

**Ir(ppy)<sub>3</sub>를 발광물질로 이용한 EL소자의 특성분석**

김준호\*, 김윤명\*, 하윤경\*\*, 김영관\*\*, 김정수\*  
 \*홍익대학교 전기제어공학과, \*\*홍익대학교 화학공학과

**The characteristics of the electroluminescent devices using Ir(ppy)<sub>3</sub>**

Jun-Ho Kim\*, Yun-Myoung Kim\*, Yun-Kyoung Ha\*\*, Young-Kwan Kim\*\*, Jung-Soo Kim\*  
 \*Dept. of Electrical and Control Eng. Hongik Univ., \*\*Dept. of Chemical Eng. Hongik Univ.

**Abstract** - The internal quantum efficiency of EL devices using fluorescent organic materials is limited within 25% because of the triplet excitons which can hardly emit light. So there has been considerable interest in finding ways to obtain light emission from triplet excitons. One approach has been to add phosphorescent compounds to one of the layers in an EL device. Then triplet excitons can transfer to these phosphorescent molecules and emit light. In this study, multilayer organic light-emitting devices with phosphorescent emitter, tris(2-phenylpyridine)iridium (Ir(ppy)<sub>3</sub>) were prepared. The device exhibited power luminous efficiency of 1.07 lm/W at the luminance of 61.6 cd/m<sup>2</sup> driven at the voltage of 9 V and current density of 1.9mA/cm<sup>2</sup>. At the luminance of 100 cd/m<sup>2</sup>, the luminous efficiency was obtained 1.05 lm/W with the voltage of 9.5 V and the current density of 2.8 mA/cm<sup>2</sup>.

본 연구에서는 본고에서 직접 합성한 Ir(ppy)<sub>3</sub>를 발광물질로 사용하여 다층구조로 소자를 제작하였으며, 정공 수송물질과 전자 수송물질로는 각각 TPD와 Alq<sub>3</sub>를 이용하였다. 또한 전자의 주입을 용이하게 하고 정공이 전자 수송층으로 침입하는 것을 막아 발광이 발광층에서만 효과적으로 일어나게 하기 위하여 BCP를 정공 블록층으로 사용하였다(6). 그림 1은 본 연구에서 사용된 물질들의 분자구조를 나타내었다.

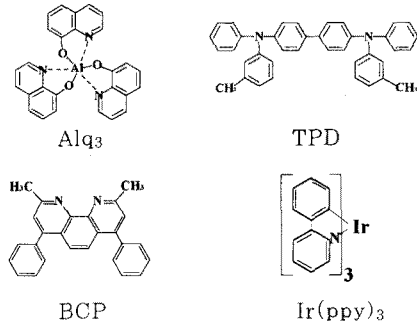


그림 1. 본 연구에서 사용된 시료의 분자구조.

**1. 서 론**

최근까지 정보 표시용 디스플레이 소자는 CRT (Cathode Ray Tube)가 주도하여 왔으나 점차 기존의 CRT 보다 얇고 가벼우며 대면적, 고휘도, 고해상도, 낮은 소비전력의 디스플레이 개발이 절실히 요구되고 있다. 정보 표시용 디스플레이에는 여러 가지 종류가 있지만 전기발광소자는 액정 디스플레이와 같은 비발광형의 디스플레이와는 달리 자체 발광을 하고 응답 속도가 빠르다는 장점 때문에 최근 들어 많은 연구가 진행되고 있다. 저분자 또는 고분자와 같은 유기 재료를 이용한 유기 전기발광소자는 저전압 구동, 박막 형성의 용이성, 발광하는 빛의 균일성 등의 장점으로 인해 활발한 연구가 진행되고 있다(1). 그러나, 대부분의 유기물질들은 일중항 여기자만이 발광에 기여하고, 삼중항의 비발광 소멸로 인하여, 내부 양자효율이 25%를 넘지 못한다는 한계가 있다(2). 최근 들어, 삼중항의 여기자들이 발광에 기여 할 수 있는 인광 물질들을 이용하여 이론적으로 100%의 내부 양자효율을 얻을 수 있는 소자가 연구되어지고 있다(3). 미국 Princeton 대학의 Forrest등은 이러한 인광 물질인 platinum(II)octaethylporphyrin (PtOEP)과 tris(2-phenylpyridine)iridium(Ir(ppy)<sub>3</sub>)등을 발광물질로 사용하여 각각 적색과 녹색 발광소자를 제작하여 그 특성을 분석하였다(4), (5). 본 연구에서는 이러한 인광 물질인 Ir(ppy)<sub>3</sub>를 이용하여 유기 발광소자를 제작하여 그 전기적·광학적 특성을 연구·분석하여 EL소자로서의 가능성을 알아보았다.

