

Hole Blocking Layer 사용에 따른 하이브리드 백색 OLED의 색순도 향상에 관한 연구

김남규¹, 신훈규², 권영수^{1,3,a}

¹ 동아대학교 나노공학과

² 포항공과대학교 나노융합기술원

³ 동아대학교 전기공학과

Improvement of Color Purity Using Hole Blocking Layer 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 31, 2014; Accepted November 4, 2014)

Abstract: Novel materials of Zn(HPB)₂ and Ir-complexes were respectively synthesized as blue or red emitting material. White Organic Light Emitting Diodes (OLED) were fabricated by using Zn(HPB)₂ for a blue emitting layer, Ir-complexes for a red emitting layer and Alq₃ for a green emitting layer. White OLED was fabricated by using double emitting layers of Zn(HPB)₂ and Alq₃:Ir-complexes, and hole blocking layer of BCP. We also varied the thickness of BCP. When the thickness of BCP layer was 5 nm, white emission was achieved. We obtained a maximum luminance of 3,500 cd/m². The CIE coordinates was (0.375, 0.331). From this study, we could propose that the hybrid structure is efficient in lighting application of white OLED by improvement of color purity.

Keywords: White OLED, Zn-complexes, Ir-complexes, Hole blocking layer, BCP, CIE, Color purity

1. 서 론

백색 OLED는 사용하는 소재에 따라서 형광, 인광, 그리고 하이브리드 백색 OLED로 나눌 수 있다

[1-4]. 형광소재를 사용하는 경우에는 소자 안정성 면에서는 우수하지만 고효율을 얻는데 한계가 있으며, 인광소재를 사용하는 경우에는 고효율을 얻을 수는 있지만, 안정적인 청색 소재가 없다는 문제점을 가지고 있다 [5-9]. 이러한 두 가지의 문제점을 상호 보완하고자 청색은 형광소재를 사용하고 그 외의 색상은 인광소재를 사용하는 하이브리드 방식의 연구가 활발히 진행되고 있다. 하이브리드 백색 OLED는 인광 백색 OLED에서 청색을 형광으로 대체한 소자이다. 하

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.

이브리드 백색 OLED는 형광층의 삼중항을 사용할 수 있는 triplet harvesting 타입과 그렇지 않은 direct recombination 타입으로 나눌 수가 있다 [10-14]. Triplet harvesting 타입은 인광 백색 OLED와 같은 효율을 얻을 수 있으면서 소자 안정성도 확보할 수 있기 때문에 OLED 연구자들의 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 이러한 타입의 소자가 작동하는 원리는 형광층에서 대부분의 재결합이 일어나고, 따라서 형광층의 단일항 엑시톤에 의한 청색 발광을 얻게 된다. 형광층 재결합 영역에서 사용되지 않은 삼중항은 에너지 이동에 의해서 인광층으로 이동하여 녹색과 적색의 인광 발광을 얻게 된다. 그러나, 이러한 원리의 소자는 형광층의 삼중항 엑시톤을 최대한 손실없이 인광층으로 이동시켜야 하는데 문제점이 있다 [15-19]. Triplet harvesting 하이브리드 백색 OLED의 문제점을 해결하기 위하여 direct recombination 타입의 연구가 필요로 하게 되었다. 이 타입의 소자는 재결합 영역이 형광층과 인광층에 모두 형성될 수 있도록 조절하여 형광과 인광으로부터 모두 발광을 얻어내는 방법이다. 앞선 triplet harvesting 타입에 비해 청색 형광층의 삼중항 엑시톤을 사용할 수 없기 때문에 효율은 낮을 수 있지만, 다양한 소재를 활용할 수 있고, 또한 소자의 설계가 용이하다. 이러한 타입의 소자에서는 형광층과 인광층을 분리하는 중간층의 역할은 매우 중요한데, 이는 재결합 영역을 형광층과 인광층에 걸쳐서 형성되도록 조절하는 역할을 할 뿐만 아니라, 인광 발광층의 삼중항 엑시톤이 형광층으로 이동하여 소멸되는 것을 막아주는 기능을 하게 된다 [20-24].

