



CGL 층으로 MoO_x를 사용한 다중 적층구조 OLED의 발광 특성

김지현, 주성후*

대전대학교 신소재공학과

Emission Characteristics of Multi-Tandem OLED using MoO_x with CGL

Ji-Hyun Kim, Sung-Hoo Ju*

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Daejin University, Seondan-dong,
Pocheon-si, Kyonggi-do, 487-711, Korea

(Received June 16, 2015 ; revised June 28, 2015 ; accepted June 29, 2015)

Abstract

We studied emission characteristics of blue fluorescent multi-tandem OLEDs using Al/MoO_x as charge generation layer(CGL). Threshold voltage for 2, 3, 4, and 5 units tandem OLEDs was 8, 11, 14 and 18 V, respectively. The threshold voltage in multi-tandem OLEDs was lower than multiple of 4 V for the single OLED. Maximum current efficiency and maximum quantum efficiency of single OLED were 7.6 cd/A and 5.5%. Maximum current efficiency for 2, 3, 4, and 5 units tandem OLEDs was 22.6, 31.4, 41.2, and 46.6 cd/A, respectively. Maximum quantum efficiency for 2, 3, 4, and 5 units tandem OLEDs was 11.8, 15.8, 21.8, and 25.6%, respectively. The maximum current efficiency and maximum quantum efficiency in multi-tandem OLEDs were higher than multiple of those for the single OLED. The intensity for 508 nm peak was changed and the peak wavelength was red shift by increase of tandem unit in electroluminescent emission spectra. These phenomena can be caused by micro-cavity effect with increasing of organic layer thickness.

Keywords : OLED, Tandem, CGL(Charge Generation Layer), Fluorescence, Efficiency

1. 서 론

유기전계발광소자(Organic Light Emitting Device : OLED)는 낮은 전력 소모, 빠른 응답 속도, 얇은 두께, 높은 명암비 및 낮은 생산 비용 등의 장점을 가지고 있고, 평판 디스플레이 및 조명용 광원으로의 활성화를 위하여 지속적인 발광효율 및 수명 향상이 요구되고 있다^{1,2)}. 발광휘도 및 수명을 향상시킬 수 있는 방법으로 적층구조 OLED가 많은 관심을 받고 있다³⁻⁶⁾. 적층형 OLED란 두 개 이상의 단일 구조 OLED 사이에 전자와 정공의 산화환원반응으

로부터 전자와 정공이 생성되는 전하생성층 (Charge Generation Layer; CGL)을 삽입하여 제작한 OLED이다. 이러한 전하생성층의 구조에 따라 적층형 OLED의 특성이 변화되어 전하생성층의 중요성이 대두되고 있다⁷⁻⁹⁾. 단일구조 OLED를 적층하여 다중 적층구조 OLED를 제작하는 경우 구동 전압은 일정한 전류 밀도에서 단일구조 OLED의 적층의 배수만큼 증가하는 연구가 있었으며¹⁰⁾, 적층구조 OLED의 CGL층으로 MoO_x, WO_x, C60, HATCN의 두께에 따른 선행 연구를 진행하여, 3 nm 두께의 MoO_x가 최적의 특성을 나타내었음을 확인하였다.¹¹⁾

본 연구에서는 전하생성층으로 우수한 특성을 나타내는 MoO_x 물질을 사용하여 다중 적층 구조의 발광 특성을 연구하기 위하여 단일에서부터 5층까지 적층한 다중 적층구조 OLED를 제작하였다. 제

*Corresponding Author : Sung-Hoo Ju

Department of Advanced Materials Science and Engineering,
Daejin University
E-mail : sunghooju@daejin.ac.kr

