

ZnS : SmF₃와 ZnS : TmF₃ EL 소자의 계면준위

현 동 결*

절연체 Si₃N₄을 이중절연층으로 제작한 ZnS : SmF₃와 ZnS : TmF₃ 전계발광소자에 산소를 기체상태로 주입함으로써 인가전압-이동전하량 특성이 변화되는 것을 관측하였다. 계면에서 전자포획 포텐셜을 쿨롱 포텐셜우물로 가정하고 전계발광에 대한 기본방정식을 사용하여, 계면에서 S-빈자리와 등가불순물인 산소의 전자 포획준위가 ZnS의 전도대로부터 각각 0.87과 0.9 eV 밑에 존재하는 것으로 산정되었다.

I. 서 론

희토류원소를 발광중심으로한 II-VI족 황화합물의 발광층과 절연층으로 구성된 전계발광(Electroluminescence, 이하 EL)소자에 대하여 많은 연구가 행하여지고 있다⁽¹⁻⁴⁾. 이들의 문헌에 의하면 절연층과 발광층 계면의 포획준위로부터 고전계에 의하여 발광층의 전도대로 주입된 전자에 의하여 발광이 야기된다고 보고되고 있으나 계면상태에 대한 정보는 소수에 불과하다^(5,6,7).

EL소자에서 계면상태는 소자의 전기광학적특성, 즉 문턱전압, 휘도-인가전압특성, 노쇄현상, 그리고 메모리효과 등에 관련된다고 보고되고 있어, 매우 중요한 역할을 한다.

계면을 형성하는 요소로서는 절연층과 발광층 사이의 포텐셜의 불연속, 격자 부정합과 뒤틀림, dangling bond, 음이온 또는 양이온 vacancy과 같은 결정의 non-stoichiometry, 이중의 등가 또는 비등가의 불순물 등이 고려될 수 있다. S-vacancy는 II-VI족 황화합물의 결정에서 깊은 준위를 형성한다는 것이 보고되어 있으며⁸⁾ 그 밀도는 ZnS인 경우 약 $10^{16}/\text{cm}^3$ 으로 알려져 있어⁹⁾ EL발광에 기여하는 계면준위를 형성할 수 있는 요인으로 고려된다. S원자와 등가인 O원자 또한 ZnS결정에서 깊은 준위를 형성하는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. O원자가 ZnS결정에 주입될 때에는 O이온의 크기에 비하여 격자간 유효공간이 너무 작아 S이온과 대치되거나 S-vacancy에 위치하는 것으로 보고되어 있다^{10,11)}.

본 연구는 위와같이 보고된 내용을 근거로, 발광층 형성과정에서 기상으로 산소를 주입하여, (I) S-vacancy와 산소이온에 의한 계면준위 형성여부, (II) 이들의 계면준위, (III) EL발광의 산소첨가효과 등과 같은 사항을 밝히는 것을 목적으로 한다.

* 제주교육대학교 과학교육과 전임강사

본 논문은 희토류불화물인 SmF_3 과 TmF_3 을 발광증심으로 첨가한 ZnS 발광소자와 이에 산소를 기상으로 첨가한 소자를 제작하고, Sawyer-Tower회로를 사용하여 이동전하량을 측정한다¹²⁾. 계면에서 전자를 포획하는 포텐셜우물을 쿨롱포텐셜우물로 가정하여¹³⁾ Alt모델¹⁴⁾을 바탕으로 공간전하에 형성되는 내부전계, 발광층에서 전도전자의 증식 그리고 양극계면에서의 재포획된 전계에 의한 분극전계 등을 고려하여 발광층 내의 유효전계를 얻고 이때 음극계면으로부터 터널전자의 Flux, 그리고 양극계면에서 축적되는 전하량을 계산하고 측정된 양과 비교 검토한다.

II. 실험

II-1. 시료제작

Fig. 1. 은 제작한 박막EL소자의 구조도이다. 소자는 세개의 층, 발광층과 이를 둘러싸고있는 두 절연층으로 구성된다.

ITO ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$) 투명전극이 입혀져 있는 corning 7059 유리기판 위에 하부 절연층 Si_3N_4 가 rf-plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) 방법에 의하여 2000 Å의 두께로 증착된다¹⁵⁾. 절연층 Si_3N_4 가 입혀진 다음 발광층인 $\text{ZnS} : \text{SmF}_3$ 또는 $\text{ZnS} : \text{TmF}_3$ 가 전자선 증착방법에 의하여 증착된다. 증착용 pellet은 순도 4N의 ZnS 에 발광증심으로 작용할 SmF_3 와 TmF_3 을 각각 1mol%을 첨가하여 Ar분위기에서 800°C 온도로 2시간 소성시켜 사용했다. 증착시 기판온도는 200°C로, 진공도는 2×10^{-7} Torr로, 증착속도는 5 Å/sec로 유지하여 6000 Å의 두께로 발광층을 증착하였다. 한편 발광층 내의 산소 첨가는 위와 같은 조건에서 진공도가 4×10^{-5} Torr에 이를때까지 산소를 기체상태로 belljar내로 주입하여 산소가 첨가된 각각의 발광층을 증착하였다.

발광층의 증착이 끝난 뒤 상부절연층 Si_3N_4 는 하부절연층과 같은 조건하에서 발광층위에 2000 Å의 두께로 증착하였다. 상부절연층 위에 Al전극이 저항선 가열법에 의하여 2000 Å의 두께로 증착되었다.

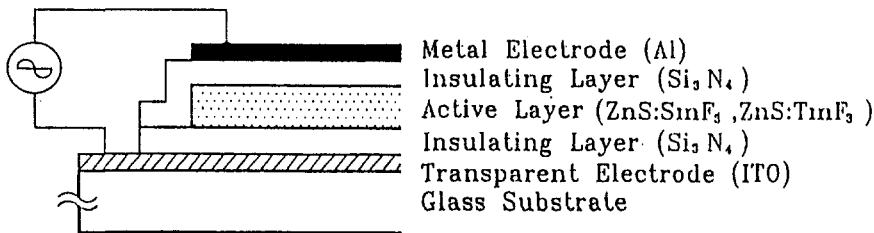


Fig. 1. Basic structure of the thin film electroluminescence device.

