

論文98-35D-6-4

# ZnS:Mn/ZnS:Tb 박막 전계발광소자의 문턱전압 변화

## (Threshold Voltage Variation of ZnS:Mn/ZnS:Tb Thin-film Electroluminescent(TFEL) Devices)

李淳錫\*, 尹善振\*\*, 林聖奎\*

(Soon-Seok Lee, Sun-Jin Yun, and Sung-Kyoo Lim)

## 요약

E-beam 장비로 ZnS:Mn/ZnS:Tb 2층 구조의 TFEL 소자를 제작하여 전기, 광학적 특성을 조사하였다. ITO 투명전극과 ATO 절연체가 증착된 유리기판(corning 7059 glass) 위에 E-beam 장비를 이용하여 ZnS:Mn, ZnS:Tb 형광체를 각각 3000 Å로 증착하여 총 두께 6000 Å 갖도록 제작하였다. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 스펙트럼은  $Mn^{2+}$  이온과  $Tb^{3+}$  이온의 고유한 발광 스펙트럼을 모두 포함하여 540 nm에서 640 nm에 이르는 매우 넓은 범위의 발광 스펙트럼을 나타내었다. 휘도는 인가전압의 크기가 112 V에서부터 급격히 증가하여 155 V에서 포화 휘도 1025  $Cd/m^2$ 를 나타내었고 최대 전압 185 V에서의 휘도는 2080  $Cd/m^2$ 이었다. Capacitance-voltage(C-V) 및 transferred charge-phosphor voltage( $Q_t-V_p$ ) 특성으로부터 형광층 capacitance ( $C_p$ )와 절연층 capacitance ( $C_i$ )가 각각 13.5  $nF/cm^2$ , 60  $nF/cm^2$ 됨을 알 수 있었고, 인가전압의 최대치를 155 V에서 185 V로 증가시킬수록 TFEL 소자의 문턱전압( $V_{th}$ )이 126 V에서 93 V로 감소함을 알 수 있었다. 이것은 인가전압을 증가시킬수록 polarization charge가 증가되고 polarization charge에 의해 형성된 형광체 내부전압이 증가되었기에 문턱전압이 감소한 것이다. 또한 처음으로 문턱전압에 관한 수식을 제안하였으며 문턱전압의 이론치와 실험치가 일치하는 것을 확인하였다.

## Abstract

Electrical and optical characteristics of ZnS:Mn/ZnS:Tb multilayer TFEL devices were investigated for multi-color electroluminescent display applications. Emission spectra of  $Mn^{2+}$  and  $Tb^{3+}$  ions were observed from ZnS:Mn/ZnS:Tb multi-layer TFEL devices, and were very broad from 540 nm to 640 nm. Saturation luminance measured at 155 V was 1025  $Cd/m^2$ . C-V,  $Q_t-V_p$  curves showed that the phosphor capacitance ( $C_p$ ) and the insulator capacitance ( $C_i$ ) were 13.5  $nF/cm^2$  and 60  $nF/cm^2$ , respectively. Threshold voltage( $V_{th}$ ) was shown to decrease from 126 V to 93 V due to the increase of the applied voltage from 155 V to 185 V, which was attributed to the increase of the polarization charge. The equation for the calculation of the threshold voltage as a function of the applied voltage was proposed for the first time. The calculated threshold voltage agreed well with the data obtained from the measurement.

## I. 서론

\* 正會員, 檀國大學校 電子工學科

(Department of Electronics Engineering)

\*\* 正會員, 韓國電子通信研究員 材料技術研究室

(Semiconductor Technology Division, ETRI)

接受日字:1998年3月23日, 수정완료일:1998年5月27日

1936년 Destriau에 의해 최초로 전계 발광이 확인된 이후, 현재까지 ZnS:Mn(황색), ZnS:Tb(녹색), CaS:Eu(적색) 및 SrS:Ce(청색) 등의 형광체가 개발되어 mono-color 또는 multi-color electrolumine-

scent display(ELD)가 개발, 상용되고 있다. 이들 형광체층에서 ZnS:Mn와 ZnS:Tb는 매우 높은 휘도와 발광 효율을 나타내는 물질로서 최대 발광 파장은 각각 585 nm와 550 nm이다. 절연층/형광층/절연층 구조의 ELD는 모든 부분이 고체로 형성되어 있어 다른 정보 표시장치와 비교하면 진동과 충격에 강하고, 넓은 온도 범위와 시야각 등 많은 장점을 가지고 있다.

