

교류구동형 ELD 박막구조의 Interface trap state 에 관한 연구  
( A study on the interface trap states in the AC-TFELD structure )

정인재, 이윤희, 김형곤, 오명환  
( KAIST , 계측소자연구실 )

1. 서 론

ELD (electroluminescent display) 는 최근 연구개발 되고 있는 평판표시장치 중의 하나로서 종래까지 사용되어 오던 CRT 에 비해 구동전압과 소비전력이 낮고 빠른응답속도의 고휘도 표시장치이다.<sup>(1)</sup> 또한 PDP (plasma display panel) 와는 달리 전고체화(solid state) 된 안정된 평판표시장치로서 차세대 man-machine interface 장치로 각광을 받을 것으로 예상된다.<sup>(2)</sup>

이미 선진 각국에서는 ELD 개발 연구가 1980년대부터 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구를 세분하여 보면 1)고휘도의 칼라용 ELD 을 실현시키기 위한 새로운 발광층 연구 2) ELD의 구동전압과 수명 및 안정성 등을 좌우하는 중요한 인자인 새로운 다층 composite 유전체 개발로 나눌수 있다. 특히, 유전체 박막은 박막자체의 유전적성질, 박막형성과정 등에관한 연구뿐만 아니라 발광중심의 충격여기의 primary carrier 가 유전체-발광체 계면에서 부터 터널링 되어 Mn이온을 여기(excitation)시켜 복사성 전이를 통하여 EL현상이 일어나게 되므로 안정성 고효율 저전력 구동등의 소자특성향상을 위해 유전층-발광층 계면에 대한 연구도 활발 진행되고 있다.

본 연구에서는 이론적인 고찰을 통하여 EL 발광에 있어서 최적합한 전자 포획 준위깊이를 계산하고 유전체-발광체 계면상태를 추정할 수 있는 새로운 방법으로서 admittance spectroscopy 법을 도입하여 ZnS:Mn 발광층 내의 trap 준위를 구하였다.

\* 본 발표논문은 과기처 특정연구 개발과제와 관련입니다. \*

2. AC-TEELD의 계면상태에 관한 고찰

이중 절연층 구조의 ACTFELD(그림1)에 있어서 발광은 충격여기 (impact excitation) 과정을 통해 이루어지며 그 과정은 다음과 같다. <sup>(3)</sup> (그림 2참조)

- (1) 음극쪽 I(절연층)-S(ZnS:Mn 발광층) 계면상태에 포획된 전자들의 터널 방출
- (2) S 층내에서 전자들의 ballistic 가속
- (3) Zn 격자자리와 치환되어 있는 발광중심 Mn에 가속된 전자들에 의한 충격 여기
- (4) 여기된  $(Mn^{2+})^*$  발광중심의 복사성 de-excitation
- (5) 양극쪽 IS 계면상태에서 운반자 (전자) 재 포획
- (6) ZnS:Mn 내에 양(+)의 공간전하 축적을 초래하는 가전자 충격 이온화에 의한 운반자 증배

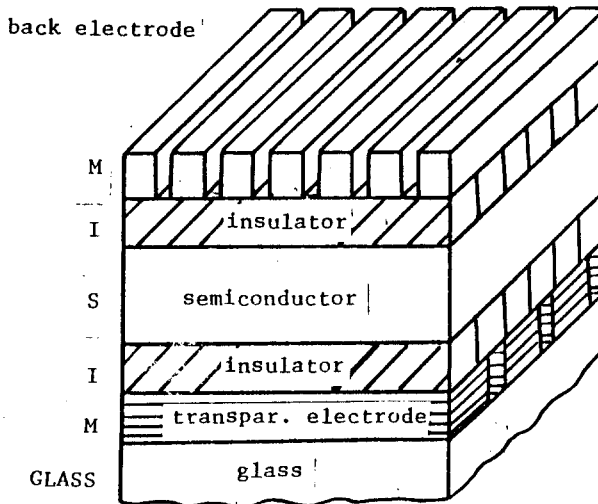


그림 1. MISIM 구조를 갖는 AC TFELD

이러한 EL발광과정에서 중요한 두가지 threshold 가 존재하는데 (i) 임계 전기장 세기가 그 하나로 이 값은 계면상태의 에너지 분포 및 포획된 전하량에 의해 결정된다.