II-2. 측 정

발광층 내의 이동전하량과 발광효율을 측정하기 위하여 Fig. 2. 같이 Sawyer-Tower 회로를 구성했으며¹²⁾, Sawyer-Tower 회로는 용량적인 전압분배기이며 오실로스코프에 나타나는 평행사변형의 기울기는 용량을 나타내며 면적은 한 펄스당 소자에 소모되는 에너지 P를 나타낸다. 센서용량 C_s는 소자용량 C_t보다 상당히 큰 2~3.5nF의 가변 축전기를 사용하였다. 소자의 이동전하량 ΔQ_i는 오실로스코프에서 구하고 발광강도 L은 광도계로 측정하였다. Fig. 3. 는 오실로스코프의 화면에 나타난 전압과 이동전하량과의 관계를 보여 준다. 본 연구에서 인가전압의 주파수는 ZnS : SmF₃ 소자에 대해서는 1kHz의 sine파, ZnS : TmF₃ 소자에는 5kHz의 sine파이다.

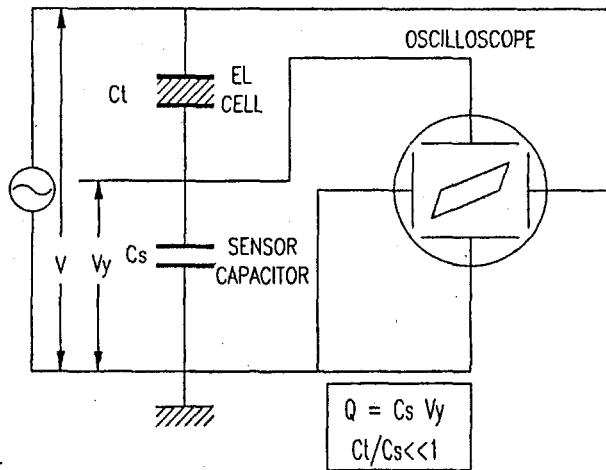


Fig. 2. Sawyer-Tower Circuit for investigating the transferred charge(ΔQ_i)-applied voltage(V_a) characteristics.

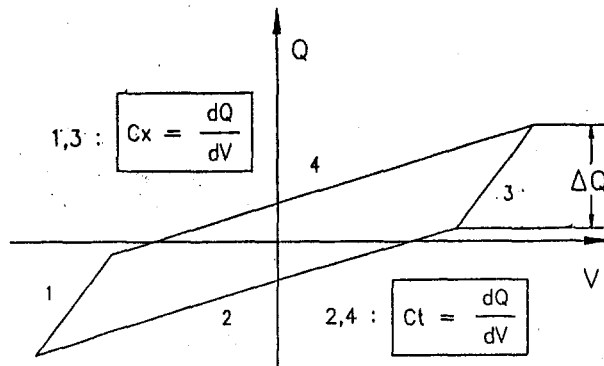


Fig. 3. The transferred charge(ΔQ_i)-applied voltage(V_a) characteristics.

Ⅲ. 이론적고찰

Ⅲ-1. 기본방정식

발광층내의 전도전자의 근원은 절연층과 발광층의 계면준위에 포획된 전자이며, 전계에 의하여 계면준위로부터 발광층의 전도대로 터널방사에 의하여 주입된다. 이때 터널이 일어난 계면은 음극계면이라하며, 음극계면으로부터 터널전자의 Flux는

$$F_{xc} = \int_0^{\infty} f(\epsilon, t) N_s(\epsilon) e_n(\epsilon, F) d\epsilon \quad (1)$$

로 주어진다¹²⁾.

여기서 F 는 전계의세기, ϵ 은 계면상태의 전자포획 에너지준위의 깊이, 즉 구속에너지이며, $f(\epsilon, t)$ 는 계면상태의 전자점유함수, $N_s(\epsilon)$ 은 계면상태밀도이며, $e_n(\epsilon, F)$ 는 계면준위로부터 전자가 터널될 확률함수이며, 전자를 포획하는 포텐셜우물의 형태에 의존한다.

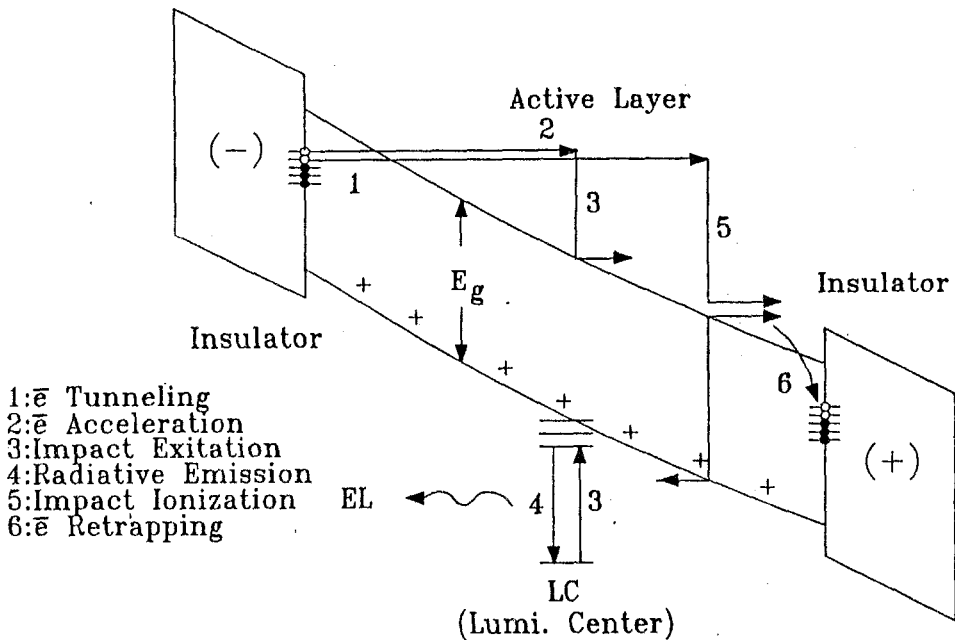


Fig. 4. Simple model for the basic process of the charge transport and excitation mechanism in the active layer under applied voltage.

