

RF-magnetron sputtering 방법으로 제조한 BaTa₂O₆ 박막의 특성과 응용에 관한 연구

남태성*, 송만호, 이윤희, 한택상, 오명환, 정관수*
한국과학기술연구원 정보전자연구부, *경희대학교 전자공학과

Study on the characteristics and application of the BaTa₂O₆ films prepared by rf-magnetron sputtering technique

Tae Sung Nam*, Man Ho Song, Yun Hi Lee, Taek Sang Hahn, Myung Hwan Oh, and Kwan Soo Jung*
KIST, *Kyunghee University

요 약

RF-magnetron sputtering 방법으로 형성한 BaTa₂O₆의 공정변수에 따른 전기, 광학적 특성변화를 관찰하여 BaTa₂O₆ 박막의 TFELD(thin film electroluminescent display) 절연막으로서 응용 가능성을 연구하였다. BaTa₂O₆ 박막의 유전특성은 증착시의 O₂ 함량과 sputtering 압력의 변화에는 큰 영향을 받지 않으나 기판온도에는 영향을 받는 것으로 확인되었다. 이들 공정 변수를 가변하여 실험한 결과, BaTa₂O₆ 박막 형성의 최적조건으로 플라즈마 압력을 6 mtorr, sputtering gas 내의 O₂ 혼합비율은 40%, 기판온도는 100°C 로 결정하였다. 이상의 조건에서 제조된 BaTa₂O₆ 박막은 10.2 μC/cm²의 매우 우수한 성능지수를 보였다. 이상의 BaTa₂O₆ 박막을 하부절연층으로, 절연파괴강도가 높은 SiO₂, N₂를 상부 절연층으로 사용하여 제조된 EL 소자는 1 kHz, 삼각파 구동시 발광 임계전압은 약 32 volts, 최대 휘도는 54 cd/m²으로 측정되었다.

I. 서 론

TFEL(Thin Film Electroluminescent) 소자의 주요 연구 방향은 크게 저전력 소모형 소자의 개발과 천연색 발광박막의 개발로 나누어 진다. 현재, TFEL 소자의 높은 구동전압은 배터리 동작이 요구되는 휴대용 컴퓨터 또는 단말기에의 응용을 제한하는 주요 원인이 되고 있다. 전기적으로 용량소자인 EL 소자의 구동전압을 낮추기 위해서는 절연층에 의한 전압강하를 최소화 할 필요가 있으며 이는 발광층 상,하부에 위치하는 절연막의 정전용량을 증가시키므로써 가능하다. 정전용량의 증가를 위하여 보다 얇은 절연박막을 사용하는 방법과 유전상수가 높은 새로운 절연박막을 사용하는 방법이 가능하나 제조된 소자의 안정성과 신뢰도를 고려할 때 절연 박막의 두께를 감소시키는 방법은 바람직하지 않다.

TFEL 소자에 사용되는 절연막은 절연박막이 저장할 수 있는 최대 전하량을 의미하는 성능지수(Figure of Merits : Q_b = ε × E_b · d)에 의하여 주로 평가되고 있으며^[1] 발광층의 3배 이상의 값이 요구된다. 이와 함께 절연박막은 인접 박막 즉, ITO 및 발광층과 접합성, 화학적 안정성, 광학적 투광성등과 같은 요소가 충분하고

려되어 선택되어야 한다^[2].

본 연구에서는 상유전성 물질로 유전특성이 우수한 BaTa₂O₆를 rf-magnetron sputtering 방법으로 박막화하고 박막 형성시의 공정 변수를 가변하여 이에 따른 전기적 특성과 광학적 특성변화를 조사하였다. 또한, 본 실험에서 제조한 BaTa₂O₆ 박막을 하부 절연층으로 사용하여 제조된 EL 소자의 전기 및 광학적 특성을 평가하였다.

II. 실험

BaTa₂O₆ 박막은 ITO 유리(Corning 7059)기판위에 rf-magnetron sputtering 방법으로 형성하였다. Sputtering target 은 직경 4 in., 두께 1/8 in. 인 BaTa₂O₆ 세라믹 소결체를 이용하였다. 박막 형성시 초기 진공도는 5 × 10⁻⁵ torr, rf-power 밀도는 2.5 W/cm²로 유지하였으며 Ar 과 함께 사용한 반응성 기체 O₂의 비율은 10~40%, plasma 압력은 2~8 mtorr, 기판온도는 상온에서 300°C로 가변하여 박막을 제조하였다. 제조된 박막시편 상부에 열증착법으로 두께 150 nm 의 Al dot(dia. 0.65 mm)를 증착하여 MIM 구조를 형성한 후 전기적인 특성을 측정하였다.

