

# Rubrene 도핑층을 이용한 백색 OLEDs의 전기 및 광학적 특성

## Electrical and Optical Characteristics of White OLEDs with a Rubrene doped Layer

문대규<sup>1,a</sup>, 이찬재<sup>2</sup>, 한정인<sup>2</sup>  
(Dae-Gyu Moon<sup>1,a</sup>, Chan-Jae Lee<sup>2</sup>, and Jeong-In Han<sup>2</sup>)

### Abstract

We have fabricated organic white light emitting diodes by mixing two colors from very thin rubrene doped and non-doped DPVBi layers. The device structure was ITO/2-TNATA(15 nm)/α-NPD(35 nm)/DPVBi:rubrene(5 nm)/DPVBi(30 nm)/Alq<sub>3</sub>(5 nm)/BCP(5 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(150 nm). The yellow-emitting rubrene of 0.7 wt % was doped into the blue-emitting DPVBi host for the white light. CIE coordinate of the device was (0.31, 0.33) at 8 V. The color coordinates were stable at wide ranges of driving voltages. The luminance was over 1,000 cd/m<sup>2</sup> at 8 V and increases to 14,500 cd/m<sup>2</sup> at 12 V. The maximum current efficiency of the device was 8.2 cd/A at 220 cd/m<sup>2</sup>.

**Key Words** : OLED, White light emission, Very thin emission layer, Two colors, Rubrene

### 1. 서 론

OLED (Organic Light Emitting Diode)는 자발광, 고속응답, 광시야각 특성으로 인하여 디스플레이용 소자로서 각광받고 있다[1,2]. 특히 백색 OLED는 컬러필터와 같이 사용하면 고해상도의 대면적 디스플레이를 구현할 수 있고, 조명, 백라이트 등으로의 응용 범위가 넓어 최근 많은 연구가 진행되고 있다[3,4]. 백색 OLED를 구현하는 방법으로는 단일 발광층에 형광 혹은 인광 도판트를 첨가하여 단일층에서 백색을 얻는 방법[3], 다층의 발광층으로부터 여러 색의 조합에 의해 백색을 얻는 방법[5], 청색 OLED 및 형광체를 이용하여 청색 및 형광체의 의해 변환된 색을 조합하여 백색을 얻는 방법[6], microcavity를 이용하는 방법[7] 등 다양한 방법이 제안되고 있다.

백색 OLED를 넓은 범위에서 응용하기 위해선

휘도가 높아야하며 전압이나 전류 변화에 따른 색의 변화가 적고 효율이 높아야한다. 다층의 발광층으로부터 백색을 얻는 방법은 전기장의 변화에 따라 전자와 정공의 재결합 영역이 변하기 때문에 전류나 전압의 변화에 따른 색좌표 변화가 큰 단점이 있다[8,9]. 청색 OLED와 형광체를 이용하는 방법은 청색의 빛이 형광체에서 흡수, 재방출되어야 하기 때문에 효율 향상에 한계가 있으며, microcavity를 이용하는 방식은 제조가 복잡한 단점이 있다. 단일 발광층으로부터 백색을 얻는 방법은 전류 변화에 따른 색좌표 변화가 적은 반면 최대 휘도가 낮고 효율이 낮았으나, 최근 단일층에 여러 종류의 도판트를 도핑하거나, 하나의 backbone에 여러 종류의 발광 물질을 결합함에 의해 단일 발광층으로부터 높은 휘도 및 고효율을 갖는 백색 OLED가 개발되고 있다[10,11]. 하지만 이러한 방식은 도판트의 양 조절이 어렵고 재현성이 작아 문제가 되고 있다.

본 논문에서는 rubrene으로 도핑한 DPVBi 발광층 및 도핑하지 않은 DPVBi 발광층을 이용하여 제작이 단순하며 색좌표 안정성이 우수한 백색 OLED를 제작하고, 소자의 구동전압에 따른 EL 스펙트럼, 소자의 전류-전압-휘도 특성, 전류에 따른 색좌표 특성을 살펴보았다.

1. 순천향대학교 신소재공학과  
(충남 아산시 신창면 읍내리 646)  
2. 전자부품연구원 디스플레이센터  
a. Corresponding Author : dgmoon@sch.ac.kr  
접수일자 : 2006. 11. 7  
1차 심사 : 2006. 12. 1  
심사완료 : 2006. 12. 20

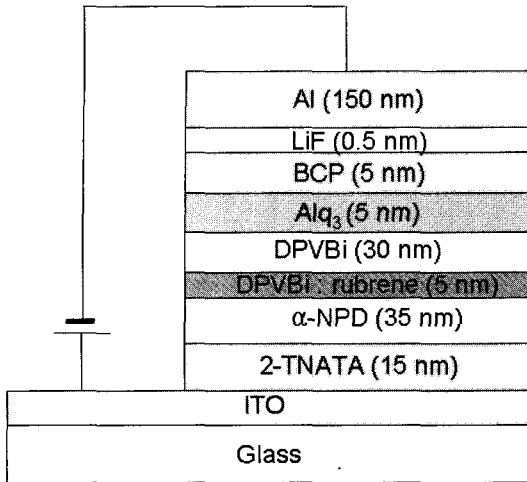


그림 1. Rubrene 도핑 및 도핑하지 않은 DPVBi 층에 의한 백색 OLED 소자구조.

