

# TPD/Alq<sub>3</sub>를 이용한 유기 발광 소자의 온도에 따른 전압-전류 특성

한원근  
홍익대학교

## Temperature Dependent Current-Voltage Characteristics of Organic Light-Emitting Diodes using TPD/Alq<sub>3</sub>

Wone Keun Han  
Hongik University

**Abstract :** Temperature-dependent current-voltage characteristics of organic light-emitting diodes(OLEDs) were studied in a device structure of ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/Al. The OLEDs were based on the molecular compounds, N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-1,1'-diphenyl-4,4'-diamine(TPD) as a hole transport and tris(8-hydroxyquinoline) aluminum(Alq<sub>3</sub>) as an electron transport and emissive material. The current-voltage characteristics were measured in the temperature range of 10K and 300K. We analyzed an electrical conduction mechanism of the OLEDs using space-charge-limited current(SCLC) and Fowler-Nordheim tunneling.

**Key Words :** OLED, Temperature, Space-charge-limited current(SCLC)

### 1. 서론

유기 발광 소자는 디스플레이 영역의 응용 가능성 때문에 많은 흥미를 유발시키고 있다. 유기 발광 소자는 낮은 구동 전압과 자체 발광, 유연성과 발광 물질의 선택에 따라 다양한 색상을 구현할 수 있다. 1987년에 Tang과 VanSlyke가 유기 발광 소자를 구현한 이래, 높은 효율과 견고한 내구성을 지닌 발광 소자를 얻고자 많은 분야에서 연구가 진행되어 왔다[1]. 유기 발광 소자에서의 효율적인 발광을 관찰한 이후 전기적으로 중요한 요소인 전하 주입, 수송 및 발광을 제어하기 위한 전도 기구에 대한 관심이 날로 증대되고 있다[1,2]. 고분자를 기초로한 유기 발광 소자에서 높은 전기장 영역의 전압-전류 특성은 전극에서 유기물 층의 HOMO/LUMO로 주입되는 정공과 전자의 터널링으로[3], 낮은 전기장 영역에서는 공간 전하의 영향이 두드러지는 것으로 해석해 왔다. 본 논문에서는 유기 발광 소자에서 전기 전도 기구에 대해 이해하고자 10K에서 300K까지의 온도 변화를 주어 온도에 따른 전압-전류 특성을 연구하였다.

### 2. 실험

정공 전달 물질로 잘 알려진 TPD와 발광 물질인 Alq<sub>3</sub>를 사용하여 유기 발광 소자를 제작하였다. 그림 1은 실험에서 사용한 TPD와 Alq<sub>3</sub>의 분자 구조이다. 인듐-주석-산화물(Indium-Tin-Oxide : ITO) 기판은 삼성 코닝사의 ~15Ω/□의 표면 저항과 170nm의 두께를 가진 것이며, 유기물은 ITO 위에 10<sup>-6</sup> torr에서 증착시켰다.

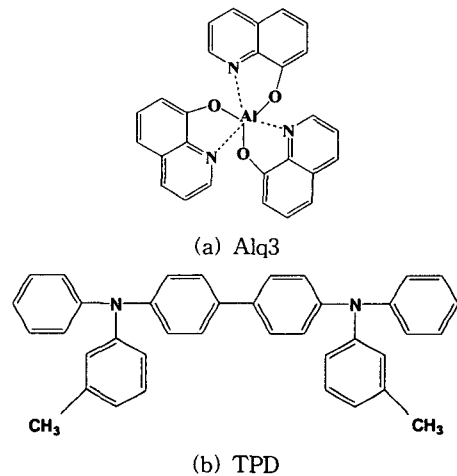


그림 1. (a) Alq<sub>3</sub>, (b) TPD의 분자 구조.

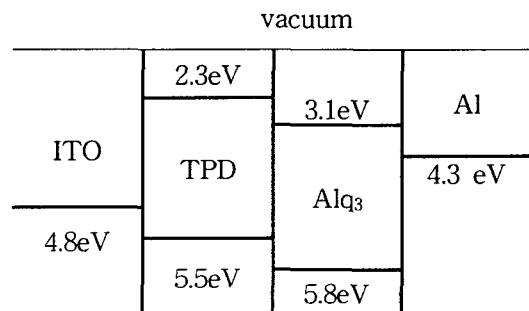


그림 2. ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/Al 소자의 에너지 준위.

그림 2는 ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/Al의 에너지 준위를 나타낸 것이다. 진공 준위에서 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 및 LUMO(Lowest Unoccupied

Molecular Orbital)까지의 에너지가 각각 이온화 준위, 전자 친화도이다. 이 값을 측정함으로써 물질의 에너지 준위를 얻을 수 있다. 그림에서 보면 음극쪽 에너지 장벽이 1.2 eV이며 양극쪽이 0.7 eV임을 알 수 있다. 소자에 흐르는 전류는 정공에 의해 두드러지고 발광은 Alq<sub>3</sub> 층으로부터 생성된다.