본 연구에서는 청색과 녹색 발광층으로 형광물질인 $Zn(HPB)_2$, Alq_3 를 각각 이용하고, 적색 발광층으로 인광물질인 Ir-complexes를 이용하여 실험을 진행하였다. 또한, 정공수송층과 발광층 사이에 HBL (hole blocking layer)인 BCP를 사용하였다. 이 BCP의 두께 변화에 따른 백색 OLED의 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

청색과 녹색 발광층으로 형광물질인 $Zn(HPB)_2$, Alq_3 를 각각 이용하고, 적색 발광층으로 인광물질인 Ir-complexes를 이용하여 실험을 진행하였다. 또한,

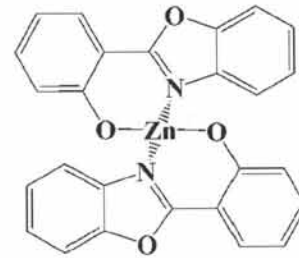


Fig. 1. Chemical structure of $Zn(HPB)_2$.

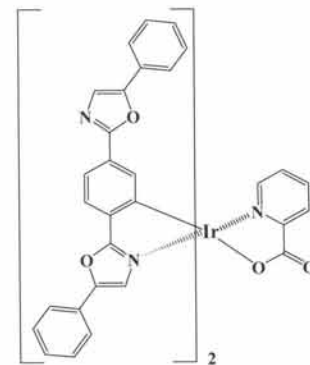


Fig. 2. Chemical structure of Ir-complexes.

HBL로 BCP를 사용하였다.

그림 1과 2에는 $Zn(HPB)_2$ 와 Ir-complexes의 분자 구조를 나타내었다.

2.2 소자제작

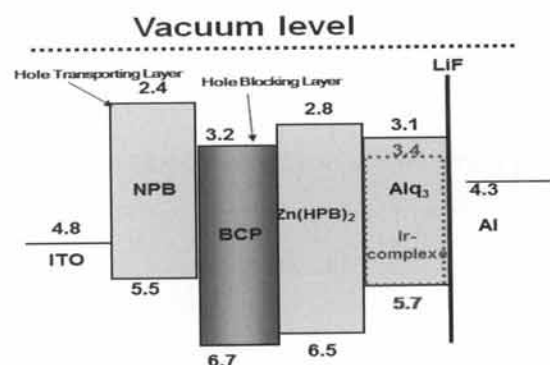


Fig. 3. The energy level alignment of the devices.

본 실험에서 사용된 소자구조는 ITO / NPB (40 nm) / BCP / $Zn(HPB)_2$ (30 nm) / Alq_3 :Ir-complexes (30 nm) / LiF (0.5 nm) / Al (100 nm)이며, BCP의 두

께를 0, 5, 10 nm로 변화시켜서 실험을 진행하였다.

그림 3에 소자의 에너지 밴드 다이어그램을 나타내었다. 그림 3에서 보듯이 정공수송층과 발광층 사이에 HBL층을 삽입하여 정공수송층과 발광층 사이에 정공의 이동을 제어하여 각 발광층 간에 색의 섞임을 방지하여 백색 OLED의 색순도를 향상 시키고자 있었다. 그러나, 형광층의 삼중항 엑시톤을 사용할 수 없기 때문에 효율은 낮을 수도 있을 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전류밀도-휘도-효율 특성

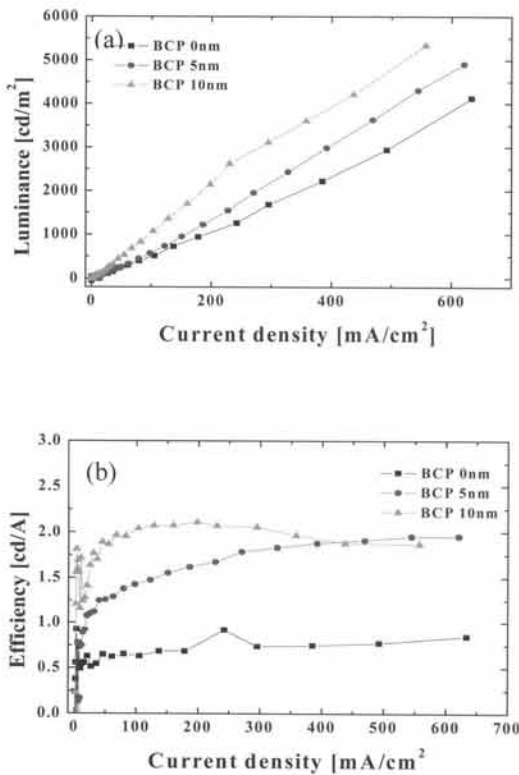


Fig. 4. (a) luminance-current density characteristics and (b) efficiency-current density characteristics.