TFEL 소자의 내부에서 발생하는 물리적 현상은 charge-voltage(Q-V)<sup>[1]</sup>, capacitance-voltage(C-V)<sup>[2]</sup> 및 transferred charge-phosphor field ( $Q_t$ - $F_p$ )<sup>[3]</sup><sup>[4]</sup> 등의 특성 분석으로부터 많은 부분들이 밝혀지고 있다.

본 연구에서는 ZnS:Mn/ZnS:Tb 2 층 구조의 TFEL 소자를 제작하여 multi-color ELD로의 활용 가능성을 확인하였고,  $Q_t$ - $F_p$  특성의 변형된 형태인 transferred charge-phosphor voltage( $Q_t$ - $V_p$ ) 특성을 제안하여 polarization charge가 문턱전압에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 제작된 TFEL 소자는 광학적 특성 외에 C-V,  $Q_t$ - $V_p$  및 threshold voltage-polarization charge( $V_{th}$ - $Q_{pol}$ ) 등의 전기적 특성을 측정하였다. 또한 인가전압의 최대치 변화에 의한 threshold voltage의 변화를 나타내는 수식을 처음으로 제안하였다.

## II. TFEL 소자의 제작 및 측정

### 1. TFEL 소자의 제작

하부 전극과 하부 절연층으로 각각 indium tin oxide(ITO)와 aluminum titanate (AlTiO<sub>3</sub>, ATO)가 적층된 7059 glass를 이용하여 TFEL 소자를 제작하였다. ZnS:Mn 형광층은 Mn이 1 mol% 첨가된 형광체를 이용하였고, ZnS:Tb 형광층은 ZnS 모체에 발광 중심체 TbF<sub>3</sub>를 2 mol% 첨가한 후, 혼합 및 성형(5 ton/cm<sup>2</sup>)과정을 거친 다음 N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> (=300/30 SCCM) 분위기에서 3 시간 동안, 900 °C로 열처리한 형광체를 이용하였다.

ZnS:Mn, ZnS:Tb 형광층은 E-beam 장비를 이용하여 각각 3000 Å으로 적층시켜 총 두께 6000 Å으로 하였다. 형광층 형성시의 E-gun 전자 가속전압, 전류, 증착온도, 진공도 및 증착률은 각각 -3.8 KV, 6 mA, 250 °C, 5×10<sup>-6</sup> Torr 및 3.5 A/sec이었다. 적층된 형광층은 α-step으로 그 두께를 확인하였다. 형

광층의 결정성은 전자가 얻을 수 있는 운동 에너지와 밀접한 관계가 있으므로 휘도에 직접적으로 영향을 미친다. 결정성 향상을 위하여 450 °C에서 30 분 동안 열처리하였으며 이때의 진공도는 10<sup>-2</sup> Torr이었다. 상부 전극은 thermal evaporator 장비를 이용하여 증착하였으며 증착된 Al 전극의 두께는 2000 Å이었다. 그림 1에 완성된 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 단면을 나타내었다.

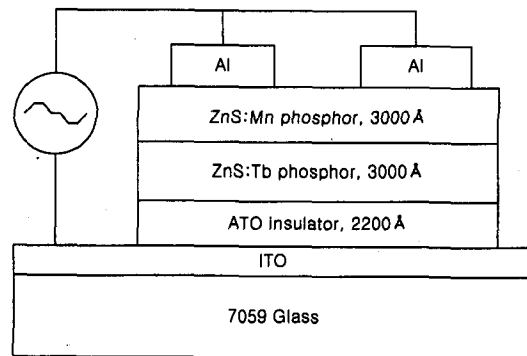


그림 1. 완성된 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 단면  
Fig. 1. The cross section of the prepared ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device.

