

# 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광 소자

김성진\*

조지아공과대학교 전자전기컴퓨터공학과, USA 30332

(2009년 6월 9일 받음, 2009년 6월 21일 수정, 2009년 6월 23일 확정)

순방향 전압에서 안정적인 전류 흐름을 가지고 낮은 turn-on 전압으로 구동하는 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광 다이오드를 제작하였다. Poly(N-vinylcabazole)와 tris(2-phenylpyridine)iridium 재료를 포함하는 유기 발광층은 10  $\mu\text{m/s}$  와 20  $\mu\text{m/s}$ 의 저속도 dip-coating으로 만들었다. 제안한 방법으로 형성된 유기 발광 다이오드는 100  $\text{cd/m}^2$ 의 기준 휘도에서 각각 5.8 V와 6.7 V로 구동이 되었지만, 발광층을 스핀코팅으로 제작된 소자는 다소 높은 전압인 9.1 V를 기록하였다. 본 연구는 대면적, 용액 공정 기반의 고효율 특성을 요구하는 유기 발광 소자에서 발광층의 새로운 박막 형성기술로 이용될 수 있다.

주제어 : 유기 발광 소자, 저속도 dip-coating

## I. 서 론

유기 발광 다이오드는 차세대 모바일 디스플레이 및 TV에 응용 가능한 전자소자로 각광을 받고 있다. 유기 발광 다이오드가 가지는 넓은 시야각, 자연색에 가까운 색재현성, 빠른 응답속도 등의 장점들이 이러한 가능성을 뒷받침하고 있다. 또한 소형 화면에서는 액정 디스플레이 이상의 화질과 단순한 제조공정으로 인하여 유리한 가격 경쟁력을 보유하고 있다 [1-3]. 특히 발광층의 전하 수송 호스트 물질에 도핑된 인광 염료들은 형광 유기 발광 다이오드에 비해 높은 발광 특성 및 긴 수명을 유도하여 평판 디스플레이 발광층의 핵심 물질로 많은 연구가 진행되어 왔다 [4-8]. 일반적으로 인광 유기 발광 다이오드의 성능을 극대화하기 위해서는 호스트 물질에서 인광 도펀트를 향하여 전하가 이동하는 동안 전하 트랩핑(trapping)을 방지하고 엑시톤의 소멸을 막을 수 적합한 호스트 재료가 필요하다. Poly(N-vinylcabazole) (PVK)는 훌륭한 박막 성장 특성과 높은 유리 전이 온도, 넓은 밴드갭, 비교적 빠른 정공 이동도로 인해 인광 유기발광 다이오드의 고분자 호스트 물질로 널리 사용되어 왔다 [9-11]. 하지만 이러한 고분자 물질들은 전자소자의 박막층으로 사용될 때 다수의 미세 구멍, 박막 두께의 비균일성 등 본질적인 문제점을 내재하고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 저속도 dip-coating을 유기 발광층을 형성해서 순방향 전압에서

안정적인 전류 흐름을 가지고 낮은 turn-on 전압으로 구동하는 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광 다이오드를 제작하고 전기적인 평가와 더불어 전기발광 스펙트럼 분석을 통해 기존의 스핀 코팅 방법으로 제작된 녹색 발광 다이오드와 비교 분석하였다.

## II. 실험방법

Fig. 1에서는 본 실험에 사용된 3,4-polyethylenedioxythiophenepolystyrenesulfonate (PEDOT), PVK, tris(2-phenylpyridine)iridium ( $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ ), 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1, 10-phenanthroline (BCP)의 분자구조와 각 유기 물질들의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 및 LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) 에너지 준위를 보여주고 있다. 전기화학적인 분석을 통해 이러한 에너지 준위를 미리 계산함으로써 효과적인 전자 및 정공의 주입과 전달을 통해 높은 소자 성능을 예측할 수 있다. 4000 rpm의 속도로 스핀 코팅한 PEDOT을 isopropyl alcohol 을 이용해 세정한 ITO 기판에 40 nm 두께로 제작하였다. 발광층으로 이용될 PVK 와  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 는 9 : 1의 부피비로 혼합한 뒤 1 wt. %의 농도로 클로로벤젠 (chlorobenzene) 용액에 용해하였다. 발광층의 형성은 10  $\mu\text{m/s}$  와 20  $\mu\text{m/s}$ 의 저속도를 가지는 dip-coating을 이용하여 20~30 nm 두께로

