

도핑 비율에 따른 하이브리드 백색 OLED의 효율 향상에 관한 연구

김남규¹, 신훈규², 권영수^{1,3,a}

¹ 동아대학교 나노공학과

² 포항공과대학교 나노융합기술원

³ 동아대학교 전기공학과

Improvement of Efficiency Varying Ratio in Hybrid White OLED

Nam-Kyu Kim¹, Hoon-Kyu Shin², and Young-Soo Kwon^{1,3,a}

¹ Department of Nano Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

² National Institute for Nanomaterials Technology, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Korea

³ Department of Electrical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received July 7, 2014; Revised July 14, 2014; Accepted July 24, 2014)

Abstract: We synthesized new materials of Zn(HPB)₂ and Ir-complexes as blue or red emitting material. We fabricated white Organic Light Emitting Diodes (OLED) by using Zn(HPB)₂ for the blue emitting layer, Ir-complexes for the red emitting layer and Alq₃ for the green emitting layer. We fabricated white OLED by using double emitting layers of Zn(HPB)₂:Ir-complexes and Alq₃. The doping rate of Ir-complexes was varied, such as 0.2%, 0.4%, 0.6%, and 0.8%, respectively. When the doping rate of Zn(HPB)₂:Ir-complexes was 0.6%, white emission was achieved. The Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) coordinates of the white emission was (0.322, 0.312).

Keywords: White OLED, Zn-complexes, Ir-complexes, CIE, Color purity

1. 서 론

21세기에 들어서 정보화 사회로의 움직임이 가속화되고 있는 가운데 인간과 전자기기 간에 막대한 양의 정보가 전달되고 있다. 이러한 정보 교류의 가교 역할을 수행하는 정보 디스플레이는 정보를 언제 어디서나 주고받을 수 있어야 하는 필요성에 따라 그 중

요성이 더해지고 있다 [1-3]. 이러한 디스플레이 중 OLED는 제작 과정이 간단하며, 플라스틱과 같은 다양한 기판상에 제작이 가능하므로 종이와 같이 구부릴 수 있는 플렉서블 디스플레이를 구현할 수 있는 기술로 관심을 받고 있다 [4-6]. 특히, OLED의 고효율화, 장수명화, 대면적화를 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 디스플레이용 OLED 사업에 참여하고 있는 업체는 100여 개 업체로 일본 업체들이 기술개발과 상용화를 주도하고 있으며, 기술개발 기간을 단축하여 시장을 선점하기 위해 업체 간 전략적 제휴나 합작 형태로 사업 전략을 진행하고 있다 [7-10].

풀컬러 디스플레이로서 OLED 사업이 날로 치열해

a. Corresponding author: : yskwon@dau.ac.kr

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가는 가운데 LCD의 백라이트로서 고효율 백색 OLED 역시 기술개발 경쟁이 심화되고 있다 [11-13]. 백색 OLED는 양 전극 사이에 놓인 단층 또는 다층의 유기물에서 백색을 발광하는 OLED 소자이다 [14-17].

백색 OLED에 관한 연구는 1980년대 말 부터 시작되어 왔으며, 최근 풀컬러 OLED 디스플레이와 LCD의 백라이트 등의 OLED 광원, OLED 조명 등에 응용될 가능성이 높아 많은 각광을 받고 있다. 기존의 백라이트가 갖지 못하는 장점을 지닌 고효율의 백색 광 OLED 패널을 개발한다면, 변환장치가 필요 없기 때문에 얇고 가벼운 백라이트 제품을 기대할 수 있고, 전력이 낮으면서도 대화면을 균일하게 조명할 수 있기 때문에 고부가가치의 LCD 디스플레이 장치를 구현할 수 있다 [18-22].

이러한 고찰을 토대로 본 연구에서 고효율 및 고순도 특성을 갖는 백색 OLED를 제작하기 위해서 기존의 형광물질 대신 인광물질을 사용한 형광/인광 구조의 하이브리드 백색 OLED를 제작하여, 도핑 농도에 따른 소자의 특성을 평가하였다

2. 실험 방법

2.1 시료

본 연구에서 형광 청색발광 물질인 $Zn(HPB)_2$ 와 인광 적색발광 물질인 Ir-complexes 합성하여 발광층으로 사용하였다.

2.1.1 $Zn(HPB)_2$ 의 합성

2-(2-hydroxyphenyl)benzoxazole (HPB) (0.422 g)을 에탄올 20 ml에 녹이고 둥근 플라스크에 넣고 저어 주면서 플라스크 안의 공기를 빼고 질소로 채우고 난 후, 70°C의 오일 베스에 넣고 1시간 동안 저어준다. 그리고 물 3 ml에 zinc acetate dehydrate (0.219 g)를 녹여서 천천히 플라스크에 떨어뜨려 24시간 반응시킨다. 반응이 종결되면 노란색의 침전물이 형성되는데 이를 에탄올, 아세톤으로 여러 번 세척을 하면서 필터하고 나서, 진공상태에서 하루 동안 건조를 시킨다. 이 침전물을 다시 에탄올에 재결정하여 정제하였다.