**2.1.1 Device 구조**

그림 2는 전기적 특성분석을 위한 EL소자의 구조이다. 발광물질로는 Ir(ppy)<sub>3</sub>를 사용하였으며, 전자와 정공의 주입을 원활하게 하여주기 위하여 Alq<sub>3</sub>와 TPD를 전자 및 정공 수송층으로 사용하였으며, BCP를 정공 블록층으로 사용하였다. 각 물질의 두께는 발광층을 30 nm, 전자 및 정공 수송층을 40 nm, 그리고 정공 블록층을 10 nm로 진공 증착하였다.

하부전극은 ITO(indium-tin-oxide : sheet resistance :30Ω/sq) 기판을 사용하였고 모든 유기물과 cathode metal은 동일한 조건에서 5×10<sup>-6</sup> Torr의 진공도에서 진공 증착을 하였으며 소자의 면적은 25 mm<sup>2</sup> 이다. 모든 측정은 DC전압 조건하에서 상온에서 측정하였다.

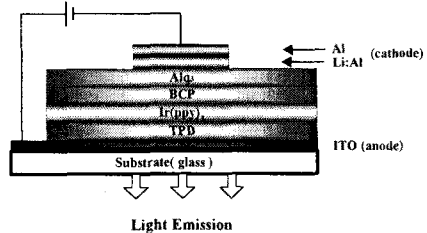


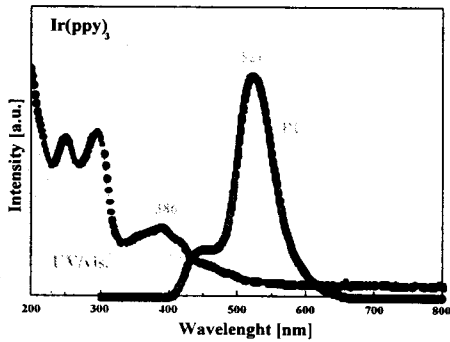
그림 2. 본 연구에서 제작된 EL 소자의 구조.

**2. 본 론**

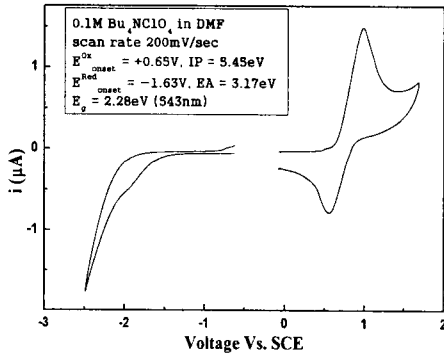
**2.1 성막물질**

**2.2 EL 소자의 전기적·광학적 특성**

그림 3은 발광물질인 Ir(ppy)<sub>3</sub>를 석영 기판에 진공 증착 한 후 UV/vis. 흡광도와 PL spectrum을 측정 한 그래프와 순환 전압 전류법에 의해 구한 HOMO(highest occupied molecular orbit)와 LUMO(lowest unoccupied molecular orbit) 사이의 에너지 갭을 나타낸 그래프이다. 아래 그림에서 Ir(ppy)<sub>3</sub>의 흡수 파장이 386 nm에서



UV/vis. 흡광도



Ir(ppy)<sub>3</sub>의 순환 전압전류법.

그림 3. Ir(ppy)<sub>3</sub>의 UV/vis. 흡광도와 순환 전압전류법

일어나고, PL 발광은 521 nm에서 일어남을 알 수 있었고, FWHM(full width at half maximum)은 62 nm이었다. 또한 순환 전압 전류법에 의해 구한 에너지 밴드 갭은 2.28 eV이었다.