EL 소자 제작시 발광층은 전자선 증착방법으로 형성하였으며 SiO₂, N₂ 상부절연층을 형성하기 전에 dopant의 유효 확산과 발광층의 결정성 향상을 위하여 400°C에서 진공열처리를 행하였다.

제조된 BaTa₂O₆ 박막의 결정성과 표면상태는 XRD와 SEM을 사용하여 확인하였으며 유전특성은 컴퓨터에 의해 제어되는 임피던스 분석기(HP4192A)를 사용하여 측정하였다. BaTa₂O₆ 박막의 절연성 평가를 위하여 HP 4140 pA meter/dc volt source를 사용하여 전류-전압(I-V) 특성을 측정하였다.

EL 소자의 휘도는 photometer(Tektronix J17)를 사용하여 측정하였으며 소자의 전기적 특성 평가를 위하여 Sawyer-Tower^[4] 회로를 구성하고 여기에 EL 소자를 연결하여 전기장을 인가시 얻어지는 Q-V loop를 디지털 스토리지 오실로스코프(Tektronics TDS 420)와 HP-plotter(7475A)를 사용하여 출력하였다.

III. 결과 및 논의

1. TFEL 소자를 위한 BaTa₂O₆ 박막

RF-magnetron sputtering 방법에 의한 절연박막 제조시의 최적 조건을 조사하기 위하여 먼저 8 mtorr 의 plasma 압력에서 plasma 기체내의 O₂ 혼합비율에 대한 박막의 유전특성을 조사하였으며 그 결과를 그림 1 에 나타내었다. O₂ 의 혼합 비율에 따라 제조된 박막의 유전특성은 큰 변화를 보이지 않으나 EL 소자에의 응용시, 소자의 안정성과 구동전압을 함께 고려하여 유전손실이 비교적 작고 유전상수가 높은 박막이 형성되는 O₂ 함량 40% 인 조건을 선택하였다. 산소 함량을 40% 로 고정한 상태에서 plasma 압력에 따른 박막의 특성은 그림 2 에 나타낸 바와 같이 4 mtorr 에서 형성한 박막을 제외하고 직류 전압하에서 안정된 유전특성을 보인다.

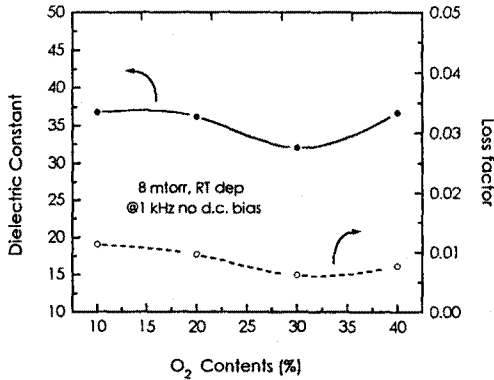


그림 1. Plasma 기체내의 O₂ 함량에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 유전특성.

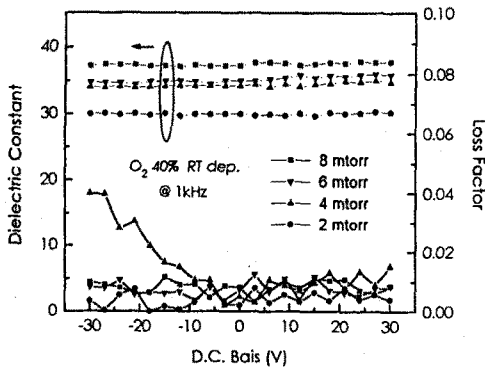


그림 2. Plasma 압력에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 유전특성

그림 3 은 산소함량 40%, Plasma 압력 6 mtorr 에서 기판온도에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 X선 회절실험 결과이다. 기판온도를 상온에서 300℃ 로 가변하여 제조한 박막에서 ITO 의 회절선만이 관측된다. 이로써 BaTa₂O₆ 박막이 비정질 상태를 지님을 확인하였다. SEM 으로 확인한 BaTa₂O₆ 박막 표면상태는 증착시의 기판온도에 무관하게 pin-hole, 균열이 없는 매끄러운 표면을 보여주며 그림 4 의 투광성(UV-VIS) 실험결과로부터 가시광선 영역에서 기판온도에 관계없이 BaTa₂O₆ 박막은 85% 이상의 높은 투과율을 나타냄을 알 수 있다.