Fig. 1. Device structure of white OLED with rubrene doped and non-doped DPVBi layers.

## 2. 실험

백색발광 OLED의 제작을 위한 기관으로 면저항 20 Ω/□의 ITO가 코팅되어 있는 유리기판을 이용하였다. Photolithography 공정을 이용하여 ITO 양극 패턴을 형성한 후 아세톤 및 IPA로 세정하였다. 세정된 기관은 질소 분위기에서 건조시킨 후 진공증착기에 장착하였다. 진공증착기의 base pressure가  $1.5 \times 10^{-6}$  torr에 도달할 때 까지 기다린 후 유기물 및 음극 물질을 열증착 방식에 의해 증착하였다. 정공주입층으로 두께 15 nm의 4,4',4"-tris[2-naphthyl(phenyl)amino]triphenylamine (2-TNATA)를 증착하였으며, 정공수송층으로 4,4'-bis(N-(1-naphthyl)-N-phenyl-amino)biphenyl (α-NPD)를 35 nm로 증착하였다. 백색 발광을 얻기 위해 청색 호스트 및 황색 도판트에서 발광이 일어나도록 하였다. 청색 호스트로는 4,4'-bis(2,2-diphenylvinyl)-1,1-biphenyl (DPVBi)를 35 nm 증착하였으며, 이 때 황색 도판트인 rubrene 0.7%를 동시에 증착하였다. rubrene은 α-NPD와 DPVBi의 계면으로부터 5 nm까지 도핑하였다. 전자수송층 및 전자주입층으로 두께 5 nm의 tris-(8-hydroxy-quinoline) aluminum (Alq<sub>3</sub>) 및 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (BCP)를 각각 증착하였다. 음극으로는 0.5 nm의 LiF 및 150 nm의

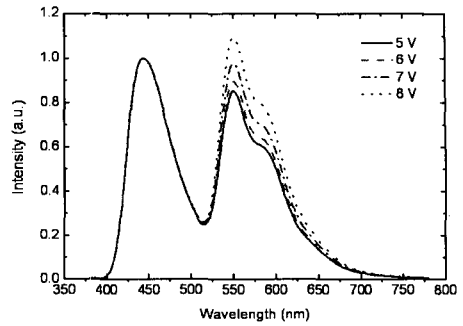


그림 2. 구동전압에 따른 백색 OLED의 EL 스펙트럼 변화.

Fig. 2. EL spectra of the white OLED at different driving voltages.

Al을 증착하였다. 소자의 단면구조를 그림 1에 나타내었다. 제작된 소자는 공기에 노출시키지 않고 질소 분위기의 글러브 박스에서 밀봉하여, 소자 측정 시 공기 중의 수분과 산소의 영향을 최소화하였다. 소자의 전류-전압 특성은 Keithley 2400 source/meter를 이용하였으며, 휘도 특성은 보정된 포토다이오드 및 CS1000 spectroradiometer를 이용하여 측정하였다. 소자의 EL (electroluminescence) 스펙트럼, 색좌표 및 색온도 또한 CS1000 spectroradiometer를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 OLED의 구동전압에 따른 EL 스펙트럼 변화를 나타낸 것이다. 소자의 구조는 ITO/2-TNATA/α-NPD/DPVBi:rubrene/DPVBi/Alq<sub>3</sub>/BCP/LiF/Al 이었다. 청색 발광층으로 DPVBi를 사용하였으며, 황색을 얻기 위해 rubrene을 도판트로 사용하였다. Rubrene은 α-NPD와 DPVBi 층의 계면으로부터 5 nm 까지만 도핑 하였으며 도핑농도는 0.7%였다. 소자는 444 nm와 550 nm에서 강한 피크를 보이고 있으며 이로 인해 백색을 발광하였다. 444 nm에서의 피크는 DPVBi로부터의 발광에 의한 것이며, 550 nm에서의 피크는 rubrene에서의 발광으로 인한 것이다[12]. Rubrene의 도핑농도가 1% 이하로 낮기 때문에 호스트로부터의 발광 및 도판트로부터의 발광이 모두 나타났다[13]. Rubrene에서의 발광으로 인한 550 nm에서의 발광피크는 구동전압이 증가함에 따라 조금씩 증가하였다. 이는 구동전압이 증가함에 따라 재결합되는 전자와