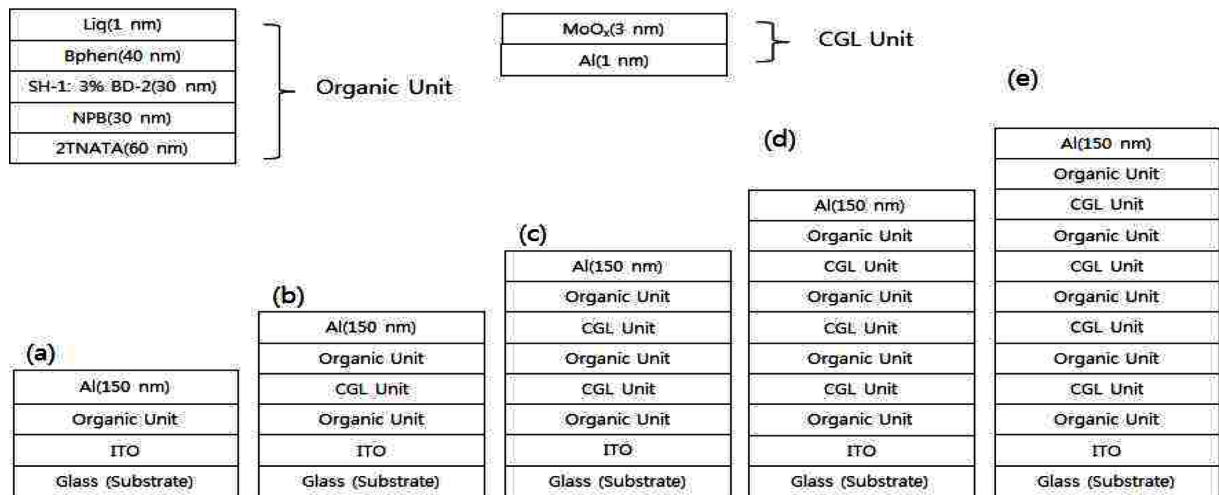


Fig. 1. Structure of blue fluorescent multi-tandem OLEDs. (a) single structure, (b) ~ (e) tandem structure.

작된 다중 적층구조 OLED의 발광 특성을 분석하기 위하여 전류-전압-휘도(I-V-L) 및 전계발광스펙트럼을 측정하였다.

2. 실험 방법

면저항 10 Ω□, 두께 150 nm의 ITO (Indium Tin Oxide) 유리 기판위에 열 기상 증착 방법으로 1.0 × 10⁻⁶ torr 이하의 고진공에서 유기물은 1 Å/s, Liq는 0.5 Å/s, Al은 2 Å/s, MoO_x는 0.5 Å/s의 증착속도로 박막을 증착하여 OLED를 제작하였다.

그림 1은 제작한 청색 형광 OLED의 구조를 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 단일층 청색 형광 OLED 구조이고, 그림 1(b)는 2층의 적층구조 OLED, 그림 1(c)는 3층의 적층구조 OLED, 그림 1(d)는 4층의 적층구조 OLED, 그림 1(e)는 5층의 적층구조 OLED를 나타낸 것이다. 기본 청색 OLED 소자로는 ITO / 2-TNATA(4,4,4-tris(2-naphthyl phenyl-amino)triphenylamine) / NPB(N,N'-bis-(1-naphyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine) / SH-1 : 3 vol.% BD-2 / Bphen (4-7-diphenyl-1,10-phenanthroline) / Liq / Al 구조로 제작하였다. 다중 적층구조 청색 OLED 소자로는 ITO가 증착된 유리기판위에 유기물 층(2-TNATA / NPB / SH-1 : 3 vol.% BD-2 / Bphen / Liq)과 전하생성층(Al / MoO_x)을 순차적으로 적층하여 제작하였다.

제작된 OLED 소자를 발광시키기 위하여 Keithley 2400을 사용하여 소자의 양극과 음극에 전압과 전류를 인가하였고, 소자에서 발광된 발광 휘도 및 발광 스펙트럼은 Photo Research사의 PR-650 Spectrascan을 사용하여 측정하였다.