발광층의 전도대에 주입된 전자는 전계 F에 의하여 가속되어 에너지성 전자인 hot electron으로 발전된다. hot electron은 발광중심인 불순물이온을 충격하여 발광중심을 여기 이완시킴에 의하여 발광을 야기시키거나 모체의 격자를 충격 이온화시켜 제2차 전자를 증식 시킨다. 이때 터널주입된 제1차 전자나 제2차 전자가 정공과의 재결합없이 상대편 계면인 양극계면에 도달된다고 가정한다. Fig. 4. 은 발광층 내의 전자수송현상을 보여준다. 발광층 내의 전도전자의 Flux, F_{xn} 의 음극계면으로부터 위치에 따른 변화율은

$$\frac{dF_{xn}}{dx} = \alpha_n F_{xn} \quad (2)$$

으로 쓸 수 있으며, 여기서 α_n 은 발광층내의 전계의 함수로 표현되는 이온화함수이다. 음극계면으로부터 x의 거리에서의 F_{xn} 은

$$F_{xn} = F_{xc} \exp(\alpha_n(F)x) \quad (3)$$

이다. 양극계면에 도달한 모든 전자가 양극계면상태에 재포획된다면, 양극계면에 축적되는 전하량, 즉 이동전하량 ΔQ_a 는

$$\Delta Q_a = \int_0^t \int_0^{d_z} q F_{xc} \exp(\alpha_n(F)x) dx dt \quad (4)$$

로 얻을 수 있다. 여기서 d_z 은 발광층의 두께이다.

한편 터널주입되고 전계에 의하여 가속된 전자의 격자이온화에 의하여 가전자대에 생성된 정공이 에너지금지대 내의 깊은 포획준위에 포획됨으로써 야기되는 양의 공간전하는 energy bending을 유도한다. 이는 Poisson방정식으로 표현되며, 이로 인하여 형성된 전계 F_s 는

$$F_s = \frac{\rho(F)}{\epsilon_z} x \quad (5)$$

를 얻을 수 있다. 여기서 ϵ_z 은 발광층의 유전상수이다.

또한 양극계면에 축적된 전하량 ΔQ_a 에 의하여 외부 인가전압에 의한 발광층 내의 전계 F_{za} 와 반대방향의 분극전계 F_p 을 고려할 수 있으며, 이는 발광층 내의 전계를 clamping하는 요인중의 하나로 고려된다. Alt모델을 고려하면¹⁴⁾ F_p 는

$$F_p = \frac{q}{d_z(C_1+C_2)} \int_0^t \int_0^{d_z} F_{xc} \exp[\alpha_n(F)x] dx dt \quad (6)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 q 는 전자의 전하량이며, C_1 와 C_2 은 절연층과 발광층의 단위면적당 용량이다. 발광층 내의 전계 F_z 는 앞에서 논의된 사항들을 고려하면

$$F_z = F_{za} + F_s - F_p \quad (7)$$

으로 쓸 수 있으며, 여기서 F_{za} 는 외부 인가전압의 함수로서

$$F_{za} = \frac{C_1 V_a(t)}{d_z(C_1+C_2)} \quad (8)$$

로 쓸 수 있다.

소자에 최초로 외부전압 $V_a(t)$ 을 인가하는 순간, F_z 은 F_{za} 의 함수 또는 식(8)을 사용하여 인가전압의 함수로 나타낼 수 있다.

$$F_z = \frac{C_1 V_a(t)}{d_z(C_1+C_2)} + \frac{\rho(V_a(t))}{\epsilon_z} x - \int_0^t \int_0^{d_z} \frac{q}{d_z(C_1+C_2)} F_{xn}(\epsilon, V_a(t)) dx dt \quad (9)$$

윗식의 우변의 제3항은 인가전압 $V_a(t)$ 가 커질수록 양극계면으로의 Flux를 증가시킴에 의하여 많은 양의 전하가 축적되며, 이는 발광층의 전계 F_{za} 을 clamping시키는 요인으로 작용, δt 의 시간이 지난 뒤 정상상태에 이르게 된다. 정상상태에서의 발광층의 유효전계 F_{eff} 는 F_z 를 식(5), (6)에 대입하여 얻을 수 있다.

$$F_{eff} = F_{za} - F_s(F_z) + F_p(F_z) \quad (10)$$

또한 정상상태에서의 양극계면으로 이동하는 이동전하량 ΔQ_t 는

$$\Delta Q_t = \int_0^t \int_0^{d_z} q F_{xn}(\epsilon, F_{eff}(V_a(t))) dx dt \quad (11)$$

와 같이 인가전압 $V_a(t)$ 의 함수로 얻을 수 있으며, 이는 Sawyer-Tower 회로를 사용하여 측정할 수 있는 양이다.

III-2. 수치계산

절연층과 발광층의 계면에서 전자를 구속하는 포텐살우물을 쿨롱포텐살우물로 가정하면, 전계에 의하여 구속전자가 이온화될 확률¹³⁾은

$$e_n = A(\epsilon, F) \exp(-a\epsilon^{3/2}/F) \quad (14)$$

이다. 여기서 전계의 세기 F 는 V/cm 의 단위, 전자 포획준위 ϵ 는 eV, A 는 $A=3.4 \times 10^{12} (m^*/m)^{-1/8} \epsilon^{5/8} F^{1/4}$, 그리고 상수 a 는 $a=7 \times 10^{-7} (m^*/m)^{1/2}$ 이며, 여기서 m 은 자유전자의 질량, m^* 는 ZnS의 전도대에서의 전자의 유효질량으로서 $m^*=0.3m$ 이다⁶⁾.

식(14)을 식(1)에 대입하여 다시 쓰면

$$F_{xc} = \int_0^{\infty} f(\epsilon, t) N_s(\epsilon) A(\epsilon, F) \exp(-a\epsilon^{3/2}/F) d\epsilon \quad (15)$$

로 쓸 수 있다. $N_s(\epsilon)$ 는 ϵ 의 함수이지만, $0 < \epsilon < 3eV$ 에서 일정하다고 가정하며, $f(\epsilon, t)$ 는 평형상태에서 전자가 페르미준위 E_f 까지 채워져 있고 시간에 대하여 일정하다고 가정하며, E_f 는 계면의 전자포획준위 ϕ 로 간주한다. 따라서 식(15)는

$$\begin{aligned} F_{xc} &= \int_{E_f=\phi}^{\infty} f(\epsilon) N_s A(\epsilon, F) \exp(-a\epsilon^{3/2}/F) d\epsilon \\ &\approx (2/3) (N_s/a) A(\phi, F) \phi^{-1/2} F \exp(-a\phi^{3/2}/F) \end{aligned} \quad (16)$$

로 나타낼 수 있다. 계산에서 N_s 는 $5 \times 10^{13} cm^{-2} eV^{-1}$ 을 사용했다⁶⁾.