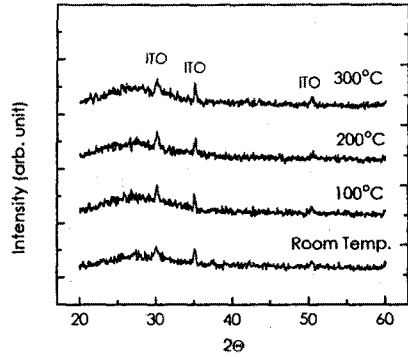


그림 3. 기판온도에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 XRD 패턴

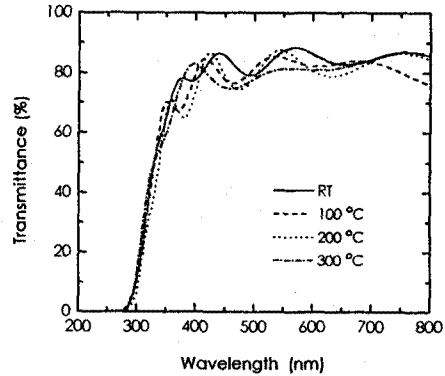


그림 4. 기판온도에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 가시광 투과특성

기판온도 변화에 따른 유전특성 변화를 그림 5 에 나타내었다. 기판온도가 증가함에 따라 유전상수는 다소 증가하며 이는 박막의 치밀화과정에 의한 것으로 생각된다. 특히, 300℃ 에서 증착한 경우, 저주파수범위 (<1kHz) 에서 유전손실의 증가는 공간전하에 의한 효과로서 증착 과정에서 형성될 수 있는 결함농도의 증가에 기인된 것으로 생각된다. 기판온도 변화에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 절연특성과 절연파괴강도를 확인하기 위하여 I-V 특성을 측정하여 그 결과를 그림 6 에 나타내었다. 누설전류밀도는 증착시 기판온도에 거의 무관하게 절연파괴전까지 0.6-0.9 (μA/cm²) 의 비교적 일정값을 보이나 절연파괴강도는 기판온도의 증가에 따라 감소함을 알 수 있다. 기판온도 변화에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 전기적 특성을 정리하여 표 1 에 나타내었다.

이상의 실험 결과로 부터 BaTa₂O₆ 박막 형성시 최적조건을 sputtering gas(O₂) 함량 40%, plasma 압력 6 mtorr, 기판온도 100℃ 로 결정하였다. 위의 조건에서 형성된 BaTa₂O₆ 박막의 유전 상수는 43(1 kHz), 절연파괴강도는 2.7 MV/cm 이었으며 이로 부터 산출된 성능지수는 10.2 μC/cm² 으로 EL 소자용 절연체로서 매우 우수한 특성을 지니는 것을 알 수 있다.

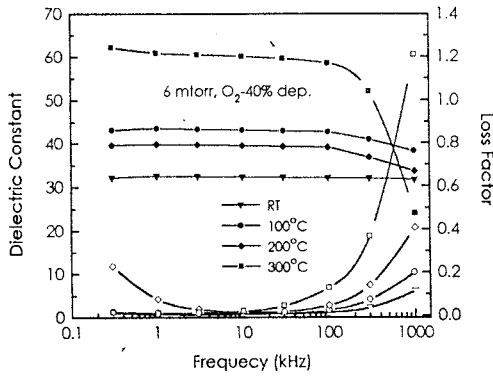


그림 5. 기판온도와 주파수에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 유전특성.

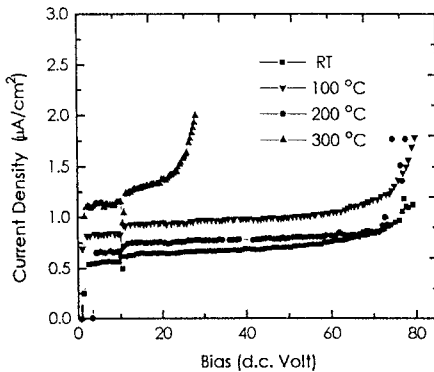


그림 6. 기판온도에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 전류-직류전압 특성.