### 3. 결과 및 검토

그림 3은 10K~300K의 온도 범위에서 측정된 전압-전류 특성을 보여준다. 약 150K 이하의 영역에서는 전압-전류 특성의 차이가 거의 없는 반면에, 그 이상의 온도에서는 전류의 변화가 10배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 유기 발광 소자에서 전압-전류 특성은 10V 이상의 높은 전기장 영역에서는 지수 함수 관계를 보여준다. 트랩 분포에 의한 전하 이동 모형은 다음과 같은 전압-전류 특성이 예측되며, 본 실험 결과에 적용하였다.

$$I \propto V^{m+1} \quad (m = E_i/k_B T) \quad (1)$$

여기서  $k_B$ 는 볼츠만 상수,  $T$ 는 절대 온도,  $E_i$ 는 밴드 갭 내의 지수 함수적인 트랩 분포의 특성 트랩 에너지이다[6].

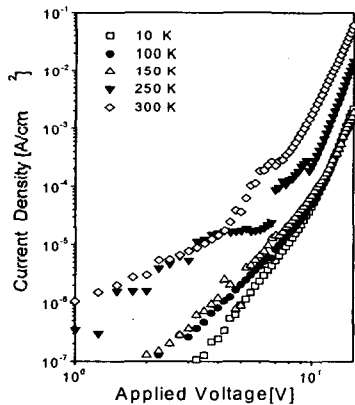


그림 3. ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/Al 소자의 온도에 따른 전압-전류 특성.

전하 트랩에 의한 공간 제한 전류는 옹성 접촉을 가지고 있는 유기 발광 소자에서만 측정되며 전자 주입은 전극에 제한 받지 않는다. 그러므로 높은 온도에서의 지수 함수 의존성은 소자에 흐르는 전류가 주입 전류보다 벌크 제한에 의한 것임을 의미한다. 각각의 온도에서 지수  $m$  값을 구하여 그림 4에 나타내었다.

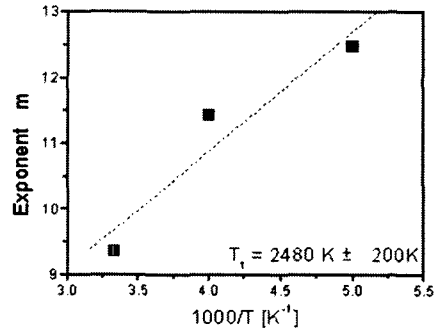


그림 4. TPD/Alq<sub>3</sub>에 대한  $1/T$ 의 함수로 나타낸 지수  $m$ .

온도에 따라 전압-전류 특성의 변화가 적은 150K 이하에서는 앞에서 설명한 모형이 잘 맞지 않으므로, Fowler-Nordheim 터널링 모형을 도입하였다. 이 모형으로부터 전극과 유기물 계면에 형성된 전위 장벽을 구할 수 있다. Fowler-Nordheim 방정식은 전위 장벽이 있을 경우에 터널링에 의한 전도 기구를 설명한다.

$$I \propto F^2 e^{-C/F} \quad (2)$$

여기서  $I$ 는 터널링 전류이고  $F$ 는 전기장 그리고  $C$ 는 다음과 같이 주어지는 상수이다.

$$C = \frac{8\pi(2m)^{1/2}}{3eh} \left( \frac{m^*}{m} \right)^{1/2} \Phi^{3/2} \quad (3)$$

여기서  $\Phi$ 는 에너지 장벽,  $e$ 는 전자의 전하량,  $h$ 는 플랑크 상수 그리고  $m^*$ 는 전하 운반자의 유효 질량이다.

### 4. 결론

발광 물질로 Alq<sub>3</sub>, 정공 물질로 TPD를 이용한 유기 발광 소자의 전압-전류 특성을 온도에 따라 측정하였다. 트랩 분포에 의한 호핑 모델에서 예상되는바와 같이 지수  $m$ 이 고온에서  $T$ 에 반비례함을 알았다. 또한, 저온 영역에서 Fowler-Nordheim 터널링 모형을 이용하여 전극과 유기물 사이의 전위 장벽이 약 0.3eV임을 알았다. 앞으로 유기 발광 소자의 구조와 금속의 전기적 특성에 대하여 더 연구할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., 51(1987), 913.
- [2] C. Adachi, T. Tsutsni and S. Saito, Appl. Phys. Lett., 56(1990), 790.