식(2)의 이온화함수 $\alpha_n(F)$ 는

$$\alpha_n(F) = (qF/E_i) \exp[-(F_0/F)_n] \quad (17)$$

로 주어지며, E_i 는 유효이온화에너지이며, F_0 는 모체의 이온화 특성을 나타내는 전계의 세기이다. ZnS에 대하여서는 실험적 자료가 거의 없지만 보고된 바에 의하여 $E_i=3E_g/2$, $F_0=1.7 \times 10^{-6} V/cm$, 그리고 $n=2$ 을 사용한다⁷⁾.

식(5)의 공간전하밀도 ρ 는 ZnS의 깊은 포획준위의 밀도 $n_t = 10^{16} cm^{-3}$ 로부터¹⁾ $\rho_0 = qn_t$ 라 놓고 Boltzmann분포를 고려하여 다음과 같이 고려했다.

$$\rho = \rho_0 \exp[-E_g/qFx] \quad (18)$$

외부인가전압 $V_a(t)$ 는 편리상 V_{rms} 을 사용하며, 식(4) 이하의 시간에 대한 적분구간은 0으로부터 반주기 $T/2$ 까지로 하여 정상상태에 이를 때까지 반복계산을 하였다. x 에 대한 적분구간은 발광층의 두께를 고려, 음극계면을 기준으로 한 0으로부터 발광층의 두께 d_2 까지 한다. 절연층과 발광층의 면적당 용량인 C_1 와 C_2 은 층의 두께가 일정하다고 가정하여 $C = \epsilon_0 \epsilon_r / d$ 인 관계에서 구할수 있으며, 여기서 ϵ_0 와 ϵ_r 은 진공의 유전율과 상대유전율이 다. 본연구에서는 ZnS의 상대유전율을 8.6, 절연체 Si_3N_4 의 상대유전율은 측정된 7을 사용했다.

IV. 결과 및 검토

X-선 회절장치(XRD, JOEL, JDX-8030, 40kV, 30mA)에 의하여, 산소의 첨가가 발광층의 결정구조 및 결정성에 미치는 영향을 조사한 결과가 FiG. 5. 와 FiG. 6. 에서 보여 준다. 불순물의 종류와 관계없이 두소자는 동일한 X-선 회절양상을 보인다. 기판온도

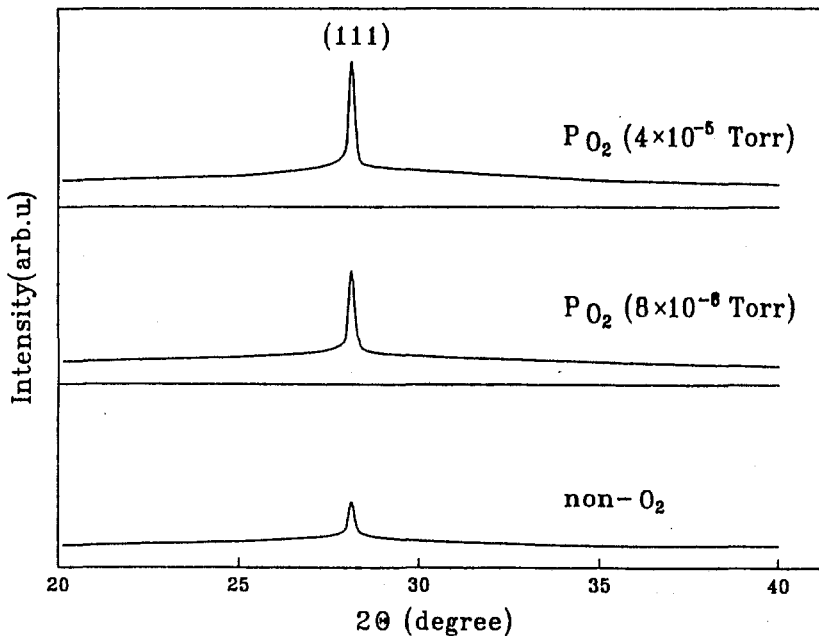


Fig. 5. X-ray diffraction pattern : O_2 Pressure dependance of $\Delta(2\theta)$ and $I(111)/d$.

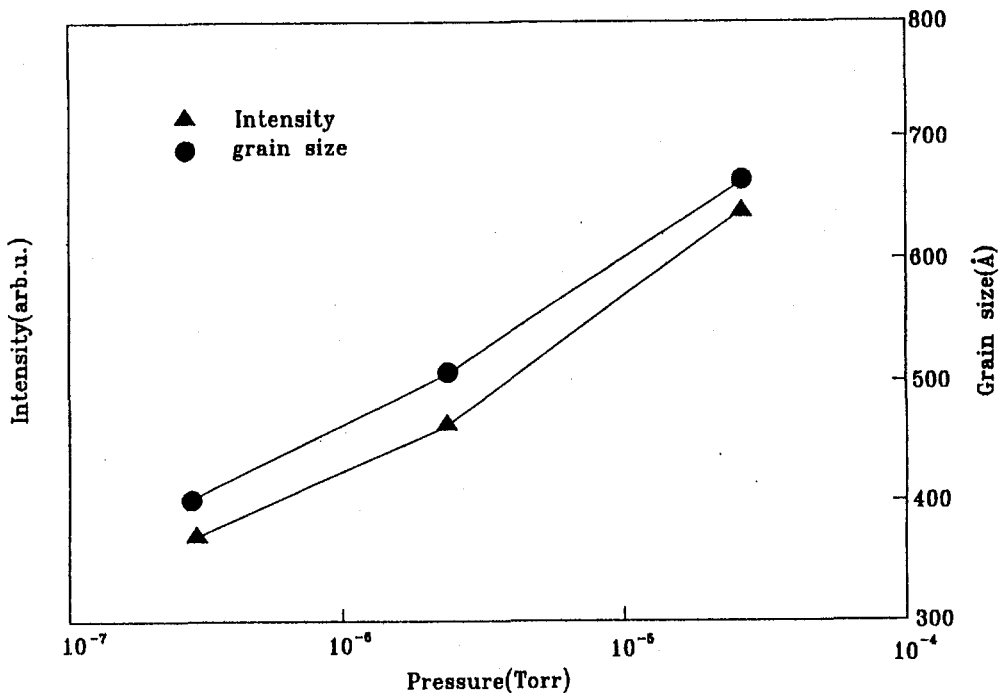


Fig. 6. O₂ Pressure dependance of grain size, Δ (2 θ) and I(111)/d.