### 2. 전기적 특성 측정

제작된 TFEL 소자의 전기적 특성은 TFEL 소자에 capacitor 또는 resistor를 직렬로 연결하여 측정하였다. Capacitor 센서를 직렬로 연결하면 임의의 순간에 TFEL 소자에 유기된 전하와 capacitor 센서에 유기된 전하가 같고, resistor 센서를 연결할 때에는 TFEL 소자에 흐르는 전류와 resistor 센서에 흐르는 전류가 같기 때문에 TFEL 소자의 여러 가지 특성을 쉽게 측정할 수 있기 때문이다<sup>[5]</sup>.

TFEL 소자의  $Q_t$ - $V_p$  특성은 다음과 같은 방법으로 쉽게 얻을 수 있다. 이동 전하  $Q_t$ 는 다음 수식으로 표시되고<sup>[3]</sup>

$$Q_t = \left( \frac{C_i + C_p}{C_i} \right) C_s V_s - C_p V_{el} \quad (1)$$

형광층 전압  $V_p$ 는 형광층 전계<sup>[3]</sup>에 두께를 곱한 후, 부호를 반대로 취하면 다음과 같이 표현된다.

$$V_p = V_{el} - \frac{C_s V_s}{C_i} \quad (2)$$

여기서  $C_i$ ,  $C_p$  및  $C_s$ 는 각각 절연층, 형광층 및

capacitor 센서의 capacitance이고  $V_s$ 와  $V_{el}$ 은 각각 capacitor 센서와 TFEL 소자에 공급된 전압이다.

### III. 결과 및 검토

#### 1. TFEL 소자의 광학적 특성

제작된 TFEL 소자의 인가 전압 크기에 따른 휘도는 chroma meter(Minolta, CS-100)를 이용하여 측정하였으며 발광되는 빛의 스펙트럼은 Optical Spectra Analyzer(삼성, OSMA-1000)로 측정하였다. 그림 2는 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자에 1 KHz 사다리꼴 형태의 전압<sup>[5]</sup>을 공급하여 인가전압의 최대치에 따른 휘도(luminance-voltage : L-V) 특성을 나타낸다. 제작된 TFEL 소자의 휘도가 112 V에서부터 급격히 증가되다가 155V 에서부터 서서히 포화되는 특성을 나타내고 있음을 볼 때 TFEL 소자의 일반적인 L-V 특성과 일치함을 알 수 있다. 그림 2로부터 제작된 TFEL 소자의 휘도에 대한 문턱 전압은 112 V 임을 알 수 있었으며, 155 V에서의 포화 휘도는 1025 Cd/m<sup>2</sup>, 최대 전압 185 V 에서는 2080 Cd/m<sup>2</sup>를 나타내었다.

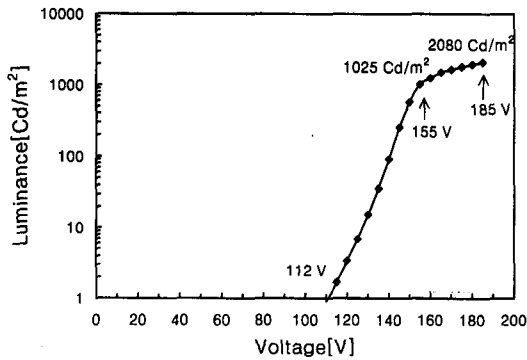


그림 2. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL소자의 L-V 특성  
Fig. 2. The L-V characteristics of ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device.