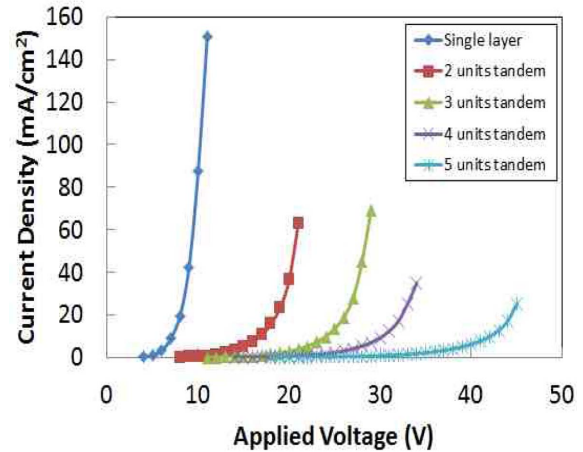


Fig. 2. Current density vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent multi-tandem OLEDs.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 단일구조 OLED와 2~5층을 적층하여 제작한 청색 형광 다중 적층구조 OLED의 인가전압에 따른 전류밀도를 나타낸 것이다. 전류밀도 10 mA/cm²를 나타내는 인가전압은 단일구조 OLED의 경우 7.1 V에서 2, 3, 4, 5층 적층구조 OLED의 경우 각각 17 V, 24 V, 30.2 V, 42.1 V로 증가하였다. 단일구조 OLED보다 다중 적층구조 OLED의 경우 유기층의 두께가 2, 3, 4, 5배 증가하여 동일한 전기장이 인가되기 위하여 적층구조 OLED의 경우 인가전압이 약 2, 3, 4, 5배 증가된 14.2, 21.3, 28.4, 35.5 V를 예상하였다. 그러나 다중 적층구조 OLED에서 유기층의 두께와 전하생성층의 영향으로 적층의 배수보다 전압이 높게 인가되었다.

그림 3은 단일구조 OLED와 다중 적층구조 OLED

의 인가전압에 따른 발광휘도를 나타낸 것이다. 문턱전압은 단일구조의 경우 4 V에서 2, 3, 4, 5층의 적층 OLED는 각각 8, 11, 14, 18 V로 증가하였다. 이러한 현상은 적층 구조를 형성함에 따라 OLED 소자의 두께가 증가하여 나타난 현상으로 2, 3, 4, 5층으로 적층된 경우 8, 12, 16, 20 V로 증가할 것으로 예상하였으나 두께의 증가에 따른 전기장의 증가보다는 낮은 인가전압을 나타내었다. 발광휘도 1,000 cd/m²를 나타내는 인가전압은 단일구조 OLED의 경우 7.5 V에서 2, 3, 4, 5층 적층구조 OLED의 경우 각각 15 V, 20.6 V, 25.6 V, 35.6 V를 나타내었다. 발광휘도 1,000 cd/m²를 나타내는 인가전압도 층수의 배수보다는 낮은 증가를 나타내었다. 최대 발광휘도는 단일구조 OLED의 경우 9,343 cd/m², 2, 3, 4, 5층 적층구조 OLED의 경우 각각 14,200, 20,940, 14,330, 11,732 cd/m²로 발광 층수에 따른 경향성은 나타나지 않았다.

그림 2와 3에서 1,000 cd/m²의 발광휘도를 나타내는 전류밀도는 단일구조 OLED의 경우 13 mA/cm², 2, 3, 4, 5층의 적층구조 OLED 경우 5, 3.5, 2.7, 2.2 mA/cm² 이었다. 단일구조 OLED의 전류밀도와 비교하여 적층구조 OLED의 경우 적층된 층의 수가 증가함에 따라 낮은 전류밀도를 나타내었다. 적층이 될수록 보다 적은 전류가 주입되나 발광에는 많이 기여하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 전하생성층에서 전자와 정공이 생성되어 발광에 기여함으로써 전류는 감소하고 발광은 증가한 것이다.