150°C 부근에서 부터 cubic (111)면이 강하게 나타나며¹⁸⁾ 200°C의 기판 온도에서는 cubic (111)면으로 보다 강하게 배양되어 있으며 산소가 첨가됨으로써 결정성이 향상, 즉 막의 균일성이 향상되고 grain size가 커지는 경향이 있다. 140°C 이상의 기판온도에서 전자선 증착법에 의하여 증착된 ZnS막은 Zn이온에 비해 S이온의 비가 1보다 작으며 이러한 S의 부족현상은 높은 기판온도로 인하여 S이온의 재증발이 원인으로 고려된다. 이에대한 결과로 나타나는 ZnS의 비화학당량적 조성(non-stoichiometry), 즉 S-vacancy와 Zn의 결합으로부터 받는 막의 stress를 격감시킴으로 인하여 막의 결정성이 향상된다고 고려한다. 격자간의 여분의 산소이온의 내재는 격자간의 유효공간이 큰 산소이온을 수용할 수 없기 때문에 배제될 수 있다¹⁹⁾. 발광층의 배향면, 막의 균일성, 그리고 grain size는 계면준위 형성, hot electron의 형성 및 hot electron이 발광중심을 충격여기시키는 효율에 관계한다.

Fig. 7. 과 Fig. 8. 은 ZnS : SmF₃와 ZnS : TmF₃ EL소자의 휘도-전압특성에 산소첨가의 영향을 보여주는 그림이다. 산소가 첨가됨에 의하여 발광문턱전압은 증가하고 휘도에 있어서는 증가하는 경향이 있다. 산소의 첨가에 의하여 발광문턱전압의 이동은 발광층 내의 전도전자의 근원인 계면상태의 변화를 시사한다.

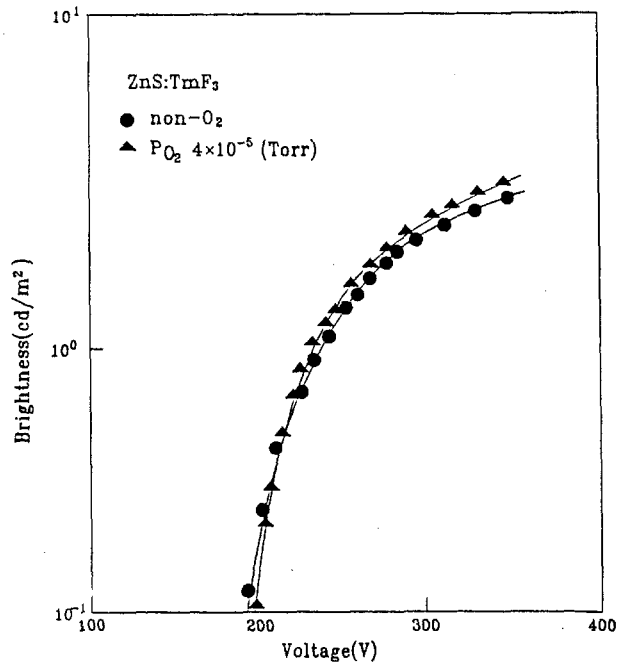


Fig.7. Brightness - applied voltage characteristics of ZnS : TmF₃ EL device.

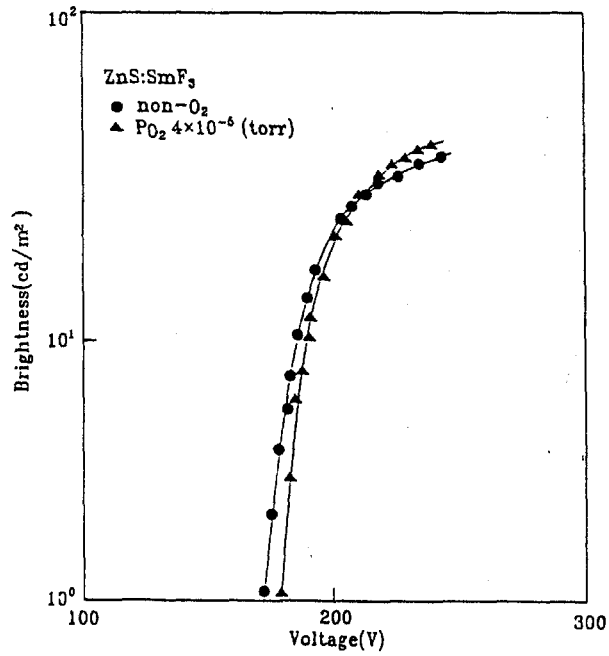


Fig.8. Brightness - applied voltage characteristics of ZnS : SmF₃ EL device.

Fig. 9. 는 Sawyer-Tower 회로를 사용하여 측정한 이동전하량 ΔQ_i 와 인가전압과의 관계를 보여주는 그림이다. 두 소자는 첨가된 불순물의 종류에 관계없이 이동전하량 ΔQ_i 와 인가전압 V_a 와의 특성은 거의 동일하다. 이는 발광중심으로 첨가된 불순물은 EL 발광에 기여하는 계면준위를 형성하지 않는 것을 시사한다. 산소를 첨가한 소자는 전도전류 문턱 전압이 높은 전압쪽으로 이동하고 있다. 이는 두 소자의 계면상태, 즉 계면에서 전자를 구속하는 구속에너지가 변화하고 있음을 강하게 시사하고 있다. 환언하면 ZnS의 bulk에서 깊은준위를 형성하는 S-vacancy가 계면에서 계면전자 포획준위를 형성하며, 산소의 첨가함에 의하여 S-vacancy가 산소이온으로 대체됨에 의하여 계면준위는 변화한다. 변화된 계면전자 포획준위는 산소이온이 S-site에 존재함에 의하여 야기되는 등전포텐셜(iso-electronic potential)에 의한 준위이다. 산소가 첨가된 소자에서 높은 인가전압의 영역에서 이동전하량 ΔQ_i 의 증가는 Fig. 5. 에서 보여주는 바와 같이 산소의 첨가에 의하여 결정성의 향상, grain size가 커짐으로써 발광층의 전도전자로 터널된 전자가 전계에 의하여 모체를 충격이온화 시킬 수 있는 충분한 에너지를 얻을 기회가 많음에 인한 것으로 고려

