> thin films for ultrahigh-density dynamic random access memories", J.Appl.Phys., Vol. 82, pp. 2359-2364, 1997.

[5]E.Kaplan, et al., "Chemical Vapor Deposition of Tantalum Pentaoxide Films for Metal-Insulator-Semiconductor Devices", J. Electrochem. Soc. Vol. 123, pp.1570-1573.

[6]G.S. Oehrlein, "Oxidation temperature dependence of the dc electrical conduction characteristics and dielectrics and dielectric strength of thin Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films on silicon", J.Appl.Phys. Vol. 59, pp. 1587-1595.

[7]Hironaga Matsumoto, "Effect of Heat Treatment on the Coefficient  $\beta$  of the Poole-Frenkel Effect and the Conductivity in Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Films", Jpn. J.Appl.Phys. Vol. 19, pp. 71-77.

[8]J.J.Odwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon press. Oxford. 1973.

[9]J C Manificier, et al., "A simple method for the determination of the optical constant n,k and the thickness of a weakly absorbing thin film", J. of Phys E, Vol. 9, pp.1002-1004, 1976.

[10]S.Kamiyama, et al., "Ultra-Thin TiN/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/W Capacitor Technology for 1Gbit DRAM", IEDM 93, pp.49-50, 1993.

[11]C.C.Wu, et al., "Surface modification of indium tin oxide by plasma treatment: An effective method to improve the efficiency, brightness, and reliability of organic light emitting devices", Appl.Phys.Lett. Vol. 70, pp.1348-1350. 1997.

[12] Richard Swope, et al., "Improvement of Adhesion Properties of Fluorinated Silica Glass Films by Nitrous Oxide Plasma Treatment", J. Electrochem.Soc. Vol. 144, pp.2559-2564, 1997.

[13] S.C.Sun, et al., "Reduction of Leakage Current in Chemical-Vapor-Deposition Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Thin Film by Furnace N<sub>2</sub>O Annealing", ED. Vol. 44, pp.1027-1029, 1997.

[14] Susumu Shibata, "Dielectric constants of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films deposited by r.f. sputtering", Thin Solid Films, Vol. 277, pp.1-4, 1995.

저 자 소 개



김 영 식 (金 瑛 植)

1969년 11월 29일생. 1991년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년-1996년 현대전자(주) 주임연구원. 1997년-1998년 한국과학기술연구원 학생연구원 1997년 고려대 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

Tel : (02)3290-3782

E-mail : yslkim@nownuri.net

이 윤 희 (李 允 熙)

전기학회논문지 제48권 제1호 참조

Tel : (02) 958-5772

E-mail : lyh@kist.re.kr

주 병 권 (朱 炳 權)

전기학회논문지 제48권 제1호 참조

Tel : (02) 958-5775

E-mail : jbk@kist.re.kr



성 만 영 (成 萬 永)

1974년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년-1988년 일리노이 주립대학 전기공학과 Associate Professor. 현 고려대학교 전기공학과 교수. 연구 분야는 반도체 소자 모델링, Power MOS 소자, GaAs on Si, GaN소자 및 강유전체

Tel : (02) 3290-3221

E-mail : semicad@kucncx.korea.ac.kr

오 명 환 (吳 明 煥)

전기학회논문지 제48권 제1호 참조

Tel : (02) 958-5031

E-mail : mho@kist.re.kr