일반적으로 AC-TFEL 에서의 계면상태농도는 매우 높은 것으로 알려져 있으며  
 때 여기 펄스당  $10^{13}$  개/cm<sup>2</sup> 의 전자가 방출된다. 또 하나의 임계치가  
 존재하는데 (ii) 터널링된 전자가 격자와의 충돌로 인한 에너지 손실 없  
 이 가속 되거나 혹은 ballistic mode로 이동해야 한다. ZnS 같은 극성  
 물질의 경우, 운반자의 중요한 에너지 손실기구는 LO 포논에 의한 것으로  
 운반자인 전자의 에너지가 높고, ZnS:Mn층의 결정성이 우수할 수록 에너지  
 손실이 적다.<sup>(4)</sup>

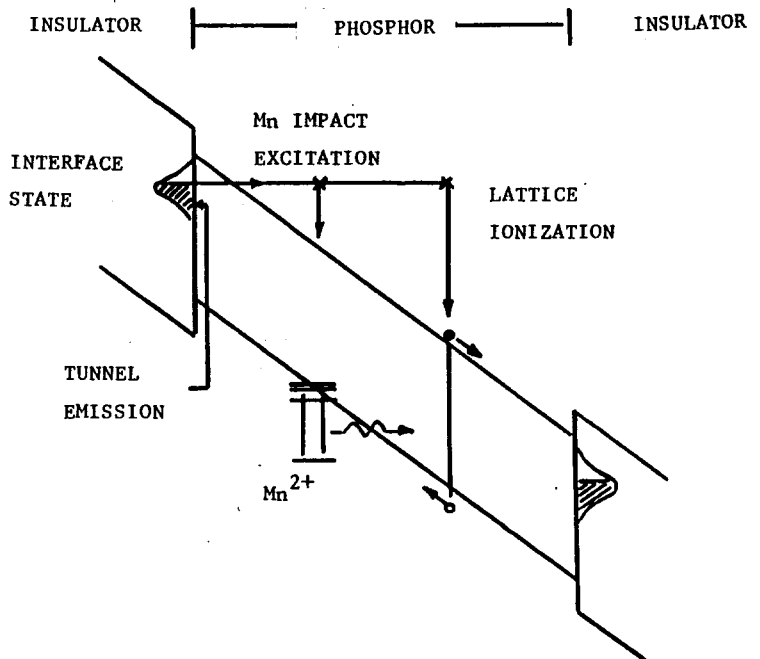


그림 2. EL 발광기구

현재까지 ELD 연구를 통해볼때, 재 포획현상이 일어나는 (일시적인 양극)  
 S-I 계면에서 운반자포획과 재 포획된 전자들이 뒤이은 반대극성의 구동펄스  
 에 의해 재 터널 방출되는 속도와 손실정도에 대한 연구가 전무하다.

본 교에서는 계면상태에 포획되어 있는 전자들이 고전기장하에서 발광중심  
 인 Mn 을 효과적으로 여기시키기 위한 최적 계면상태의 깊이(binding energy)  
 를 정성적으로 고찰하므로써 절연체(I)-발광층(ZnS:Mn)박막 형성조건 변화에  
 따른 계면상태 변화들 조사하여 AC-TFEL에서 발광에 요구되는 적절한 depth 와  
 농도의 운반자 포획 준위를 device 공정과정에서 조절하고자 하는데 있다.

앞선 그림(1)의 과정에 관련된 여러인자들을 고려하기위해 다음과 같은 표현식을 도입하였다. 즉, 계면상태 분포로부터 전자의 방출량(flux)은

$$F \propto \int_0^{\infty} f_0 N_{ss} A \exp(-a \phi^{3/2} / E_c) dE$$

으로 표현가능하며,  $E_c$  = 음극에서 전기장,  $\phi$  = 계면깊이 (binding energy),  $N_{ss}$  = 계면상태 밀도,  $f_0$  = 계면상태의 점유도 등을 나타낸다.

이로부터, 주어진 발광층 및 전기장에 대해 터널방출 특성이 계면의 화학적, 형태학적인 측면 즉,  $\phi$ ,  $N_{ss}$ ,  $f_0$  와 직접적인 관련이 있음을 주시할 필요가 있다. 다음에서는 우물형퍼텐셜 깊은 준위로부터의 터널링에 대해 서로 다른 트랩준위들에 대한 전자방출율을 전기장의 함수로 계산하였다. 전자방출율  $e_n$  은<sup>(5)</sup>

$$e_n = \frac{qE}{4(2m^* \phi)^{1/2}} \exp \left[ -\frac{4}{3} \cdot \frac{(2m^*)^{1/2} \phi^{3/2}}{qkF} \right]$$

로 주어지며 이때  $q$ =전하량,  $E$ =인가전기장(V/cm),  $k$ =플랑크 상수,  $m^*$ =전자유효질량(ZnS에서=0.3 $m_0$ ),  $\phi$ =Dirac우물의 깊이 (계면상태깊이) 이다.