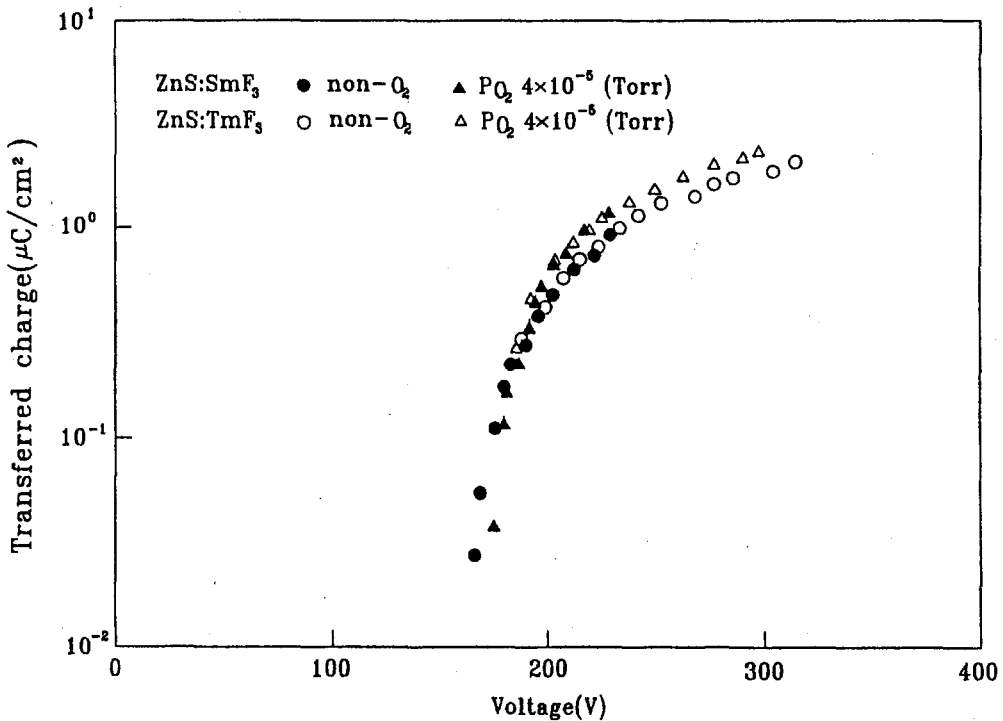


Fig. 9. Transferred charge - applied voltage characteristics of ZnS : SmF₃ and ZnS : TmF₃ EL devices.

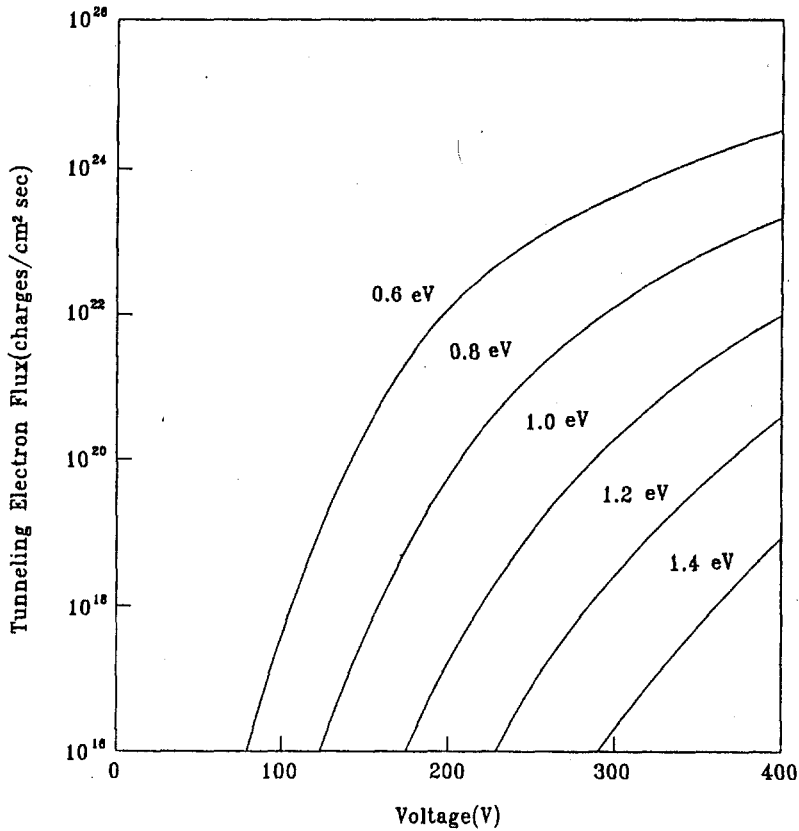


Fig. 10. Calculated tunneling electron flux - applied voltage characteristics.

된다. 고전압 측에서 ΔQ_i 의 포화현상은 전계의 clamping에 기인된 것으로 고려된다.

식(10)과 (16)을 사용하여 음극계면으로 터널되는 전자의 Flux, F_{xc} 의 계면전자 포획 준위 ϕ 는 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 eV로 변화 시켰으며 인가전압은 0V에서 400V까지 변화시켰다. Fig. 10.은 전자의 음극계면으로부터 터널 Flux의 계면 포획 준위 ϕ 와 V_a 의 의존성을 나타내고 있으며 고전압 측에서 포화되고 있음을 보여준다.

Fig. 11.은 식(11)을 사용하여 계산된 양극계면에 도달하여 축적된 이동전하량 ΔQ_i 와 ϕ 와 V_a 의 의존성을 보여준다. ΔQ_i 의 근원이 Fig. 10.에서 보여주는 음극계면에서 터널된 전자라면 고전압 측에서 포화되어야 한다. 따라서 ΔQ_i 에는 전자증식에 의한 전자, 공간전하 등이 포함되어 있음을 시사한다. 그러나 Fig. 9.의 Sawyer-Tower 회로를 사용하여 측정된 ΔQ_i 와 비교할 때 고전압 영역에서도 계속 증가함은 지금까지 고전계하에서 반도체 내의 전자 수송 현상, 전계 clamping에 대한 mechanism, 그리고 계면 상태 밀도 등 정확한 정보가 주어지지 못하고 있다.

