

Organo-lanthanide를 이용한 OLED의 전기 전도 특성

하미영, 김소연, 문대규
 순천향대학교 신소재공학과

The Electrical Conduction Characteristics of Organo-lanthanide based OLEDs

Mi-young Ha, So-youn Kim, Dae-Gyu Moon

Department of Materials Engineering, Soonchunhyang University

Abstract : The electrical conduction mechanism of ITO / Terbium tris - (1 - phenyl - 3 - methyl - 4 - (tertiarybutyryl) - pyrazol - 5 - one) triphenylphosphine oxide $[(tb-PMP)_3Tb-(Ph_3PO)]$ / Mg/Al devices has been investigated. The calculation of electric field in single layer organic layer between cathode and anode shows the uniform distribution for the electron injection barrier of over 1.4 eV. The measured current-voltage curve shows well matching with the calculated curve based on the tunneling injection of electron under the uniform distribution of electric field.

Key Words : OLED, Organo-lanthanide, $(tb-PMP)_3Tb-(Ph_3PO)$, tunneling injection

1. 서론

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 자발광 소자로서 백라이트가 필요없고, 고속응답이 가능하여 동영상 구현에 적합하며, 시야각이 넓고 박형으로 제작이 가능하여 최근 많은 연구가 진행되고 있다 [1]. OLED의 효율은 디스플레이의 소비전력 및 수명에 중요한 영향을 미치기 때문에 고효율의 OLED 소자를 제작하는 것이 중요하다. 인광 OLED는 이론적인 내부양자효율 (Internal Quantum Efficiency)가 100%이기 때문에 최근에 많은 각광을 받고 있다 [2]. 란탄족을 기반으로 한 organo-lanthanide OLED는 triplet에서 금속으로 에너지 전달을 통하여 발광이 일어나는 소자로서 이론적인 내부양자효율이 100%인광 OLED에 속하며 [3], 금속을 통하여 발광이 일어나기 때문에 발광 스펙트럼이 매우 좁아 색순도가 좋은 장점이 있어 디스플레이에 사용될 가능성이 있지만 아직까지 효율이 낮고 수명이 짧아 디스플레이로 사용될 수 있기 위해선 이의 개선이 필요하다. 전하의 주입 및 이동 특성은 OLED의 구동전압 및 효율, 수명에 중요한 영향을 미치기 때문에 organo-lanthanide를 기반으로 한 OLED 소자의 성능 향상을 위해선, 소자의 전하 주입 및 수송에 대한 이해가 중요하다.

본 연구에서는 organo-lanthanide를 이용하여 단일층의 OLED를 제작하고 이에 대한 전기전도 특성을 연구하였다.

2. 실험

ITO가 코팅되어 있는 유리기판을 이용하여 단층 및 이중구조의 유기물층을 갖는 OLED를 제작하였다. ITO 막의 면저항은 $20 \Omega/\square$ 였으며, ITO 막을 photolithography 공정을 이용하여 양극 패턴을 형성한 후 과산화수소수와 암모니아 혼합물을 이용하여 세척한 후 질소 분위기에서 건조하였다. 회도류계의 인광유기재료인 terbium

tris-(1-phenyl-3-methyl-4-(tertiarybutyryl)-pyrazol-5-one)triphenyl phosphine oxide $[(tb-PMP)_3Tb-(Ph_3PO)]$ 를 진공증착을 이용하여 60 nm 증착하였다. 그림 1에 사용된 유기재료의 화학구조 및 제조된 OLED의 소자구조를 나타내었다. 음극으로는 Mg/Al을 두께 10/100 nm로 진공증착하였다. 음극 패턴을 형성하기 위해 세도우 마스크를 사용하였으며 이에 의해 만들어진 소자의 크기는 $0.2 \times 1.0 \text{ cm}^2$ 이었다. 진공증착시의 압력은 4×10^{-6} mbar이하였다. 유기물의 증착시 증착속도는 0.1 nm/s로 유지시켰으며, 음극층의 형성시 증착속도는 1 nm/s로 유지시켰다. OLED의 전류-전압 특성은 Keithley 2400을 이용하여 측정하였다.

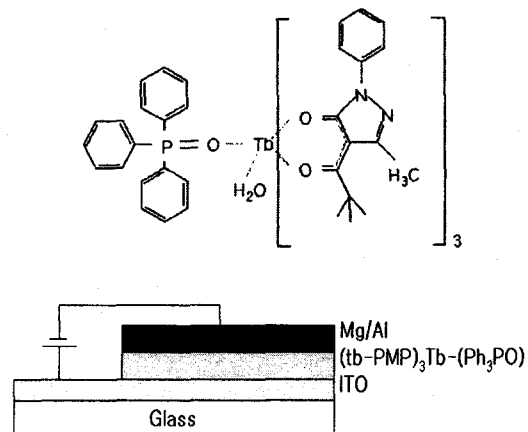


그림 1. $(tb-PMP)_3Tb-(Ph_3PO)$ 의 화학구조 및 OLED 구조

3. 결과 및 검토

$(tb-PMP)_3Tb-(Ph_3PO)$ 는 밴드갭이 크며 HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) 에너지 준위는 6.9 eV, LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 에너지 준위는 2.2