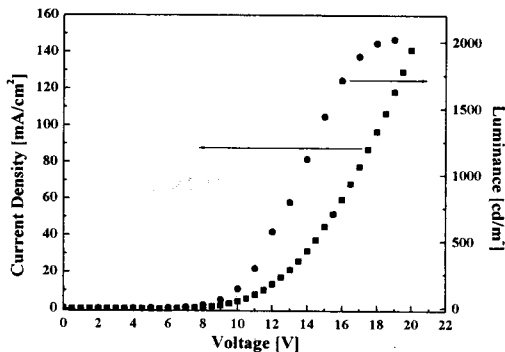


그림 4. 전류밀도-전압-휘도(J-V-L) 특성 곡선.

그림 4는 제작한 소자를 Keithley 238과 MINOLTA

CHROMAMETER를 이용하여 측정한 J-V특성과 L-V특성을 나타낸 그래프이다. 소자의 turn-on voltage는 약 5 V이었고, 최대 휘도는 19 V에서 2020 cd/m<sup>2</sup>이었으며 이때의 전류밀도는 118.3 mA/cm<sup>2</sup>이었다. 그래프에 나타났듯이 낮은 전류밀도에서는 휘도가 급격히 증가하지만 11 V부터는 점차적으로 전류밀도의 증가보다 휘도의 증가가 감소함을 알 수 있다. 19V 이상에서는 점차로 소자가 열화 되어 약 20 V에서부터 유기물 층이 타버려 소자가 파괴되는 현상을 보였다. 실질적으로 소자에 적용할 수 있는 밝기인 100 cd/m<sup>2</sup>에서의 전압은 9.5 V, 전류밀도는 2.8 mA/cm<sup>2</sup>을 나타내었다.

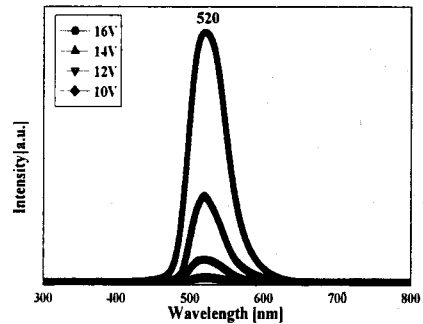


그림 5. EL 스펙트럼

그림 5는 제작된 소자의 EL 스펙트럼을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 소자의 EL peak는 전압의 변화에 상관없이 PL 스펙트럼과 거의 동일한 peak인 520 nm에서 일정하게 나타내었으며, 16 V에서의 FWHM은 57 nm로 PL의 경우보다 조금 좁아졌다. 다층구조의 소자를 제작하여 EL을 관측하면, 저전압에서의 peak와 고전압에서의 peak가 달라지거나 고전압에서 여러 과장에서 peak가 나타나는 경우가 있다. 이러한 현상의 한 원인으로서 전자와 정공의 이동도의 불균형을 들 수가 있는데, 대부분의 유기물 내에서 정공이 전자보다 이동도가 빠르기 때문에 전압이 높아질수록 정공이 발광층을 지나 전자 수송층으로 침투하여 전자 수송층에서 여기자를 생성시켜 전자 수송층에서 발광이 일어나게 된다. 그러나, 본 연구에서는 정공 블록층으로 BCP를 발광층과 전자 수송층 사이에 증착하여 정공이 전자 수송층으로 이동하는 것을 막고자 하였고, 520 nm이외의 영역에서는 peak가 전혀 나타나지 않는 것으로 보아 소자의 발광이 Ir(ppy)<sub>3</sub> 발광층 내에서만 일어났음을 알 수 있었다. 또한 일함수가 낮은 금속인 Li:Al을 음극으로 사용하여 전자의 주입도 원활하게 하여주었다.