그림 3은 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 그림 3에서 580 nm의 발광 파장은 Mn<sup>2+</sup> 이온에 의한 발광으로 전자가 <sup>4</sup>G 준위에서 <sup>6</sup>S 준위로 천이 하면서 방출된 것이다. 487 nm, 550 nm, 584 nm, 및 619 nm는 Tb<sup>3+</sup> 이온에 의한 발광 파장으로 전자가 각각 <sup>5</sup>D<sub>4</sub> 준위에서 <sup>7</sup>F<sub>6</sub> 준위로, <sup>5</sup>D<sub>4</sub> 준위에서 <sup>7</sup>F<sub>5</sub> 준위로, <sup>5</sup>D<sub>4</sub> 준위에서 <sup>7</sup>F<sub>4</sub> 준위로 및 <sup>5</sup>D<sub>4</sub> 준위에서 <sup>7</sup>F<sub>3</sub> 준위로 떨어지면서 그에 해당하는

에너지가 빛으로 발광되는 파장이다. 이와 같이 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자에서는 Mn<sup>2+</sup> 이온과 Tb<sup>3+</sup> 이온의 고유한 발광 스펙트럼을 모두 포함하고 있어 540 nm에서부터 640 nm에 이르는 매우 넓은 범위의 발광 스펙트럼을 나타내고 있다<sup>[6]</sup>. 그림 3의 발광 스펙트럼으로부터 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자에 녹색 및 적색 filter를 이용할 경우 순수한 녹색과 적색 빛을 얻을 것으로 기대된다.

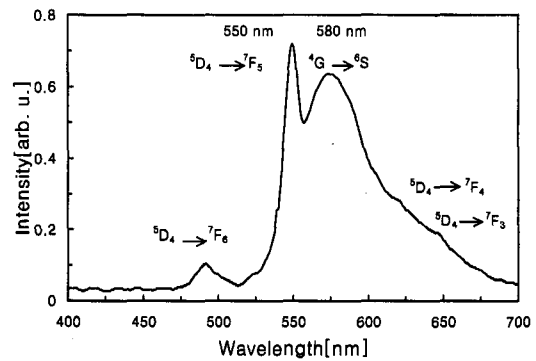


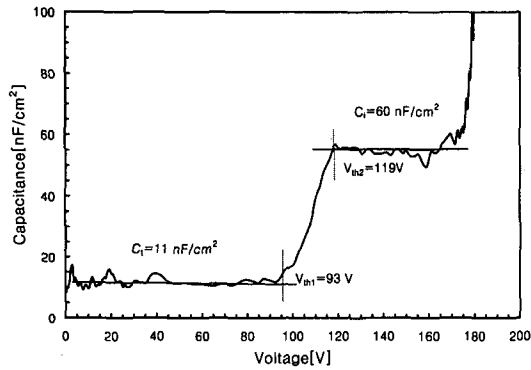
그림 3. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 발광 스펙트럼  
Fig. 3. The emission spectra of ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device.

#### 2. TFEL 소자의 전기적 특성

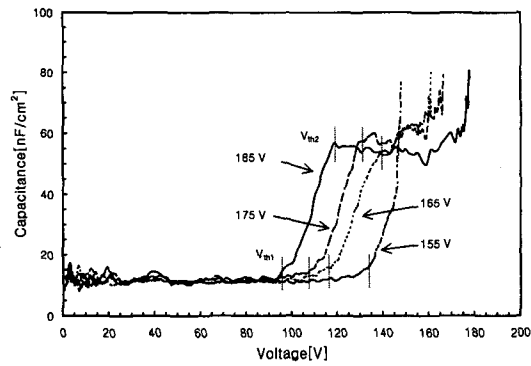
그림 4-(a)는 휘도에 대한 문턱 전압보다 73 V 높은 185 V에서 실험적으로 측정된 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 C-V 특성이다. 절연층/형광층/절연층 구조의 TFEL 소자 capacitance는 문턱 전압 이하에서는 절연층 capacitance ( $C_i$ )와 형광층 capacitance ( $C_p$ )의 직렬 합으로 표현될 수 있고, 문턱 전압 이상에서는 형광층이 breakdown되어 절연층만의 capacitance ( $C_i$ )로 표현된다. Capacitance가 93 V에서부터 서서히 증가되어 119 V에서부터는 60 nF/cm<sup>2</sup>로 일정한 값을 나타내고 있다. 그림 4-(a)의 C-V 특성은 제작된 ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자에 185 V를 공급하면 문턱 전압은 112 V이고 문턱 전압 이하에서의 capacitance는 11 nF/cm<sup>2</sup>, 문턱 전압 이상에서는 60 nF/cm<sup>2</sup>됨을 나타낸다. 이것으로부터 형광층 capacitance ( $C_p$ )는 13.5 nF/cm<sup>2</sup>, 절연층 capacitance ( $C_i$ )는 60 nF/cm<sup>2</sup>임을 알 수 있다. ZnS 모체의 유전상수가 8.6<sup>[7]</sup>이므로 두께 6000 Å, 면적 1 cm<sup>2</sup>를 가정하여 capacitance를 계산하면 12.7 nF/cm<sup>2</sup>가 되고 실험에서 얻은 capacitance ( $C_p$ ) 값