그림 1에 $Zn(HPB)_2$ 의 분자구조를 나타내었다.

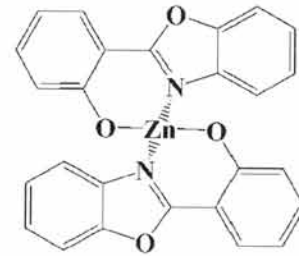


Fig. 1. Chemical Structure of $Zn(HPB)_2$.

2.1.2 Ir-complexes의 합성

불활성 분위기 상에서 2-ethoxyethanol(30 ml)에 chloro-bridged dimer (1.0 mmol), picolinic acid(2.5 mmol), Na_2CO_3 (10.0 mmol)을 넣어서 14~24시간 정도 반응시킨다. 반응이 종결되면 빨간색의 침전물이 형성되는데 이를 물과 에탄올로 여러 번 세척을 한다. 이를 다시 silica gel과 $CHCl_3/EtOAc$ 를 이용해서 정제하였다. 그림 2에 Ir-complexes의 분자구조를 나타내었다.

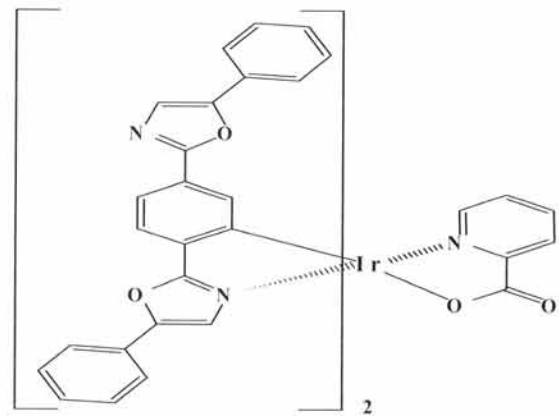


Fig. 2. Chemical structure of Ir-complexes.

2.2 소자제작

소자 구조는 ITO / NPB (40 nm) / $Zn(HPB)_2$: Ir-complexes(30 nm) / Alq_3 (30 nm) / LiF (0.5 nm) / Al (100 nm)이며, 도핑층인 $Zn(HPB)_2$: Ir-complexes의 도핑 비율을 각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8%로 변화시켜서 실험을 진행하였다.

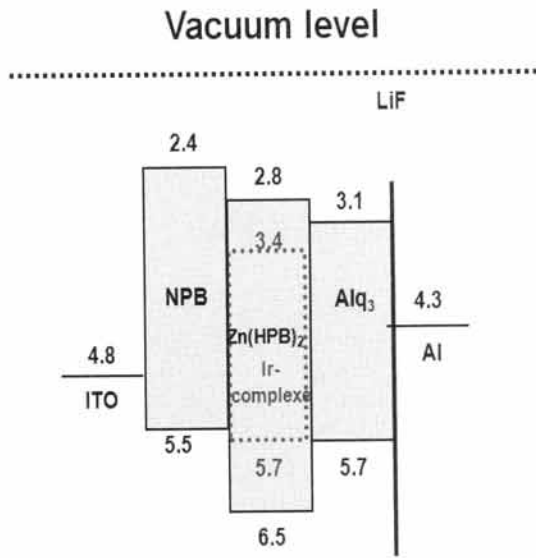


Fig. 3. The energy level alignment of the devices.

그림 3에 소자의 에너지 밴드 다이어그램을 나타내었다. 그림 3과 같이 형광 청색 발광층으로 $Zn(HPB)_2$ 를 사용하고 인광 적색 발광층으로 Ir-complexes를 사용해서 소자를 제작하면 인광 백색 OLED와 같은 효율을 얻을 수 있으면서 소자 안정성도 확보할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전류밀도-휘도-효율 특성

그림 4(a)와 (b)는 도핑층의 도핑 비율에 따른 소자의 전류밀도-휘도, 전류밀도-효율 특성을 나타낸 것이다. 도핑층의 도핑 비율이 0.2, 0.4, 0.6, 0.8일 때의 최대 휘도는 각각 7,800, 7,500, 8,600, 6,070[cd/m²]로 나타났으며, 최대 효율은 각각 1.36, 1.31, 1.39, 1.30 [cd/A]로 나타났다. 이것은 도핑 비율이 0.6% 이하의 농도에서는 주입되는 전자와 정공에 비해 도핑층에서 생성할 수 있는 엑시톤이 부족하기 때문에 낮은 효율을 보였다. 반면에, 0.6% 이상의 농도에서는 엑시톤의 형성은 많지만 농도소광 현상에 의해 빛으로 방출되는 것보다는 삼중항끼리의 충돌에 의해 효율이 떨어졌을 것이다. 따라서 도핑 비율이 0.6%일 때, 최대 휘도 및 최대 효율이 나타난 것으로 생각된다.