\* [전자우편] sjkim@gatech.edu

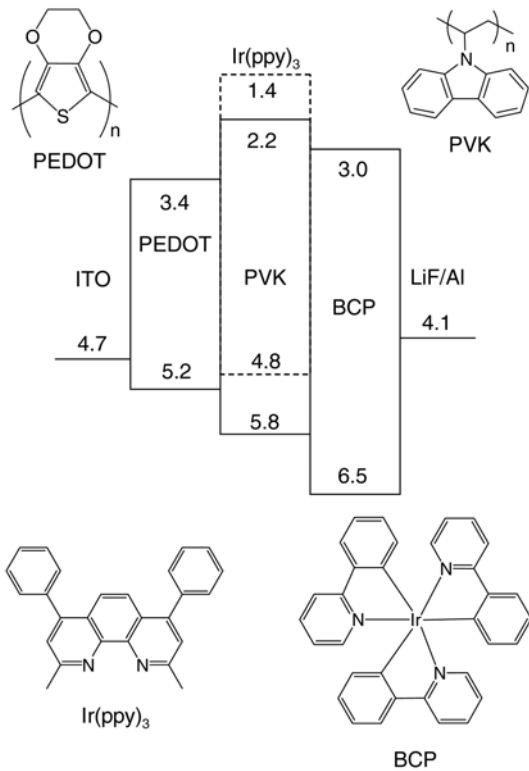


Figure 1. Molecular structure of PEDOT, PVK, Ir(ppy)<sub>3</sub>, and BCP, and the energy diagram of polymer phosphorescent light-emitting devices doped with iridium complex.

형성하였고 기존의 방법과 개선된 점을 비교, 분석하기 위해 1000 rpm의 속도로 유기 발광층을 스핀코팅을 해서 대조군으로 사용하였다. 전자 수송층은 40 nm의 BCP를  $1 \times 10^{-7}$  torr 이하의 고진공 열 증착 장비에서 0.3 Å/s의 증착 rate로 성막 시켰다. 음극 전극은 LiF (2 nm) / Al (200 nm)을 같은 열 증착 장치로 제작하고 소자의 평가를 위해 전압/전류 전원 (Keithley 2400 *I-V* source meter)과 스펙트럼 분석기 (Ocean optics USB 4000)를 이용하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2에서는 상기의 실험방법을 토대로 제작된 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광소자의 전압에 따른 전류 밀도 특성을 보여주고 있다. 발광층을 스핀코팅 방법에 의해 제작된 소자는 전자와 정공이 만나서 엑시톤을 형성한 뒤 전기 발광 현상을 나타나는 시점에서 전류 밀도의 큰 오

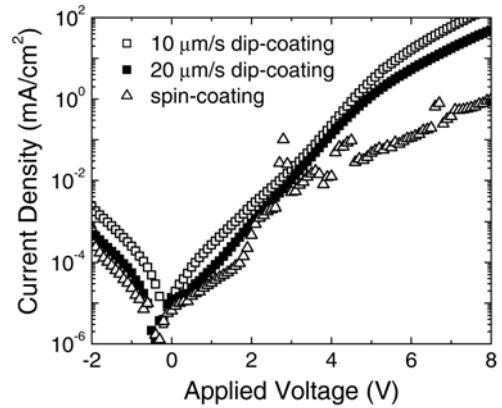


Figure 2. I-V characteristics of OLED with by 10, 20 μm/s dip-coating and spin-coating at 1000 rpm.

르내림을 보여주고 있다. 반면에 저속도 dip-coating 방법으로 제작된 소자의 전류 밀도는 전압이 증가함에 따라 지나친 요동 없이 서서히 증가함을 나타내었다. 일반적으로 기존의 스핀코팅 방법으로 발광층을 제작할 때 박막의 미세 구멍, 부서짐, 국부적인 뭉침, 두께의 비 균일성 등의 잠재된 문제들로 인하여 turn-on 전압 부근에서 전하흐름의 일시적인 붕괴현상을 초래할 수 있다. 이러한 갑작스런 전하흐름의 붕괴현상들로 인해 순방향 전압시 유기발광 소자에서의 불규칙한 전류의 거동의 기구로 작용할 수 있다. 그러나 제안된 방법으로 발광층을 제작하면 이러한 단점들을 개선하여 [12,13] turn-on 전압에서 안정적인 전류 밀도를 가지는 것을 확인 하였다. 이러한 안정적인 전류 흐름을 보이게 된 원인으로는 저속도 dip-coating 방법으로 고분자 박막 형성시 packing 및 morphology가 기존의 스핀 코팅 방법을 통해 제작한 것보다 개선됨을 추측할 수 있다. 유기 발광 고분자 박막에 열처리 효과를 통해 morphology가 개선되고 소자의 성능 향상의 상관관계는 이미 보고되었다 [14]. 하지만 박막 형성시 packing density를 위해 dip-coating 속도를 1 μm/s 이하에서 제작하니 박막의 morphology가 나빠지고 소자의 성능은 감소하였다.