인  $13.5 \text{ nF/cm}^2$ 와 매우 유사하여 실험치의 신빙성을 높여 준다.

그림 4-(a)에  $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$ 과 같이 2 가지 종류의 문턱전압을 표시하였다.  $V_{th1}$ 은 capacitance가 서서히 증가되는 전압을 의미하므로 절연층과 형광층의 얇은 계면에 포획된 전자가 터널링되는 전압이다.  $V_{th2}$ 는 capacitance가 일정한 값을 나타내므로 형광층이 완전히 breakdown되어 형광층의 field-clamping이 시작되는 전압을 의미한다.



(a)

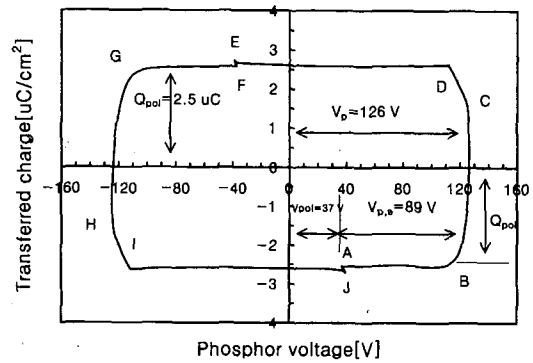


(b)

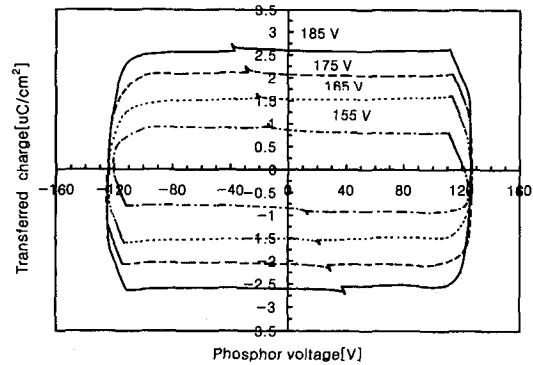
그림 4. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 C-V 특성  
(a) 최대공급전압 185 V, (b) 최대공급전압 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V  
Fig. 4. The C-V characteristics of ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device at (a) applied voltage of 185 V, and at (b) applied voltage of 155 V, 165 V, 175 V and 185 V.

그림 4-(b)는 공급 전압의 최대치가 각각 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V일 때의 C-V 특성을 나타낸다. 공급 전압의 최대치를 증가시킬 수록 문턱전압은 작아진다. 이는 공급 전압이 클수록 형광층을 이동한 transferred charge가 증가되고 polarization

charge가 증가되었기 때문에 나타나는 현상이다. Polarization charge는 계면 주위에 포획된 전하이며 공급 전압의 극성이 변화되면 변화된 전압과 같은 극성으로 동작하므로 polarization charge가 증가될 수록 낮은 전압에서 문턱전압이 형성된다. 공급 전압의 최대치를 각각 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V로 증가시킬 때, 문턱 전압  $V_{th1}$ 은 각각 126 V, 111 V, 107 V 및 93 V로 감소되었고 문턱 전압  $V_{th2}$ 도 각각 146 V, 139 V, 130 V 및 119 V로 감소되었다.