그림 3 은  $\phi = 0.6, 0.8$ , 그리고  $1.0\text{eV}$  에 대한  $e_n$  vs.  $F$  를 나타내고 있다.

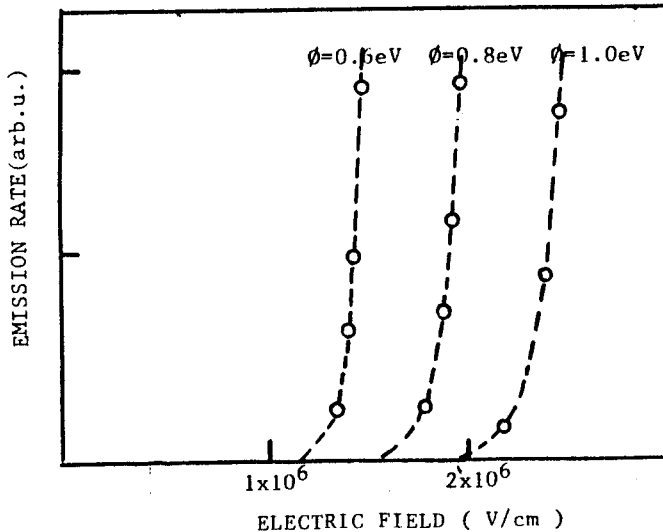


그림 3. 터널 방출율 대 전기장세기

ZnS :Mn 의 발광에 요구되는 전기장 세기가  $1.5 - 2 \times 10^6 \text{ V/cm}$  임을 고려할 때 (i) 트랩깊이  $\phi = 0.6 \text{ eV}$  인 경우, 발광 임계장 이하에서도 터널링되므로써 Mn 여기에 요구되는 충분한 에너지의 hot-전자로 가속되지 못하며 (ii)  $\phi = 0.8 \text{ eV}$  의 경우, 임계 field 하에서 터널 방출이 효과적으로 일어나나 (iii)  $\phi = 1.0 \text{ eV}$  인 경우, 임계 field 이상의 고전기장하에서만 터널방출가능하여 Mn 여기에 충분한 source carrier로의 역할을 하지 못하므로 본 결과로 부터 EL발광에 요구되는 트랩 준위 깊이는  $0.6 \text{ eV} - 0.9 \text{ eV}$  범위가 적합함을 알 수 있다.

### 3. 실험

#### (1) 시편준비

ITO (indium-tin oxide)가 코팅된 유리 (corning 7059) 를 세척한 다음 기판온도를  $250^\circ \text{C}$  로 유지하면서 ZnS:Mn (0.4 wt%)을 약  $6000 \text{ \AA}$  두께로 e-beam evaporation 방법으로 증착시켰다. ZnS:Mn 박막위에 Au를 열증착법으로  $3000 \text{ \AA}$  증착시키므로써 Schottky 장벽을 형성하였다.

#### (2) Admittance Spectrum 측정

이 방법은 운반자의 열적방출률 변화에 따른 집합 capacitance C 와 conductance G 가 측정온도와 주파수에 의존하는 현상을 이용한 것이다. 즉, C 와 G 의 변화는 trap이 charge와 uncharge를 되풀이하는 과정의 시상수와 측정주파수에 관계된다. 또한 일정한 주파수하에서 이들의 온도변화는 운반자의 열적방출률에 관계되는데,<sup>(6)</sup>

$$e_n = 1/\tau = g \delta_n V_{th} N_c \exp[-(E_c - E_t)/kT] \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서 간단히 n 형의 경우를 나타낸 것으로서 g 는 축퇴인 자이며,  $V_{th}$  는 전자의 열평균속도,  $N_c$  는 conduction band E 에서의 유효 상태밀도이다. 또한,  $E_t$  와  $\delta_n$  는 각각 trap의 활성화에너지와 포획단면적을 나타내며, T 는 절대온도, k 는 Boltzmann 상수이다.

그런데, 일정한 측정주파수하의 온도변화에 따른 G(T) 신호가 최대가 되는 온도  $T_m$ 와  $w(T)$  의 변곡점(inflection point)이 되는 온도  $T_i$  에서, 열적방출률과 측정주파수 사이의 관계는 각각 다음과 같다.

$$e_n(T_m) = w/1.980 (G(T) \text{ 신호가 최대일때}) \quad (2)$$

$$e_n(T_t) = w/1.825 (wC(T) \text{ 신호의 변곡점에서}) \quad (3)$$

또한 (1) 식은 다음과 같이 정리된다.