Fig. 3(a)에서는 저속도 dip-coating으로 발광층을 제작한 유기 발광 다이오드는 저 전압으로 소자가 효율적으로 구동함을 알 수 있다. 따라서 모바일 디스플레이에서 요구하는 저 전력 발광 소자로서의 응용가능성이 있음을 알 수 있다. 100 cd/m<sup>2</sup>의 기준 휘도에서 유기 발광층을 10 μm/s 와 20 μm/s의 저속도 dip-coating으로 만든 소자는 각각

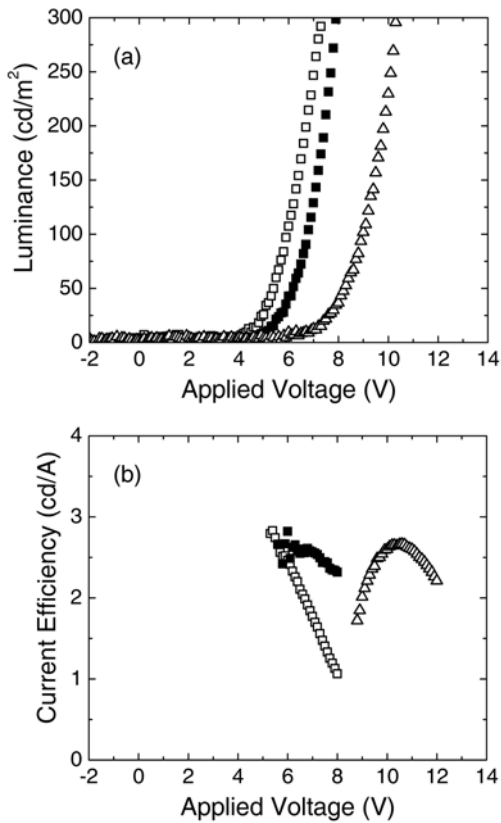


Figure 3. Responses of OLEDs having structures ITO/PEDOT/PVK : Ir(ppy)<sub>3</sub>/BCP/LiF/Al by by dip- (10 (□), 20 (■) μm/s) and spin-coating(Δ). (a) Current density vs voltage. (b) Current efficiency vs voltage.

5.8 V와 6.7 V의 구동 전압을 표시하였지만 스펀코팅으로 제작된 소자는 다소 높은 전압인 9.1 V를 기록하였다. 그리고 전압에 따른 전류 효율을 나타내는 Fig. 3(b)에서는 저속도 dip-coating으로 만든 소자에서 최대 전류 효율 값은 스펀코팅 방법을 이용한 소자보다 낮은 전압 값에서 발생함을 알 수 있었다. 기존의 이리듐을 도핑한 인광 고분자 발광 다이오드에 비해 본 연구에서 제작한 소자의 전류 효율 특성이 월등히 뛰어나지 않았다. 이것은 향후 연구에서 각 유기물 박막 층의 두께 최적화와 유기 발광층의 triplet energy에 부합하는 crosslinkable 홀 수송 박막을 이용하여 많은 전하들을 발광층에 주입하면 크게 개선 될 것으로 판단한다.

Fig. 4 에서는 유기 발광층을 스펀코팅 방법과 저속도 dip-coating으로 제작한 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광 소자의 스펙트럼을 보여주고 있다. 최대 스펙트럼

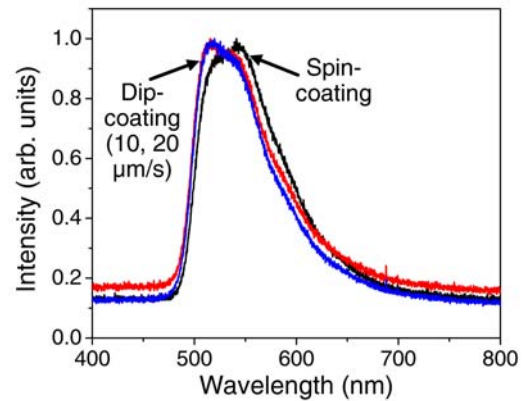


Figure 4. Electroluminescence spectrum of Ir(ppy)<sub>3</sub> doped PVK device by dip- and spin-coating.