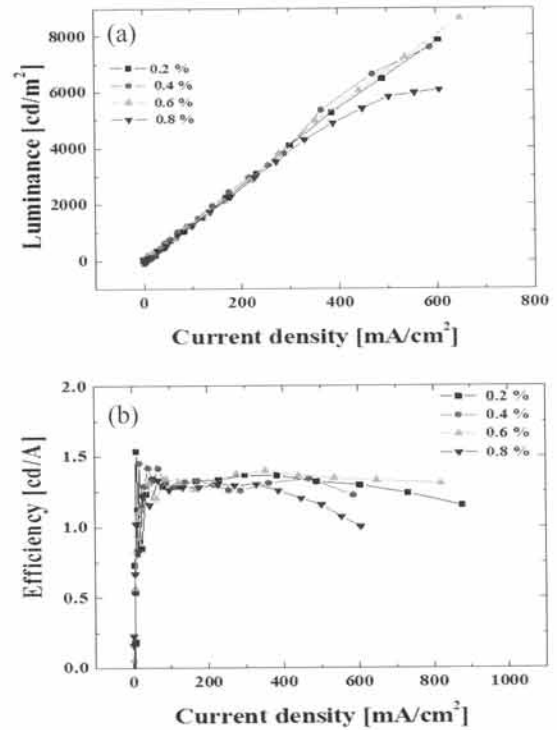


Fig. 4. (a) luminance-current density characteristics, (b) efficiency-current density characteristics.

3.2 CIE 표색계 및 EL 스펙트럼 특성

그림 5와 6은 각 소자의 CIE 표색계와 EL 스펙트럼을 나타낸 것이다. 각 소자의 CIE 표색계가 각각 (0.239, 0.349), (0.274, 0.296), (0.322, 0.312), (0.366, 0.364)로 나타났다. 이것은 도핑층의 도핑 비율이 증가할수록 소자가 blue영역에서 white 영역을 지나 red 영역으로 이동함을 의미한다. 여기서, 도핑 비율이 0.6%일 때, 소자가 백색발광을 한다는 것을 알 수 있었다.

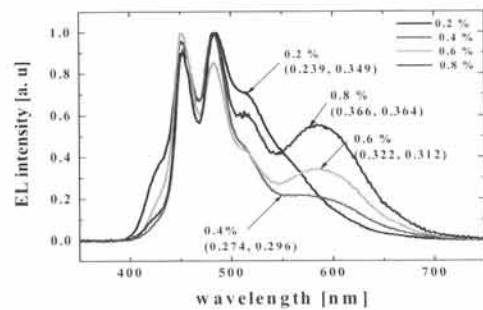


Fig. 5. EL spectra of the device.

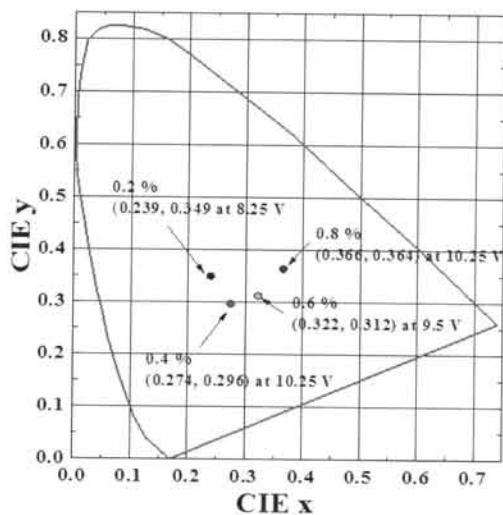


Fig. 6. CIE coordinates of the device.