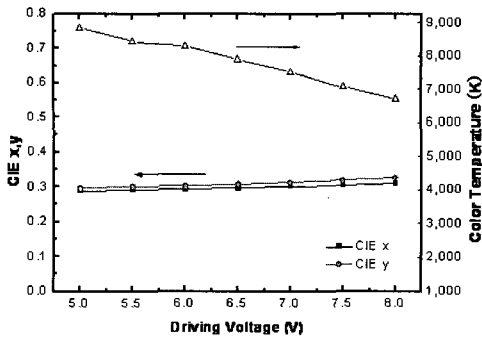


그림 3. 구동전압에 따른 백색 OLED의 CIE 색좌표 및 색온도 변화.

Fig. 3. CIE coordinate and color temperature variations of the white OLED as a function of driving voltage.

정공의 수가 증가함으로 인해 호스트에서 도판트의 에너지 전달이 상대적으로 증가하거나 도판트에서 전자와 정공의 재결합 비율이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

그림 3은 OLED 소자의 구동전압에 따른 CIE 색좌표 및 색온도의 변화를 나타낸 것이다. 5 V일 때 색좌표는 (0.289, 0.296), 6 V일 때 (0.292, 0.302), 7 V일 때 (0.300, 0.312), 8 V일 때 (0.310, 0.325)를 나타내어 모두 백색을 나타내었으며 구동전압이 증가함에 따라 색좌표의 x와 y값이 약간씩 증가하고 있다. 하지만 구동전압에 따른 색좌표의 변화가 작아 모든 구동전압에서 백색을 나타내었다. 또한 그림에서 5 V일 때의 색온도는 8,875 K였으며 구동전압이 증가함에 따라 감소하여 8 V에서 6,709 K를 나타내었다. 구동전압이 증가함에 따른 색좌표 값의 증가 및 색온도의 감소는 그림 2의 EL 스펙트럼에 나타난 것처럼 구동전압이 증가함에 따라 rubrene으로부터의 발광이 상대적으로 증가하여 황색 빛의 상대강도가 증가하기 때문이다.

그림 4은 백색 OLED 소자의 구동전압에 따른 전류밀도 및 휘도의 변화를 나타낸 것이다. 소자는 4 V에서 0.4 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 나타내어 turn on 되기 시작하였으며 이때의 전류 밀도는 0.007 mA/cm<sup>2</sup> 이었다. 구동전압이 증가함에 따라 휘도가 증가하여 6 V에서 100 cd/m<sup>2</sup> 및 8 V에서 1,290 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 나타내어 광원으로서의 응용 가능성을 보였으며, 11.5 V에서 11,380 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 나타내어 10,000 cd/m<sup>2</sup> 이상의 높은 휘도를 얻을 수 있었으며 이 때의 전류 밀도는 171 mA/cm<sup>2</sup>이

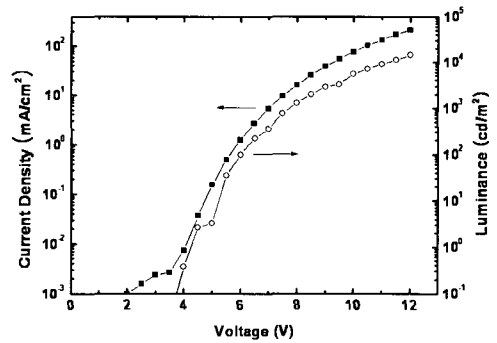


그림 4. 백색 OLED의 구동전압에 따른 전류밀도 및 휘도 변화.

Fig. 4. Current density and luminance variations of the white OLED as a function of driving voltage.

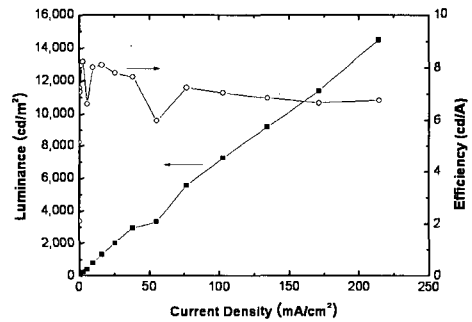


그림 5. 백색 OLED의 전류밀도에 따른 휘도 및 효율변화.

Fig. 5. Luminance and efficiency variations of the white OLED as a function of current density.

었다. 또한 소자는 12 V에서 14,500 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 보여, 디스플레이 및 백라이트, 조명 등 다양한 응용 가능성을 보였다.