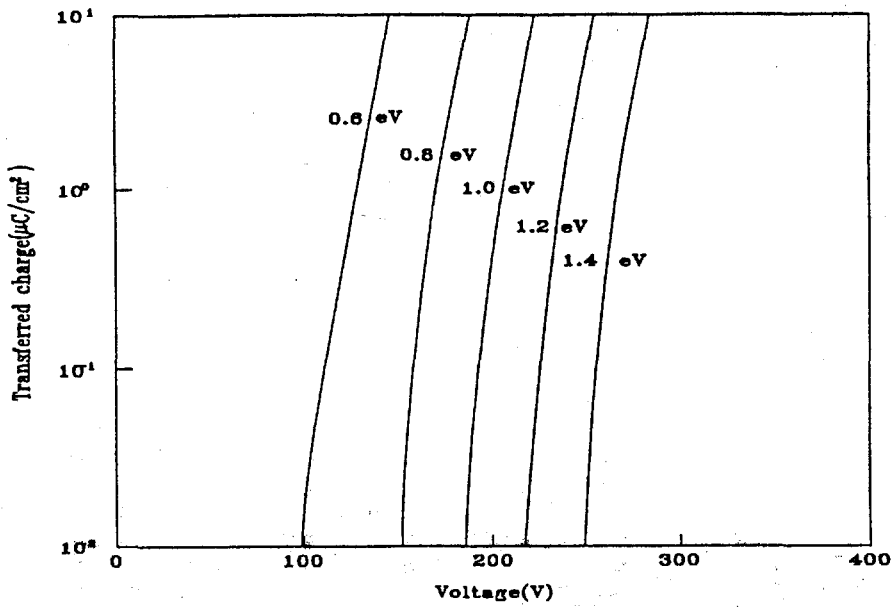


Fig. 11. Calculated transferred charge - applied voltage characteristics.

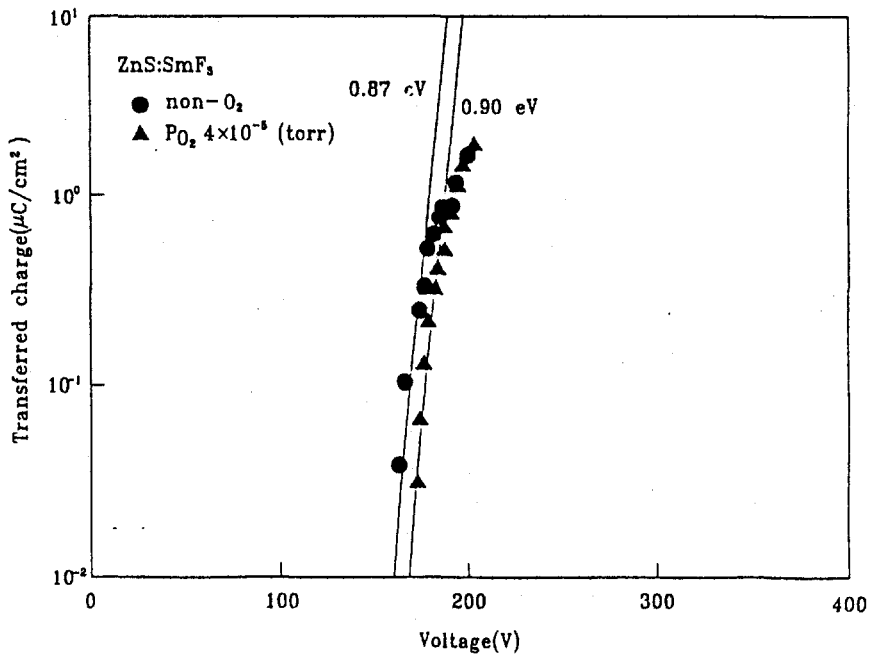


Fig. 12. Comparison of the calculated and the measured transferred charges.

따라서 고전압 영역에서는 비교할 수 없지만 ΔQ_1 가 포화되기 전의 낮은 전압 영역에서 이론치와 비교할 수 있다. Fig. 12. 는 낮은 전압 영역에서 ZnS : SmF₃ 소자의 이동전하량의 측정치와 계산치의 비교를 보여주고 있다. 즉 산소가 첨가되지 않은 두 소자의 계면 준위는 ϕ 가 약 0.87 eV, 산소가 첨가된 소자는 산소를 첨가하지 않은 소자에 비해 약 0.03 eV가 증가한 ϕ 가 약 0.9 eV인 계산된 $V_a - \Delta Q_1$ 의 곡선에 접근한다. 이는 Smith가 언급한 계면 전자 포획 준위 0.6~0.9 eV의 범위 내에 있으며¹⁾, Inoguchi 등이 발표한 0.8 eV 보다는 다소 높은 값이나⁵⁾, 이는 절연체로서 Y₂O₃을 사용하여 얻은 값이다. 최근 Sohn과 Hyun 등의 이론적인 계산에 의하면 절연층의 유전율이 클수록 ϕ 가 감소하며, Si₃N₄의 경우 S-vacancy의 계면에서의 위치에 따라 0.5~1.6 eV 범위에 존재하는 것으로 보고되었다²⁰⁾.

Fig. 13. 은 두소자의 EL 발광스펙트럼 측정결과이다. 산소의 첨가로 인한 변화는 거의 없음을 산소의 첨가로 인한 발광여기기구에는 영향을 주지않음을 시사한다. ZnS : SmF₃ EL소자인 경우 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{9/2}$ 천이의 주피크가 649nm의 파장에 존재하며 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ 천