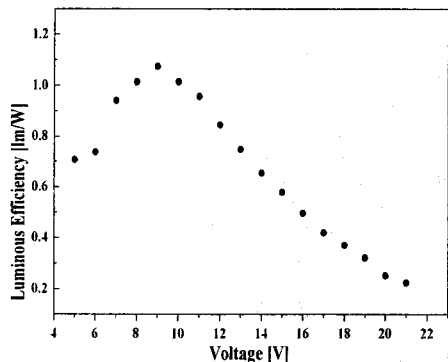


그림 6. EL 소자의 Luminous Efficiency

그림 6은 EL 소자의 luminous efficiency를 나타내었다. 발광 휘도가  $1 \text{ cd/m}^2$  이상인 5 V에서부터 효율을 계산하였으며, 최대 값은 9 V에서  $1.07 \text{ lm/W}$ 이었고, 이 때의 전류밀도는  $1.9 \text{ mA/cm}^2$ 이었으며 휘도 값은  $61.6 \text{ cd/m}^2$ 이었다.  $100 \text{ cd/m}^2$ 의 휘도 값에서는  $1.05 \text{ lm/W}$ 의 효율을 나타내었다. 그림 4에서 나타나듯이 11 V 이상에서는 휘도의 증가가 전류밀도의 증가보다 현저히 뒤떨어져 효율의 급격한 감소 현상이 나타났다. 이는 삼중항 여기자가 바닥 상태로 떨어지는데 걸리는 시간이 일중항에 비하여 느리고, 또한 바닥 상태의 전자들이 삼중항의 들뜬 상태로 여기되는 시간보다도 늦어서 triplet-triplet annihilation이 일어나기 때문으로 추정되어진다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 삼중항 여기자가 발광에 기여하는 인광 물질인  $\text{Ir(ppy)}_3$ 를 발광물질로 사용하여 EL 소자를 제작하여 그 전기적·광학적 특성을 관측·연구하였다. 다층구조로 소자를 제작하였을 때 소자의 EL peak는 PL에서와 마찬가지로 녹색 영역인 520 nm에서 나타났고, 최대 휘도는 19 V,  $118 \text{ mA/cm}^2$ 에서  $2020 \text{ cd/m}^2$ 로 나타났고,  $100 \text{ cd/m}^2$ 에서는 9.5 V,  $2.8 \text{ mA/cm}^2$ 의 전압과 전류밀도를 나타내었다. 최대 luminous efficiency는 9 V,  $1.9 \text{ mA/cm}^2$ 에서  $1.07 \text{ lm/W}$ 를 나타내었으며,  $100 \text{ cd/m}^2$ 에서는  $1.05 \text{ lm/W}$ 를 나타내었다. BCP를 정공 블록층으로 사용하여 발광이 전자 수송층으로 이동하는 것을 방지하였으며, 전자의 주입을 원활히 하기 위해 일함수가 낮은 Li:Al을 음극으로 사용하였다. 11 V 이상의 전압에서는 휘도에 비하여 전류밀도의 증가가 현저히 증가하여 발광효율의 급격한 감소 현상이 일어남을 관측하였다. 앞으로 full color display를 구현하기 위해서는 각각 적색이  $3 \text{ lm/W}$ , 녹색이  $6 \text{ lm/W}$ , 청색이  $1 \text{ lm/W}$ 의 luminous efficiency가 필요하다. 본 연구에서 제작한 EL 소자가 아직은 color display에서 요구되는  $6 \text{ lm/W}$ 에는 미치지 못하지만,  $\text{Ir(ppy)}_3$ 의 흡수 파장대 보다 더 낮은 파장대에서 흡광을 하는 물질을 host로 사용하여 doping을 하여 소자를 제작하면 더욱 효율을 높일 수 있을 것으로 기대되어진다[7]. 또한 LiF와 같이 일함수가 낮은 물질을 전자 주입층으로 사용하는 것도 소자의 특성을 개선하는데 좋은 방법이 될 것이다.

본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초 연구지원사업(2000년도)으로 수행하였음.

### [참 고 문 헌]

- [1] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, Appl. phys. Lett. 51 (12), 1987
- [2] W. Helfrich and W. G. Schneider, J. Chem. Phys. 44, 2902, 1966
- [3] M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. you, A. Shoustikov, S.Sihley, M. F. Thompson, and S. R. Forrest, Nature, 395, 151 (1998)
- [4] Raymond C. Kwong, Scott Sibley, Timur Dubovoy, Marc Baldo, Stephen R. Forrest, and Mark E. Thompson, Chem. Mater, 11, 3709-3713, 1999
- [5] M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. Vol 75, No. 1, 1999
- [6] D. F. O'Brien, M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 74, 442, 1999
- [7] M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 75, 4, 1999