(a)



(b)

그림 5. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의  $Q_t$ - $V_p$  특성  
(a) 최대공급전압 185 V, (b) 최대공급전압 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V  
Fig. 5. The  $Q_t$ - $V_p$  characteristics of ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device at (a) applied voltage of 185 V, and at (b) applied voltages of 155 V, 165 V, 175 V and 185 V.

그림 5에는 TFEL 소자에 주파수가 1 KHz인 사다리꼴 형태의 전압을 공급하여 최대 전압이 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V일 때 형광층을 이동하는 전하  $Q_t$ 와 형광층 전압  $V_p$ 와의 관계가 나타나 있다. 그

림 5-(a)는 공급 전압의 최대치가 185 V이고, A ~ J까지의 영문자는 공급 전압의 크기를 나타내는 지점을 나타낸다<sup>[5]</sup>. 공급 전압의 크기가 A에서 C까지 선형적으로 증가되었음에도 그림 5-(a)에서 B~C 사이의 형광층 전압은 일정하다. 이것은 증가된 전압만큼 하부 계면에 포획된 전자가 tunneling되어 상부 계면에 다시 포획되고, 포획된 전자에 의해 형성된 전압과 상쇄되기 때문에 나타나는 현상이다. 즉, 형광층에 공급될 수 있는 최대전압을 의미한다. 양의 전압이 인가될 때에는 126 V, 음의 전압이 인가될 때는 124 V로 나타났다.

그림 5-(a)에서 A 점은 양의 전압이 시작되는 지점을 나타내지만 이미 37 V의 전압이 형성되어 있다. 이 전압은 이전 주기 음의 전압이 인가되고 있는 동안에 포획된 polarization charge에 의해 형성된 전압이다. 그림 5-(a)에서 TFEL 소자를 breakdown시키기 위해서는 형광층에 126 V의 전압이 공급되어야만 한다. 그러나 polarization charge에 의해 이미 37 V의 전압이 형성되어 있으므로 외부에서 추가로 공급해 주어야 할 전압은 89 V이다. 임피던스는 capacitance에 반비례하므로 외부에서 공급된 전압은 형광층과 절연층의 capacitance에 반비례하여 공급되다가 형광층에 공급된 전압이 89 V가 되면 TFEL 소자는 breakdown된다. 즉, TFEL 소자의 문턱전압은 형광층 전압이 polarization charge에 의해 형성된 전압과 공급된 전압의 합이 형광층을 breakdown시키기에 필요한 전압이므로 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$V_{p,th} = V_{pol} + V_{p,e} = V_{pol} + \frac{C_i}{C_p + C_i} V_{th} \quad (3)$$

여기서  $V_{p,th}$ 는 형광층의 문턱전압,  $V_{pol}$ 은 polarization charge에 의해 형성된 전압 및  $V_{p,e}$ 는 breakdown되기 전 형광체에 공급될 전압이다. 식 (3)에서 TFEL 소자의 문턱전압  $V_{th}$ 은

$$V_{th} = (V_{p,th} - V_{pol}) \times \frac{(C_p + C_i)}{C_i} \quad (4)$$

로 표현할 수 있으며 식 (4)로부터 공급 전압에 대한 문턱전압을 계산할 수 있다. 그림 5-(a)에서 형광층의 breakdown에 필요한 전압  $V_{p,th}$ 는 126 V이고 polarization charge에 의해 형성된 전압  $V_{pol}$ 은 37 V이므로 형광체에 추가로 공급해 주어야 할 전압  $V_{p,e}$ 는

89 V이다. 이들 값과 절연층 capacitance ( $C_i$ )의 60 nF/cm<sup>2</sup>, 형광층 capacitance ( $C_p$ )의 13.5 nF/cm<sup>2</sup>를 식 (4)에 대입하면 공급 전압에 대한 문턱전압  $V_{th2}$  값이 109 V로 계산됨을 알 수 있다. 이 전압은 그림 4-(a)의 C-V 곡선에서 얻은 문턱전압  $V_{th2}$  119 V와 10 V의 차이를 나타내고 있어 정확한 원인에 대해서는 좀더 연구되어야 할 것으로 사료된다.