표 1. 기판온도의 변화에 따른 BaTa₂O₆ 박막의 전기적 특성

	Room Temp	100 °C	200 °C	300 °C
ϵ_r (1 kHz)	32	43	40	61
$E_{b.d.}$ (MV/cm)	2.0	2.7	2.7	0.9
Figure of Merit ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	5.8	10.2	9.6	4.9

2. EL 소자특성

위의 최적 조건에서 형성된 BaTa₂O₆ 박막과 절연특성과 이온차단효과가 우수한 SiO_xN_y 박막을 각각 하부, 상부절연층으로 사용하여 제조된 TFEL 소자의 인가전압에 따른 휘도변화와 이동전하밀도를 그림 7에 나타내었다. 일반적으로 휘도증가는 계면으로부터의 전자 tunneling 과 관련된 현상으로 인가전압에 따라 급격한 증가를 보이는 것으로 보고되어 있으나 본 실험에서 제조한 EL 소자의 경우, 인가전압에 따라 매우 완만한 증

가를 나타내고 있다. 이는 BaTa₂O₆ 박막과 발광층 간의 계면에 매우 많은 shallow trap 이 존재하는 결과에 기인하는 것으로 생각된다.

주파수변화에 따른 휘도 변화와 이동전하밀도 변화를 그림 8에 나타내었다. 이동전하밀도는 약 0.74 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 인가전압의 주파수에 무관하며 휘도는 주파수 증가에 따라 증가함을 알 수 있다. 이는 에너지성 전자와 dopant atom 의 충돌회수의 증가에 따른 결과이다.

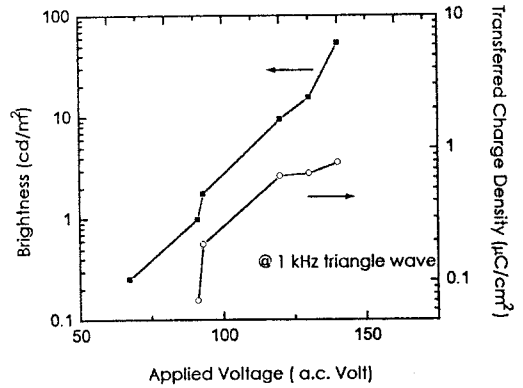


그림 7. EL 소자의 인가전압에 대한 휘도 및 이동 전하 밀도 특성.

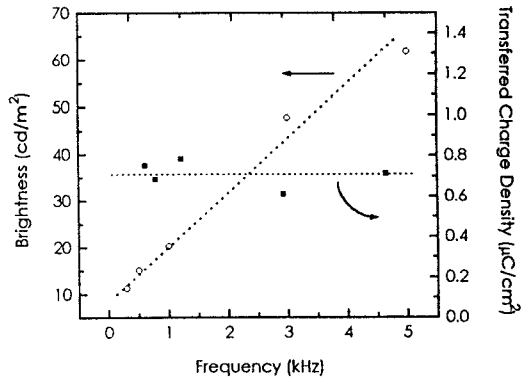


그림 8. EL 소자의 구동 주파수 변화에 따른 휘도 및 이동 전하밀도 특성.

IV. 결론

RF-magnetron sputtering 방법을 사용하여 BaTa₂O₆ 박막을 제조하였다. 실험결과, BaTa₂O₆ 박막은 sputtering 기체내의 산소함량 40%, plasma 압력 6mtorr, 기판온도 100°C 에서 형성되는 경우, 가장 우수한 전기적 특성을 나타내는 사실을 확인하였다.

성능지수가 10.2 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 인 BaTa₂O₆ 박막을 사용하여 제조한 TFEL 소자는 발광 임계전압은 약 32 volts, 최대휘도는 54 cd/m^2 를 보였다. 현재, 소자의 완만한 turn-on 특성을 개선하기 위하여 interlayer 사용에 대한 연구가 진행중이다.

참고 문헌

- [1] Kenji Okamoto, Yasuhiro Nasu, and Yoshihiro Hamakawa, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-28, No. 6, p. 698, (1981).
- [2] W. E. Howard, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-24, p. 903, (1977).
- [3] Shiban K. Tiku, Gregory C. Smith, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-31, No. 1, p. 105, (1984).
- [4] Yoshimasa A. Ono, Hideaki Kawakami, Moriaki Fuyama, and Kenichi Onisawa, *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 26, No. 9, pp. 1482, (1987).
- [5] J. H. Ryu, S. Lim and J. F. Wager, *Thin Solid Films*, 63 248, (1994).