그림 6에서 보면 도핑 비율이 증가할수록 인광 적색 발광층인 Ir-complexes층에서의 삼중항 결합이 더 많아져서, 도핑층의 도핑 비율이 증가할수록 620 [nm] 부근의 적색파장이 강하게 나왔을 것이라 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 형광소재와 인광소재의 장점을 극대화할 수 있는 형광/인광 하이브리드 구조의 백색 OLED 소자를 제작하였다. 이를 통하여 청색은 수명이 우수한 형광 소재로부터 얻어내고, 적색은 청색 발광층에서 생성되는 삼중항 엑시톤 에너지를 이웃하는 인광소재로의 에너지 전이를 이용하여 얻어낸다. 이러한 과정에서 엑시톤의 손실 없이 효율 및 색순도가 향상된 소자를 제작하기 위한 실험을 진행하였다. 실험 결과, 도핑층의 도핑 비율이 0.6%일 때, 형광 발광층인 Zn(HPB)₂층에서 단일항 엑시톤에 의한 청색 발광이 일어났다. 동시에 형광층 재결합 영역에서 사용되지 않은 삼중항은 에너지 이동에 의해서 인광 발광층인 Ir-complexes층으로 이동하여 적색의 발광을 얻게 되었다.

본 연구 결과 도핑 비율이 0.6%인 소자에서는 휘도값이 8,600 [cd/m²]였으며, 효율을 계산한 결과 1.39 [cd/A]의 값을 보이고 있다. 따라서 이러한 결과는 본 연구에서 제작한 소자를 활용하여 향상된 백색 발광

소자 제작의 가능성을 보여주고 있다고 생각되어진다. 그러나 청색 발광층과 적색발광층이 서로 인접하여 청색발광이 감소하는 경향에 의한 색순도 저하를 보완할 필요성도 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] S. Tokito, K. Noda, H. Tanaka, Y. Taga, and T. Tsutsui, *Synth. Met.*, 111, 393 (2000).
- [2] S. Miyata, Y. Sakuratani, and X. T. Tao, *Optical Materials*, 21, 99 (2002).
- [3] D. E. Kim, W. S. Kim, B. S. Kim, B. J. Lee, and Y. S. Kwon, *Colloids Surf. A*, 313, 320 (2008).
- [4] D. E. Kim, W. S. Kim, B. J. Lee, and Y. S. Kwon, *Jpn. Appl. Phys. Lett.*, 46, 2749 (2007).
- [5] Y. K. Jang, D. E. Kim, W. S. Kim, O. K. Kwon, B. J. Lee, and Y. S. Kwon, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45, 3725 (2006).
- [6] W. S. Kim, J. M. You, B. J. Lee, Y. K. Jang, D. E. Kim, and Y. S. Kwon, *Thin Solid Films*, 515, 5070 (2007).
- [7] X. T. Tao, H. Suzuki, T. Wada, H. Sasabe, and S. Miyata, *Appl. Phys. Lett.*, 75, 1955 (1999).
- [8] J. S. Kim, M. Granstrom, R. H. Friend, N. Johansson, W. R. Salaneck, R. Daik, W. J. Feast, and F. Cacial, *J. Appl. Phys.*, 84, 6859 (1998).
- [9] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, 65, 3610 (1989).
- [10] M. Mazzeo, D. Pisignano, L. Favartto, G. Sotgiu, G. Barbarella, R. Cingolani, and G. Gigli, *Synth. Met.*, 139, 657 (2003).
- [11] X. Y. Zheng, W. Q. Zhu, Y. Z. Wu, X. Y. Jiang, R. G. Sun, Z. I. Zhang, and S. H. Xu, *Displays*, 24, 121 (2003).
- [12] J. P. Yang, Y. D. Jin, P. L. Heremans, R. Hoefnagels, P. Dieltiens, F. Blockhuys, H. J. Geise, M. V. Auweraer, and G. Borghs, *Chemical Physics Letters*, 325, 251 (2000).
- [13] B. W. D'ndrade and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.*, 94, 3101 (2003).
- [14] C. W. Ko and Y. T. Tao, *Appl. Phys. Lett.*, 79, 4234 (2001).
- [15] S. Tokito, T. Tsuzuki, F. Sato, and T. Iijuma, *Current Appl. Phys.*, 5, 331 (2005).
- [16] J. Thompson, V. Maiorano, S. Carallo, E. Perrone, A. Biasco, R. Cingolani, A. Croce, A. Daneu, and R. I. R. Blyth, *Synthetic Metals*, 152, 69 (2005).

- [17] M. Pope, H. Kallman, and P. Magnate, *J. Chem. Phys.*, **38**, 2042 (1963).
- [18] L. S. Liao, K. P. Klubek, and C. W. Tang, *Appl. Phys. Letts.*, **84**, 167 (2004).
- [19] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913 (1987).
- [20] J. Kido, K. Hongawa, K. Okuyama, and K. Nagai, *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 815 (1994).
- [21] J. Kido, W. Ikeda, M. Kimura, and K. Nagai, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **35**, L394 (1996).
- [22] Z. Yang, B. Hu, and F. E. Karasz, *J. Macromol. Sci., Pure Appl. Chem.*, **A35**, 233 (1998).