그림 5-(b)는 공급 전압의 최대치가 각각 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V일 때의 형광층 이동 전하  $Q_t$ 와 형광층 전압  $V_p$ 와의 관계를 나타낸다. 공급 전압을 155 V, 165 V, 175 V 및 185 V로 증가시킬수록 polarization charge  $Q_{pol}$ 은 0.91  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 1.50  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 2.08  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$  및 2.55  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 으로 증가되었고 polarization charge에 의해 형성된 전압  $V_{pol}$ 도 13 V, 21 V, 28 V 및 37 V으로 증가되었다. Polarization charge에 의해 형성된 전압인 13 V, 21 V, 28 V 및 37 V들과 절연층 capacitance ( $C_i$ ) 값의 60 nF/cm<sup>2</sup>, 형광층 capacitance ( $C_p$ ) 값의 13.5 nF/cm<sup>2</sup>들을 각각 식 (4)에 대입하면 TFEL 소자의 문턱전압  $V_{th2}$ 는 138 V, 129 V, 120 V 및 109 V로 계산된다. 여기에서 계산된 문턱전압  $V_{th2}$ 들은 C-V 특성곡선에서 얻을 수 있는 문턱전압 값인 146 V, 139 V, 130 V 및 119 V들과 각각의 전압에서 약 10 V의 차이를 나타내고 있다.

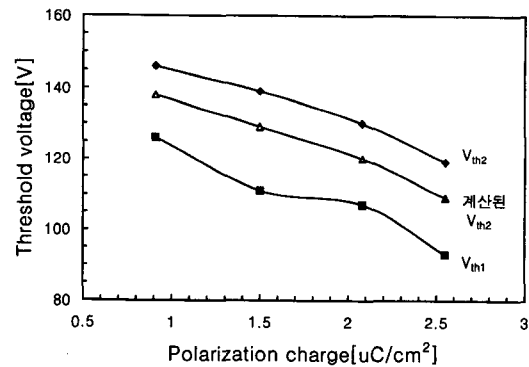


그림 6. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의  $Q_{pol}$ 과 문턱 전압  $V_{th}$

Fig. 6. The dependence of  $V_{th}$  on  $Q_{pol}$  of ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL device.

그림 6은 형광층 계면에 포획된 polarization charge  $Q_{pol}$ 와 TFEL 소자의 문턱 전압  $V_{th}$ 들과의 관계를 나타낸다.  $Q_{pol}$ 가 증가될수록 문턱 전압  $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$  및 식 (4)에 의한  $V_{th2}$ 들은 감소되는 특성을 나

타내고 있다. 이는 공급 전압의 크기를 증가시킬 수록 계면 준위에 포획된 전자의 양도 증가되고, 포획된 전자에 의한 형성된 전압도 함께 증가되어 공급 전압의 극성이 변화될 때 변화된 극성과 같은 방향으로 동작 되기 때문에 나타나는 현상이다. 특히 C-V 특성에서 얻은 문턱전압  $V_{th2}$ 와 식 (4)에 의해 계산된 문턱전압  $V_{th2}$ 과는 공급된 각각의 전압에서 약 10 V의 차이를 두고 있다.

이와 같은 차이는 TFEL 소자의 내부 원인에 의해 발생된 것으로 판단되며 정확한 원인 규명을 위해서는 향후 좀더 연구되어야 할 것이다. 그러나 polarization charge의 양에 반비례하여 감소하는 문턱전압의 추이는 식 (4)에 의해 계산된 문턱전압  $V_{th2}$ 와 C-V 곡선에서의 문턱전압  $V_{th2}$ 는 정확히 일치하는 특성을 나타내고 있다.