peak 은 저속도 dip-coating 소자는 516 nm 을 나타내고 스펀코팅 소자는 540 nm 의 peak 값을 보여준다. 발광층의 제작을 dip-coating으로 수행했지만 기존의 방법으로 제작된 소자와 동일한 녹색의 전기발광 특성을 나타내었다. 이것은 전극을 통해 주입된 전자와 정공이 각각의 전하 수송층을 지나 PVK : Ir(ppy)<sub>3</sub>의 발광층에서 적절한 에너지 전이를 수행했음을 증명한다. 따라서 제안한 방법으로 대면적, 용액 공정 기반의 고효율 특성을 가지는 유기 발광 소자의 새로운 기술로 사용될 수 있다고 판단한다.

#### IV. 결 론

대면적, 고효율 유기 발광 다이오드에 응용 가능한 이리듐 합성물 기반의 인광 고분자 발광 다이오드를 제작 하고 전기적/광학적인 평가를 하였다. 저속도 dip-coating을 이용하여 유기 발광층을 형성하였고 기존의 스펀코팅으로 제작한 소자에 비교하여 순방향 전압시 안정적인 전류 흐름을 나타내었다. 또한 낮은 전압에서 최대 전류 효율 값을 가지는 것을 확인하였고 turn-on 전압 및 전류 밀도가 개선됨을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-

2007-357-D00106).

### 참고문헌

- [1] B. C. Krummacher, V.-E. Choong, M. K. Mathai, S. A. Choulis, F. So, F. Jermann, T. Fiedler, and M. Zachau, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 113506 (2006).
- [2] S. R. Forrest, *Nature* **428**, 911 (2004).
- [3] C. Adachi, M. A. Baldo, S. R. Forrest, and M. E. Thompson, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 904 (2000).
- [4] M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, *Pure Appl. Chem.* **71**, 2095 (1999).
- [5] M. Ikai, S. Tokito, Y. Sakamoto, T. Suzuki, and Y. Taga, *Appl. Phys. Lett.* **79**, 156 (2001).
- [6] X. Zhou, D. S. Qin, M. Pfeiffer, J. Blochwitz, A. Werner, J. Crechsel, B. Maennig, K. Leo, M. Bold, P. Erk, and H. Hartmann, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 4070 (2002).
- [7] J. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 153503 (2006).
- [8] C. Adachi, M. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.* **90**, 5048 (2001).
- [9] J. H. Park, D. H. Yu, O. O. Park, and J. K. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 043514 (2007).
- [10] S.-J. Lee, J. S. Park, M. Song, K.-J. Yoon, Y. I. Kim, S.-H. Jin, and H.-J. Seo, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 193312 (2008).
- [11] Y. Byun, Y.-Y. Lyu, R. R. Das, O. Kwon, T.-W. Lee, and Y. J. Park, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 211106 (2007).
- [12] K. J. Ruschak, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **17**, 65 (1985).
- [13] A. A. Darhuber, S. M. Troian, J. M. Davis, S. M. Miller, and S. Wagner, *J. Appl. Phys. Lett.* **88**, 5119 (2000).
- [14] T.-W. Lee and O. O. Park, *Adv. Mater.* **12**, 801 (2000).

## **Polymer Phosphorescent Light-Emitting Devices Doped with Iridium Complex**

Sung Jin Kim\*

*Center for Organic Photonics and Electronics (COPE) and School of Electrical and Computer Engineering,  
Georgia Institute of Technology, Georgia 30332*

(Received June 9, 2009, Revised June 21, 2009, Accepted June 23, 2009)

We herein report on polymer phosphorescent light-emitting devices doped with iridium complex. The emitting layer of poly(N-vinylcabazole) and tris(2-phenylpyridine)iridium was fabricated by low speed dip-coating of 10, 20  $\mu\text{m/s}$ . The devices showed stable current increasing leakage current at turn-on voltage. Compared to conventional spin-coating based organic light-emitting devices, the driving voltage by dip-coating observed lower values of 5.8 and 6.7 V at the luminance of 100  $\text{Cd/cm}^2$ .

Keywords : Organic light-emitting diodes, Low speed dip-coating

\* [E-mail] sjkim@gatech.edu