그림 5는 백색 OLED 소자의 전류밀도에 따른 휘도의 변화 및 효율 변화를 나타낸 것이다. 소자는 전류밀도가 2.6 mA/cm<sup>2</sup>일 때 8.2 cd/A의 효율을 나타내었으며 이 때의 휘도는 220 cd/m<sup>2</sup>이었다. 전류밀도가 증가함에 따라 효율은 약간 감소하여 100 mA/cm<sup>2</sup>에서 7.0 cd/A의 효율을 나타내었으며, 214 mA/cm<sup>2</sup>에서 6.8 cd/A의 효율을 나타내어 전류밀도 및 휘도변화에 따른 효율 변화가 크지 않았으며, 전류밀도 변화에 따라 휘도가 선형적으로 증가하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 DPVBi 청색발광 호스트 및 rubrene 황색 도판트를 사용하여 두개의 파장을 갖는 백색 OLED를 제작하고, 이의 전기적 특성 및 발광 특성을 조사하였다. 백색 OLED 소자는 구동전압이 증가함에 따라 rubrene으로부터의 발광이 상대적으로 증가하여, 5 V에서 (0.289, 0.296)의 색좌표 및 8,875 K의 색온도, 12 V에서 (0.310, 0.325)의 색좌표 및 6,709 K의 색온도를 나타내었다. 백색 OLED 소자의 최대 효율은 8.2 cd/A 였으며 전류밀도가 증가함에 따른 효율 감소는 크지 않아 14,500 cd/m<sup>2</sup>의 최대 휘도에서 6.8 cd/A를 나타내어 디스플레이 및 백라이트, 조명 등의 다양한 응용 가능성을 보였다.

#### 참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 51, No. 12, p. 913, 1987.
- [2] 정동희, 김상걸, 홍진웅, 이준웅, 김태완, "버퍼층과 음전극에 따른 유기 발광 소자의 전기적 특성과 발광 효율", *전기전자재료학회논문지*, 16권, 5호, p. 409, 2003.
- [3] J. Kido, K. Hongawa, K. Okuyama, and K. Nagai, "White light-emitting organic electroluminescent devices using the poly (N-vinylcarbazole) emitter layer doped with three fluorescent dyes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, No. 7, p. 815, 1994.
- [4] B. W. D'Andrade and S. R. Forrest, "White organic light-emitting devices for solid state lighting", *Adv. Mater.*, Vol. 16, No. 18, p. 1585, 2004.
- [5] J. Kido, M. Kimura, and K. Nagai, "Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device", *Science*, Vol. 267, p. 1332, 1995.
- [6] B. C. Krummacher, V. Choong, M. K. Mathai, S. A. Choulis, and Franky So, "Highly efficient white organic light-emitting diode", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 88, No. 11, p. 113506, 2006.
- [7] D. Dodabalapur, L. J. Rothberg, R. H. Jordan, T. M. Miller, R. E. Slusher, and J. M. Philips, "Physics and applications of organic microcavity light emitting diodes", *J. Appl. Phys.*, Vol. 80, No. 12, p. 6954, 1996.
- [8] K. O. Cheon and J. Shinar, "Bright white small molecular organic light-emitting devices based on a red-emitting guest-host layer and blue-emitting 4,4'-bis(2,2'-diphenylvinyl)-1,1'-biphenyl", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, p. 1738, 2002.
- [9] J. Kalinowski, P. D. Marco, M. Cocchi, V. Fattori, N. Camaioni, and J. Duff, "Voltage tunable color multilayer organic light emitting diode", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 68, No. 17, p. 2317, 1996.
- [10] J. H. Jou, Y. S. Chiu, C. P. Wang, R. Y. Wang, and H. C. Hu, "Efficient, color-stable fluorescent white organic light-emitting diodes with single emission layer by vapor deposition from solvent premixed deposition source", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 88, No. 19, p. 193501, 2006.
- [11] J. Jiang, Y. Xu, W. Yang, R. Guan, Z. Liu, H. Zhen, and Y. Cao, "High-efficiency white-light-emitting devices from a single polymer by mixing singlet and triplet emission", *Adv. Mater.*, Vol. 18, p. 1769, 2006.
- [12] D. J. Fatemi, H. Murata, C. D. Merritt, and Z. H. Kafafi, "Highly fluorescent molecular organic composites for light-emitting diodes", *Synthetic Metals*, Vol. 85, p. 1225, 1997.
- [13] Y. Duan, Y. Zhao, G. Cheng, W. Jiang, J. Li, Z. Wu, J. Hou, and S. Liu, "Small molecular white organic light emitting devices with a single emission layer", *Semicond. Sci. Technol.*, Vol. 19, p. L32, 2004.