그림 4는 청색 형광 단일구조와 다중 적층구조 OLED의 인가전압에 대한 전류발광효율을 나타낸 것이다. 최대전류발광효율은 단일구조 OLED의 경우 7.6 cd/A에서 2, 3, 4, 5층의 적층구조 OLED는 각각 22.6, 31.4, 41.2, 46.6 cd/A로 단일소자에 비

하여 적층된 층의 수가 증가함에 따라 증가되었다. 이것은 다중 적층구조 OLED가 단일구조 OLED에 비하여 효율향상에 기여한다는 것을 보여주며, 적층의 배수보다 전류발광효율의 증가가 높게 나타났다.

그림 5는 청색 형광 단일구조와 적층 OLED의 인가전압에 대한 양자효율을 나타낸 것이다. 최대양자효율은 단일구조 OLED의 경우 5.5%를 나타내었고, 2, 3, 4, 5층의 적층구조 OLED는 각각 11.8, 15.8, 21.8, 25.6%로 단일구조 OLED와 비교하여 향상되었다.

그림 6은 청색 형광 다중 적층구조 OLED의 최대전류발광효율과 최대양자효율을 층별로 나타낸 것이다. 단일구조 OLED의 효율을 기준으로 적층된 층수의 증가에 따른 예측값과 실험값으로 나타내었다. 최대전류발광효율의 경우, 예측했던 효율값보다 훨씬 높은 증가를 나타내었고, 최대양자효율의 경우에는 예측했던 효율값과 비슷한 경향을 보

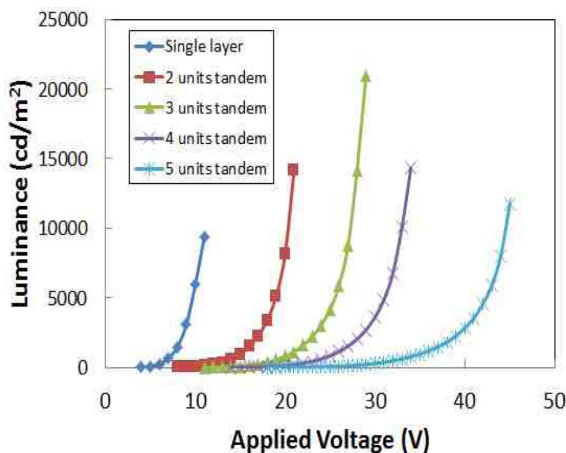


Fig. 3. Luminance vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent multi-tandem OLEDs.

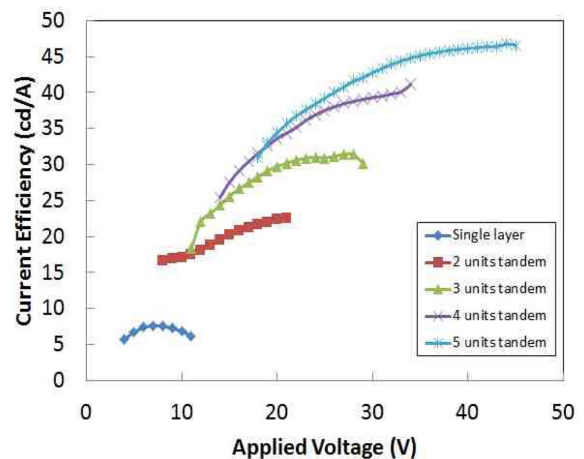


Fig. 4. Current efficiency vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent multi-tandem OLEDs.

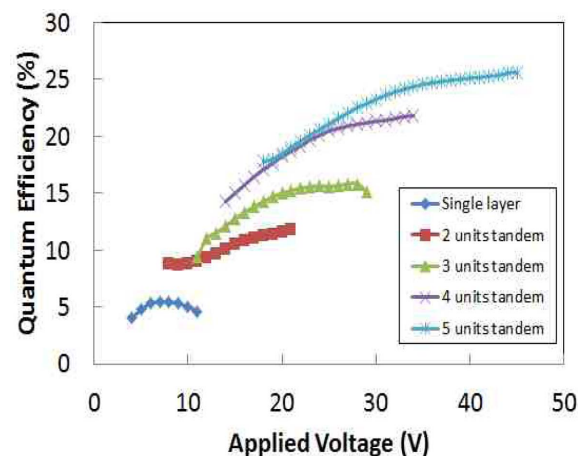


Fig. 5. Quantum efficiency vs. applied voltage characteristics for blue fluorescent multi-tandem OLEDs.