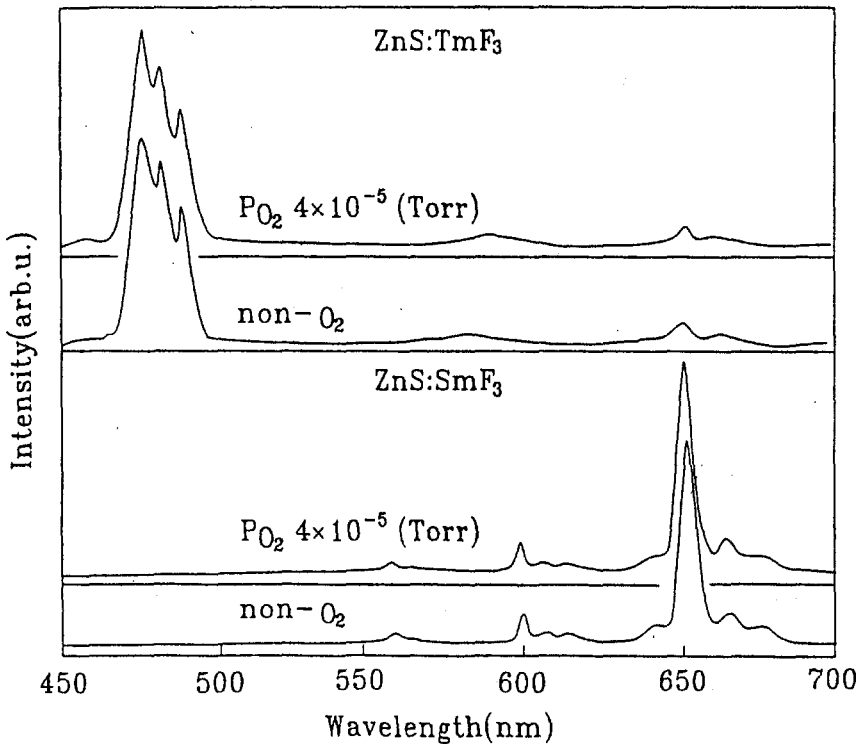


Fig. 13. EL spectrum of ZnS : SmF₃ and ZnS : TmF₃ EL devices.

이와 ${}^1G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ 천이에 의한 미세한 peak가 600nm와 564nm의 파장 근처에 존재하는 적색발광이다. ZnS : TmF₃ EL소자에 대해서는 ${}^1G_4 \rightarrow {}^3H_6$ 의 천이에 의한 470nm에 피크를 갖는 단순한 청색발광이지만 휘도가 현저히 낮다.

V. 결 론

Si₃N₄을 절연층으로 하는 ZnS : SmF₃와 ZnS : TmF₃ 전계발광소자를 제작하는 한편, 발광층 형성시 산소를 기체상태로 주입하여 산소가 첨가된 발광소자를 제작했다. 이로부터 Sawyer-Tower 회로를 사용하여 이동전하량을 측정하고, 계면의 전자포획 포텐셜을 쿨롱포텐셜우물로 가정하여 전계에 의하여 음극계면으로부터 발광층의 전도대로 터널된 전자의 Flux, 공간전하에 의한 전계, 발광층 내에서의 전자 증식, 양극 계면의 재 포획된 전하에 의한 분극전계 등을 고려하여 계산된 이동전하량과 비교하여 계면전자 포획준위를 산정했다.

계면의 S-vacancy는 EL발광에 기여하는 계면전자 포획준위를 형성하며 ZnS의 전도대로부터 약 0.87 eV 밑에 존재한다. ZnS 내의 산소는 s-vacancy와 대치되어 존재할 수 있으며, 이로 인하여 ZnS의 결정성 향상에 기여하여 보다 높은 휘도를 얻을 수 있으나 S-vacancy에 비하여 약 0.03 eV 더 깊은 약 0.9 eV의 계면전자 포획준위를 형성한다. 발광층심으로 첨가된 불순물 SmF₃와 TmF₃는 EL발광에 기여하는 계면준위를 형성하지 못함이 관측되었다.

참 고 문 헌

- [1] D. H. Smith, J. Lumi. 23, 559 (1981)
- [2] D. C. Krupka, J. Appl. Phys. 43, 476 (1972)
- [3] Y. S. Chen, M. V. Depaolis, Jr., and D. Kahng, Proc. IEEE. 58, 184 (1970)
- [4] H. Kobayashi, S. Tanaka, H. Sakura, and Y. Hamakawa J. J. Appl. Phys. 12, 1854 (1973)
- [5] M. Yoshida, Y. Kahihara, T. Yamashita, K. Taniguchi, and T. Inoguchi Japan. J. Appl. 17(Suppl.) 17-1 127 (1918)
- [6] Y. Sano and K. Numomura, Proceeding in Physics edited by S. Shinoya and H. Kobayashi (Springa-Verlag, 1988) vol. 38, 77
- [7] E. Bringuier, J. Appl. Phys. 66, 1314 (1989)
- [8] P, K, Ghosh and V. Shanker, J. Lumin. 20, 139 (1979)

- [9] N. Riehl, J. Lumin. 24/25, 335 (1981)
- [10] W. Hoogenstraaten, Philips Res. Repts. 13, 515 (1958)
- [11] K. Okamoto, T. Yoshimi and S. Miura, Appl. Phys. Lett. 53(8). 678 (1988)
- [12] Y. Ono, H. Kawakami, M. Fuyama, and K. Onisawa Jpn. J. Appl. Phys. 13, 264 (1974)
- [13] R. R. Hearing, Can. J. Phys. 37, 1374 (1959)
- [14] Alt. Proc. SID, 25, 123 (1984)
- [15] 현동걸, 손상호, 박태성, 이동현, 이상윤, 경북대학교 산업기술연구지 18, 207 (1990)
- [16] W. E. Howard, O. Sahmi, and P. M. Alt, J. Appl. Phys., 53(1) 637 (1982)
- [17] D. Theis, H. Oppolzer, G. Ebbinghaus and S. Schild, J. Cryst. Growth 63, 47 (1983)
- [18] 현동걸, 손상호, 주영대, 이동현, 박동수, 이상윤 새물리. 1, 88 (1991)
- [19] F. A. Kroeger and J. A. M. Dirhoff, J. Electrochem. Soc. 97, 144 (1952)
- [20] S. H. Sohn, D. G. Hyun, M. Noma, S. Hosomi, and Y. Hamkawa, Jpn. Appl. Phys. 30(10) 2526 (1991)

〈Summary〉

Interface State Levels in ZnS:SmF₃ and ZnS:TmF₃ Electroluminescence Cells

Dong Geul Hyun

Department of Science Education,
Cheju National University of Education,
Cheju 690-060, Korea

The variation of the characteristics of the applied voltage and transferred charge has been observed, adding oxygen to ZnS : SmF₃ and ZnS : TmF₃ with double insulating layer of Si₃N₄. Assuming the trapping potential in the interface between insulator and phosphor layer as the Coulomb potential well and using the basic equations for the electroluminescence mechanism, the electron trapping levels in the interface formed with S-vacancy and oxygen of iso-electronic impurity are estimated to be about 0.87 and 0.9 eV below the conduction band of ZnS.