eV이다. 양극으로 ITO를 사용하고 음극으로 Mg를 사용하면 양극과 유기물 사이에서 2.2 eV의 정공주입장벽이 형성되며 전자의 주입장벽은 1.5 eV가 된다. OLED 소자의 전기전도 특성은 유기물과 전극과의 계면에서 생성되는 에너지 장벽에 의해 좌우된다. 에너지 장벽이 작을 경우 유기물 내에서 전기장의 배치는 균일하지 않고 SPLC (space charge limited conduction)에 의해 전기 전도가 좌우되며, 전하의 주입 장벽이 클 경우 전기장은 유기물 내에서 거의 균일하게 배치되며 전하의 주입에 의해 전기 전도가 좌우되는 것으로 알려져 있다. 그림 2는 단일층, 단일 전하의 OLED에 대하여 에너지 장벽의 변화에 대한 양극과 음극사이의 유기물에서 전기장의 배치를 계산하여 나타내었다. 계산에 사용된 유기물의 두께는 60 nm 였으며 전하의 이동도는 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 였다. OLED에 인가되는 전압은 6.14 V로 고정시켰으며 에너지 장벽은 0.3 ~ 1.4 eV로 변화시켰다. 에너지 장벽이 0.3 eV일 경우 유기물 내에서 전기장은 급격히 변화하였으며, 에너지 장벽이 0.7 eV의 경우 유기물 내에서 전기장의 배치는 급격하지 않고, 1.4 eV인 경우 전기장은 유기물 내에서 거의 일정한 것을 알 수 있다. 따라서 전자에 대한 주입 장벽이 1.5 eV인 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 단일층의 OLED는 전자의 주입에 의해 전기전도가 결정되는 것을 알 수 있다.

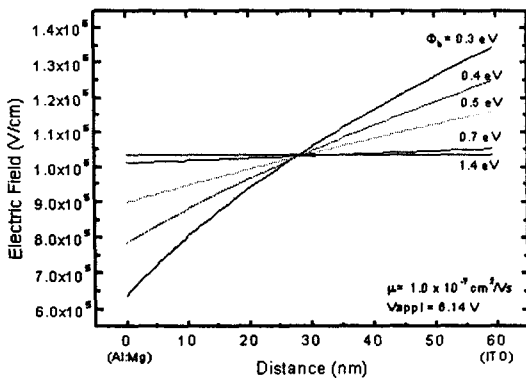


그림 2. 단일층의 OLED에서 전하주입 장벽에 따른 유기물 내에서 전기장의 배치

그림 3은 단일층의 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 OLED 소자의 전류-전압 특성을 측정값과 터널링을 기초로한 계산값과 비교하여 나타낸 것이다. 유기물 층의 두께는 60 nm 였다. 전류-전압 특성의 계산을 위하여 정공에 대한 주입 장벽보다 전자에 대한 주입 장벽이 작고 그림 2에 나타낸 바와 같이 유기물 내에서의 전기장이 일정하다고 가정하였다. 그림 2는 구동전압이 낮은 경우에 대한 계산 결과이지만 이는 높은 전압에 대하여 계산하여도 마찬가지로의 결과를 얻었다. 또한 온도에 따른 전류-전압 특성 의존성이 크지 않은 측정 결과를 얻어 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 단일층의 OLED 소자는

tunneling에 의해 전기적 특성이 결정된다고 가정하였다. 이러한 가정에 의해 계산된 전류-전압 특성은 측정치와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 구동전압이 낮은 경우 계산치와 측정치간의 차이는 제조된 OLED의 전류가 작음으로 인한 것으로 판단된다. 따라서 단일층의 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 OLED의 전기 전도는 tunneling에 의한 전자의 주입에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

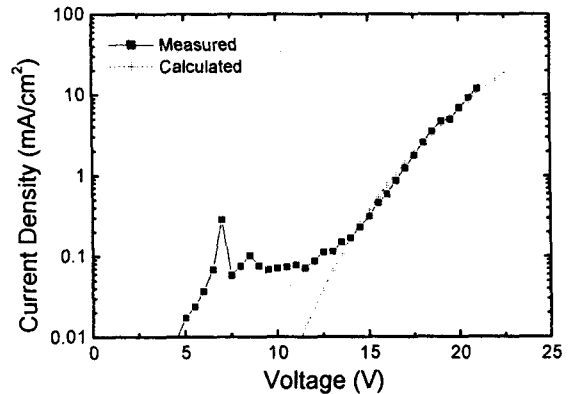


그림 3. ITO/(tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)/Mg/Al 소자의 전류-전압 특성

4. 결론

본 연구에서는 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 단일층 OLED 소자의 전기 전도 특성을 조사하기 위하여 전하의 주입에 대한 장벽에 따른 전기장의 배치를 조사하였으며, 전류-전압 특성을 측정하고 계산값과 비교하였다. 전자에 대한 주입 장벽이 작으면 전기장의 배치가 균일하지 않았으며, 전자의 주입 장벽이 1.4 eV 이상일 경우 전기장의 배치는 균일하여 전기전도 특성은 전자의 주입에 의해 결정되었으며, 전류-전압 특성은 터널링 주입을 기초로 한 계산값과 측정값과 잘 일치하였다. 이로부터 (tb-PMP)₃Tb-(Ph₃PO)를 이용한 단일층 OLED 소자의 전기 전도는 전자의 주입에 의해 결정되며, 음극으로부터 유기물로 전자의 tunneling에 의해 좌우되는 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., Vol. 51, No. 12, p. 913, 1987.
- [2] M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Nature, Vol. 395, p. 151, 1998.
- [3] S. Capecchi, O. Renault, D. G. Moon, M. Halim, M. Etchells, P. J. Dobson, O. V. Salata, and V. Christou, Adv. Mater., Vol. 12, No. 21, p. 1591, 2000.