$$e_n = B \sigma_e T^2 \exp(-E_a/kT) \quad (4)$$

이때, B는 상수값이며  $E_a$ 는  $E_c - E_t$ 이다. 따라서 각각의 고정된 측정주파수하에서 온도변화에 따른 admittance의 측정으로부터  $1/T$ 에 대한  $\ln(w/T)$  plot으로 부터 trap의 활성화 에너지를 구할 수 있다. Admittance 측정시 주파수를 100, 200, 300, 그리고 500KHz로 하고 측정온도는 200K에서 450K까지 가변시켰다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 4는 ZnS:Mn-Au Schottky 접합에 대한 admittance spectrum을 나타낸 것으로 100K-400K 온도범위내에서 하나의 peak만 관측되었다. 각각의 고정된 측정주파수에서 온도변화에 따른 admittance의 측정으로부터 (2) 식 혹은 (4) 식에 의해  $1/T$ 에 대한  $\ln(W/T)$  plot을 취한것을 그림 5에 나타내었다. 그림 3의 기울기로 부터 구해진 ZnS:Mn 박막내의 trap 깊이는 0.55eV로 나타났다. 이 값은 ZnS 단결정에서 Zn 이온의 trap 준위가 전도대로부터 0.5eV 아래에 존재한다는 <sup>(7)</sup> 보고와 비교적 잘 일치한다.

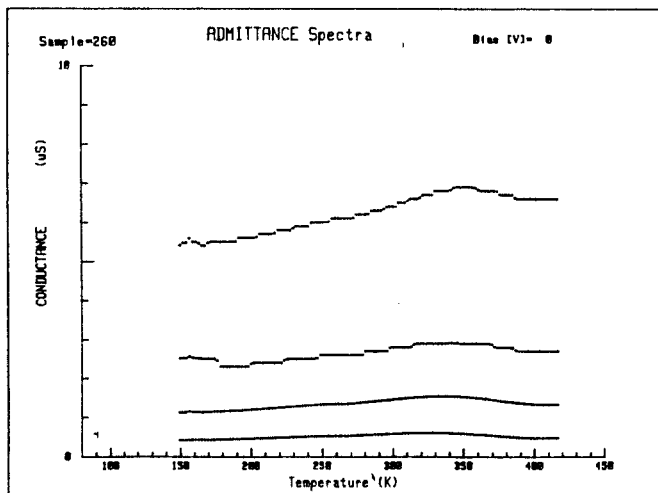


그림 4. 온도 및 주파수가변에 따른 admittance spectra

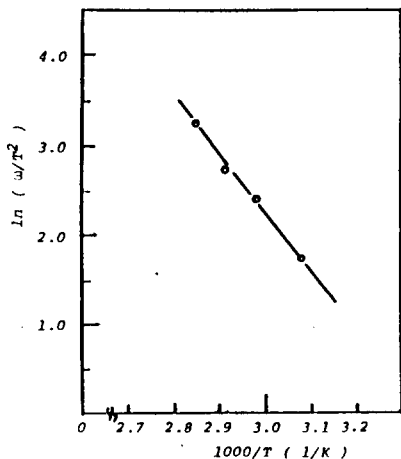


그림 5. Admittance Spectroscopy로부터 측정된 신호들의 Arrhenius plot 결과

### 5. 결 론

본 고에서는 EL 발광에 요구되는 발광중심인 Mn의 충격여기를 위한 hot-운반자의 source인 ZnS:Mn 발광층-절연층 계면에 포획된 전자들의 최적 준위를 조사하기 위해 전자포획준위를 Dirac-well 퍼텐셜로 가정하고 전자의 터널 방출율을 전기장의 함수로 계산한 결과 전도대로부터 0.6-0.9eV 아래에 존재하는 트랩으로부터 방출된 전자가 ELD 발광에 매우 유효함을 정성적으로 알 수 있었다. 이러한 계면 및 ZnS:Mn내 전자포획준위의 연구를 위해 깊은 준위 연구에 유용한 admittance spectroscopy법의 적용 가능성을 보이고 ZnS:Mn 내 트랩준위를 결정하였다.

< 참고 문 헌 >

1. Tannas, "Flat-Panel Displays and CRTs", New York : Van Nonstrand Reinhold Co., Ch 1 & 2 (1985)
2. D. Thesis, J.Lum., 23, 191-207 (1981)
3. G.O. Muller, phys. stat. sol. (a), 81, 597-608 (1984)
4. P.M. Alt, Proc. SID, 25/2, 123-146 (1984)
5. G. Vincent, J. Appl. Phys., 50, 50 (1979)
6. G. Vincent, D. Bois, and P.Pinard, J. Appl. Phys., 46/12, 5173-78 (1975)
7. Kroger, "The Chemistry of Imperfect Crystals" (2nd ed.), North-Holland Publishing Co., 2, 742 (1974)