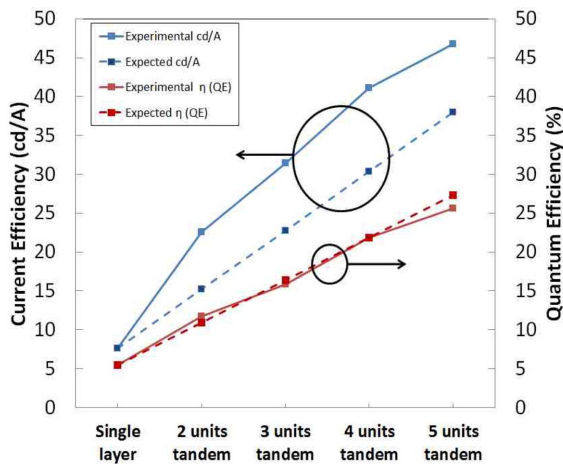


Fig. 6. Efficiency vs. units tandem characteristics for blue fluorescent multi-tandem OLEDs.

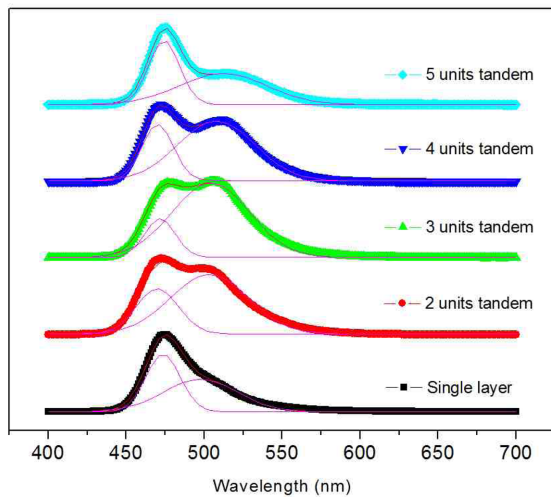


Fig. 7. The electroluminescent spectra for blue fluorescent multi-tandem OLEDs

여주었다. 이러한 전류발광효율 및 양자효율의 특성이 높게 나타나는 현상은 전하생성층으로부터 전하가 생성되어 상부의 발광 소자에는 정공의 주입을 원활하게 하고 하부의 발광 소자에는 전자의 주입이 원활하게 되어 상부와 하부의 두 발광 소자에서 모두 발광하게 되고 상부와 하부층 빛의 중첩에 의하여 낮은 전류밀도에서 높은 발광휘도 및 전류발광효율, 양자효율을 나타낸 것이다¹²⁻¹⁴).

그림 7은 청색 형광 단일구조 OLED와 다중 적층구조 OLED의 발광휘도가 1,000 cd/m²일 때 발광스펙트럼을 나타낸 것이다. 단일구조 OLED와 비교하여 3층 적층구조 OLED까지는 508 nm의 발광이 증가하였다. 그러나 4층 적층구조 OLED부터는 다시 467 nm 발광 파장이 강해지며, 508 nm 발광 파장은 오른쪽으로 이동하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 적층 수에 따른 특정 파장이 증가하다 감소

하는 변화와 그 특정 파장이 오른쪽으로 이동하는 현상은 유기물의 두께변화에 의하여 반사 전극과 투명 전극사이에서 빛이 이동하는 거리의 변화에 의한 마이크로 캐비티 효과에 의한 것이다.¹⁵⁻¹⁷⁾