그림 4는 BCP의 두께 변화에 따른 소자의 전류밀도-휘도-효율을 나타낸 것이다. 이 구조의 소자에서는 발광층과 정공수송층 사이에 HBL층이 있다. 따라서 정공의 이동 속도를 감소시켜 소자의 발광 특성이 떨어질 수도 있다. BCP의 두께가 0, 5, 10 nm일 때

최대 휘도는 각각 4,100, 4,900, 5,100[cd/m²]로 나타났으며, 효율은 각각 0.91, 1.95, 2.07 [cd/A]로 나타났다.

3.2 CIE 표색계 및 EL 스펙트럼 특성

그림 5와 6은 각 소자의 EL 스펙트럼과 CIE 표색계를 나타낸 것이다. 그림 5에서 BCP층의 두께가 두꺼워 질수록 인광 적색 발광층인 Ir-complexes층에서보다 형광 녹색 발광층인 Alq₃층에서 재결합이 더 많이 일어난다. 그렇기 때문에 소자의 발광색이 적색영역에서 녹색으로 이동하였기 때문에 BCP의 두께가 두꺼워 질수록 520 [nm] 부근의 녹색파장이 증가되었을 거라고 생각되어 진다 [25].

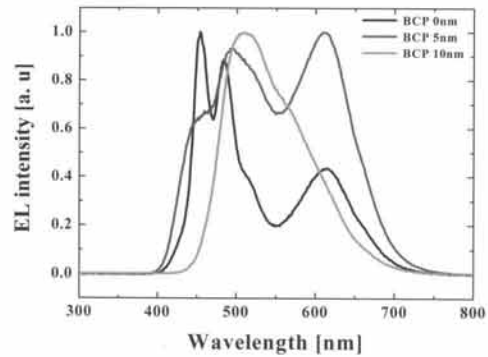


Fig. 5. EL spectra of the device.

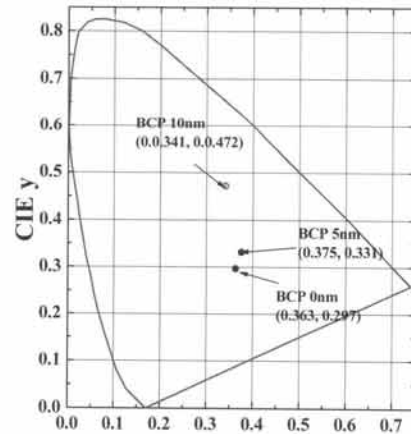


Fig. 6. CIE coordinates of the device.

그림 6과 같이 각 소자의 CIE 표색계가 각각 (0.363, 0.297), (0.375, 0.331), (0.341, 0.472)로 나타났

다. 이것은 BCP의 두께가 두꺼워 질수록 소자가 적색영역에서 백색영역을 지나 녹색영역으로 이동함을 나타낸다. 여기서, BCP의 두께가 5 nm일 때, 소자가 백색발광을 한다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 형광물질인 Zn(HPB)₂와 인광물질인 Ir-complexes를 합성하여, Zn(HPB)₂는 청색발광층, Ir-complexes는 Alq₃와 도핑하였으며, 정공수송층과 발광층 사이에 BCP를 삽입하여 BCP의 두께를 변화시켜서 백색 OLED를 제작하여 소자의 색순도 향상에 관한 실험을 진행하였다. 그 결과 BCP의 두께가 5 nm일 때 CIE 표색계가 (0.375, 0.331)로 백색 발광함을 확인하였다. 이는 BCP가 정공수송층과 발광층 사이에서 정공의 이동을 제어하여 각 발광층 간의 색의 섞임을 방지하여 색순도가 향상된 백색 OLED를 제작할 수 있었다. 그러나, 형광층의 삼중항 엑시톤을 사용할 수 없기 때문에 최대 휘도 및 효율은 각각 4,900[cd/m²], 1.95[cd/A]으로 발광 특성은 낮을 수도 있을 것으로 예측한다. 본 연구 결과를 통해서 HBL층을 사용함으로써 소자의 색순도 향상 가능성을 제시할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 동아대학교 연구비 지원에 의해 이루어졌습니다.