#### IV. 결 론

E-beam 장비로 ZnS:Mn/ZnS:Tb 2 층 구조의 TFEL 소자를 제작하여 전기, 광학적 특성을 측정하였다. ITO 전극과 ATO 절연체가 증착된 corning 7059 glass 위에 발광중심체 농도가 각각 1 mol%, 2 mol% 첨가된 ZnS:Mn, ZnS:Tb 형광층을 각각 3000 Å로 증착하여 총 두께 6000 Å 갖도록 제작하였다. ZnS:Mn/ZnS:Tb TFEL 소자의 스펙트럼은  $Mn^{2+}$  이온과  $Tb^{3+}$  이온의 고유한 발광 스펙트럼을 모두 포함하여 540 nm에서부터 640 nm에 이르는 매우 넓은 범위의 발광 스펙트럼을 나타내었다. L-V 특성으로부터 TFEL 소자의 문턱 전압이 112 V임을 알 수 있었으며, 155 V에서의 포화 휘도는  $1025 \text{ Cd/m}^2$ 였고, 최대 전압 185 V에서는  $2080 \text{ Cd/m}^2$  이었다. C-V 및  $Q_t-V_p$  특성으로부터 형광층 capacitance ( $C_p$ )는  $13.5 \text{ nF/cm}^2$ , 절연층 capacitance ( $C_i$ )는  $60 \text{ nF/cm}^2$  됨을 알 수 있었다.

TFEL 소자의 문턱전압은 형광층의 문턱전압과 polarization charge에 의해 형성된 전압과의 차이에 비례함을 명확히 확인하였다. 또한 처음으로 최대인가 전압에 따라 달라지는 polarization charge의 변화에 따른 문턱전압의 변화를 계산할 수 있는 수식을 제안하여 계산된 문턱전압과 측정된 문턱전압을 비교하였다. 이로부터 새로 제안된 수식에 의하여 계산된 문턱전압의 값은 측정된 값과 일치하였다.

#### 감사의 글

※ 본 연구는 전자통신연구원의 지원에 의해 이루어진 연구 결과임.

#### 참 고 문 헌

- [1] D.H.Smith, "Modeling A.C. thin-film electroluminescent devices," J. Lumin. vol. 23, pp. 209-235, 1981.
- [2] R.C. McArthur, J.D. Davidson, J.F. Wager, I. Khormaei, and C.N. King, "Capacitance-voltage characteristics of alternating-current thin-film electroluminescent devices," Appl. Phys. Lett., vol. 56, no. 19, pp. 1889-1891, 1990.
- [3] E.Bringuier, "Charge transfer in ZnS-type electroluminescence," J. Appl. Phys., vol. 66, no. 3, pp. 1314-1325, 1989.
- [4] A.Abu-Dayah, S.Kobayashi, and J.F. Wager, "Internal charge-phosphor field characteristics of alternating-current thin-film electroluminescent devices," Appl. Phys. Lett., vol. 62, no. 7, pp. 744-746, 1993.
- [5] 이순석, 윤선진, 임성규, "Atomic Layer Epitaxy(ALE) 방법으로 제작된 ZnS:Mn 박막전계발광소자의 전기, 광학적 특성," 대한전자공학회 논문지 vol. 35D, no. 2, pp. 146-154, 1998
- [6] E.W.Chase, R.T.Hepplewhite, D.C.Krupa, and D.Kang, "Electroluminescence of ZnS lumocen devices containing rare-earth and transition-metal fluorides," J. Appl. Phys., vol. 40, no. 6, pp. 2512-2519, 1969.
- [7] Yoshimasa A. Ono, "Electroluminescent displays," World Scientific, pp. 44, 1995.

---

저 자 소 개

---

李 淳 錫(正會員) 第 35卷 D 編 第 2號 參照

현재 단국대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주 관심분야는 Electroluminescent Display, Plasma Display Panels, Phosphors

尹 善 俔(正會員) 第 35卷 D 編 第 2號 參照

현재 한국전자통신연구원 재료기술연구실 책임 연구원

林 聖 奎(正會員) 第 35卷 D 編 第 2號 參照

현재 단국대학교 전자공학과 교수. 주 관심분야는 Design and Fabrication of Optical Interference Filter, Electroluminescent Displays, Plasma Display Panels, Plasma Assisted Liquid Crystal(PALC) Displays