4. 결 론

정공주입층으로 2TNATA, 정공수송층으로 NPB, 발광층으로 BD-2가 첨가된 SH-1, 전자수송층으로 Bphen, 전자주입층으로 Liq, 음극으로 Al, 전하생성층으로 Al/MoO_x 물질을 이용하여 청색 형광 다중 적층구조 OLED의 발광특성을 조사하였다. OLED의 최대전류효율은 단일층일 때 7.6 cd/A, 2, 3, 4, 5층의 경우 22.6, 31.4, 41.2, 46.6 cd/A로 적층된 층 수 배 이상의 최대전류발광효율을 나타내었다. 양자효율은 적층된 층의 수에 비례적으로 증가하여, 5층 적층구조 OLED의 경우 25.6%를 나타내었다. 적층이 증가할수록 발광 특성이 향상되는 현상은 전하생성층에 의하여 전하가 생성되어 상부층과 하부층에 정공과 전자의 주입이 원활하게 되고, 상부층과 하부층에서 발광된 빛의 중첩으로 인하여 적층된 수의 배 이상의 효율을 나타낸 것이다. 단일 구조와 적층구조 OLED의 발광휘도 1,000 cd/m²일 때 발광스펙트럼이 변화하는 현상은 유기물의 두께 변화에 따른 마이크로 캐비티 효과에 의한 것으로 판단된다. 다중 적층구조를 도입하여 제작한 OLED 소자의 양자효율과 최대전류발광은 예측한 값과 동등하거나 그 이상의 높은 결과값을 얻었으며, 적층 구조를 통한 청색 OLED 소자의 개선은 디스플레이 구현을 위한 핵심기술이며 고성능화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

1. C.W. Tang, S.A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett., 51 (1987) 913.
2. J. Clark, G. Lanzani, Nature, 4 (2010) 438.
3. T. Tsutsui, M. Terai, Appl. Phys. Lett., 84 (2004) 440.
4. T. Tsutsui, M. Terai, Appl. Phys. Lett., 90 (2007) 083502.
5. Fawen Guo, Dongge Ma, Appl. Phys. Lett., 87 (2005) 173510.
6. Ping Chen, Wenfa Xie, Jiang Li, Tao Guan, Yu Duan, Yi Zhao, Shiyong Liu, Chunsheng Ma, Liying Zhang, Bin Li, Appl. Phys. Lett., 91 (2007) 023505.
7. P. S. Vincentt, W. A. Barlow, R. A. Hann, G. G.Roberts, Thin Solid Film, 94 (1982) 171.

8. R. H. Partridge, *Polymer*, 24 (1983) 748.
9. C. W. Tang, S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, 51 (1987) 913.
10. T. Chiba, Y. J. Pu, R. Miyazaki, K. Nakayama, H. Sasabe, J. Kido, *Organic Electronics*, 12 (2011) 710.
11. T. H. Kwak, S. H. Ju, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 47 (2014) 104.
12. M. Liu, P. Chen, Q. Xue, F. Jianga, G. Xie, J. Hou, Y. Zhao, L. Zhang, B. Li, *Microelectronics Journal*, 39 (2008) 1622.
13. C. H. Chang, Z. J. Wu, Y. H. Liang, Y. S. Chang, C. H. Chiu, C. W. Tai, H. H. Chang, *Thin Solid Films*, 548 (2013) 389.
14. T. Chib, Y. Pu, R. Miyazaki, K. Nakayam, H. Sasabe, J. Kido, *Organic Electronics*, 12 (2011) 710.
15. Peng, H., Sun, J., Zhu, X., Yu, X., Wong, M., and Kwok, H.-S., *Appl. Phys. Lett.*, 88 (2006) 073517.
16. Wu, C. C., Hsieh, P. Y., Lin, C. L., and Chiang, H. H., *Appl. Phys. Lett.*, 84 (2004) 3966.
17. Chang, C.-H., Cheng, H.-C., Lu, Y.-J., Tien, K.-C., Lin, H.-W., Lin, C.-L., Yang, C.-J., and Wu, C.-C., *Org. Electron.*, 11 (2010) 247.