REFERENCES

- [1] J. Kido, W. Ikeda, M. Kimura, and K. Nagai, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35, L394 (1996).
- [2] S. Tokito, K. Noda, H. Tanaka, Y. Taga, and T. Tsutsui, *Synth Met.*, 111, 393 (2000).
- [3] J. Thompson, V. Maiorano, S. Carallo, E. Perrone, A. Biasco, R. Cingolani, A. Croce, A. Daneu, and R. I. R. Blyth, *Synth Met.*, 152, 69 (2005).
- [4] D. E. Kim, W. S. Kim, B. S. Kim, B. J. Lee, and Y. S. Kwon, *Colloids Surf. A*, 313, 320 (2008).
- [5] F. J. Zhu, Y. L. Hua, S. G. Yin, J. C. Deng, K. W. Wu, X. Niu, X.M. Wu, and M. C. Petty, *J. Lumin.*, 122, 717 (2007).
- [6] 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).
- [7] P. E. Burrows and S. R. Forrest, *Appl. Phys. Lett.*, 64, 2285 (1993).
- [8] W. Brütting, S. Berleb, and A. G. Mückl, *Synth Met.*, 122, 99 (2001).
- [9] S. C. Jain, A. K. Kapoor, W. Geens, J. Poortmans, R. Mertens, and M. Willander, *J. Appl. Phys.*, 92, 3579 (2002).
- [10] 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).
- [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] C. W. Ko and Y. T. Tao, *Appl. Phys. Lett.*, 79, 4234 (2001).
- [13] 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).
- [14] H. Kanno, K. Ishikawa, Y. Nishio, A. Endo, C. Adachi, and K. Shibata, *Appl. Phys. Lett.*, 90, 123509 (2007).
- [15] D. E. Kim, W. S. Kim, B. S. Kim, B. J. Lee, and Y. S. Kwon, *Thin Solid Films*, 516, 3637 (2008).
- [16] X. T. Tao, H. Suzuki, T. Wada, H. Sasabe, and S. Miyata, *Appl. Phys. Lett.*, 75, 1955 (1999).
- [17] M. M. Mandoc, B. de Boer, and P.W.M. Blom, *Phys. Rev. B*, 73, 155205 (2006).
- [18] C. F. Qiu, L. D. Wang, H. Y. Chen, M. Wong, and H. S. Kwok, *Appl. Phys. Lett.*, 79, 2276 (2001).
- [19] T. Nakamura, N. Tsutsumi, N. Juni, and H. Fujii, *J. Appl. Phys.* 97, 054505 (2005).
- [20] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, 65, 3610 (1989).
- [21] S. C. Jain, A. K. Kapoor, W. Geens, J. Poortmans, R. Mertens, and M. Willander, *J. Appl. Phys.*, 92, 3579 (2002).
- [22] M. mazzeo, D. Pisignano, Laura Favartto, G. Sotgiu, G. Barbarella, R. Cingolani, and G. Gigli, *Synth Met.*, 139, 657 (2003).
- [23] P.W.M. Blom, M.J.M. de Jong, and M. G. van Munster, *Phys. Rev. B*, 55, R656 (1997).
- [24] N. C. Greenham, I.D.W. Samuel, G. R. Hayes, R. T. Phillips, Y.A.R.R. Kessener, S. C. Moratti, A. B. Holmes, and R. H. Friend, *Chem. Phys. Lett.*, 241, 89 (1995).
- [25] Z. Yang, B. Hu, and F. E. Karasz, *J. Macromol. Sci., Pure Appl. Chem.*, A35, 233 (1998).
- [26] S. Reineke, F. Lindner, G. Schwartz, N. Seidler, K. Walzer, B. Lussem, and K. Leo, *Nature*, 459, 234 (2009).