

&lt;연구논문&gt;

한국표면공학회지  
J. Kor. Inst. Surf. Eng.  
Vol. 46, No. 2, 2013.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2013.46.2.093>

## Micro Lens Array Film을 이용한 백색 OLED의 발광 특성

천현동, 나현석, 양재웅, 주성후\*

대진대학교 신소재공학과

### Emission Characteristics of White Organic Light-Emitting Diodes Using Micro Lens Array Film

Hyun-Dong Chun, Hyunseok Na, Jae-Woong Yang, Sung-Hoo Ju\*

Department of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, Pocheon 487-711, Korea

(Received April 16, 2013 ; revised April 26, 2013 ; accepted April 29, 2013)

#### Abstract

We studied the emission characteristics of white phosphorescent organic light-emitting diodes (PHOLEDs), which were fabricated using a two-wavelength method. To optimize emission characteristics of white PHOLEDs, white PHOLEDs with co-doping and blue/co-doping emitting layer (EML) structures were fabricated using a host-dopant system. The total thickness of light-emitting layer was 25 nm and the dopant of blue and red was FIrpic and Bt<sub>2</sub>Ir(acac) in UGH3, respectively. In case of co-doping structure, applying micro lens array film showed efficiency improvement from the current efficiency 78.5 cd/A and power efficiency 40.4 lm/W to the current efficiency 131.1 cd/A and power efficiency 65 lm/W and blue / co-doping structure showed efficiency improvement from the current efficiency 43.8 cd/A and power efficiency 22 lm/W to the current efficiency 69 cd/A and power efficiency 32 lm/W.

*Keywords:* OLED, White, MLA, Efficiency, Spectrum

## 1. 서 론

1987년 C. W. Tang에 의해 다층 막 구조를 이용한 유기전계발광소자(Organic Light Emitting Diode: OLED)의 고효율 특성이 보고된 이후, OLED는 디스플레이로 적용되기 위한 본격적인 검토가 시작되었다<sup>1)</sup>. OLED는 자체 발광 소자로서 천연색 디스플레이, 액정디스플레이(Liquid Crystal Display: LCD)의 배면광, 조명 등에 사용 가능한 높은 잠재력을 가지고 있어 각광을 받으며 많은 연구가 진행되었고<sup>2)</sup>, 기판으로 유리 및 플라스틱 등의 다양한 기판을 적용할 수 있어 어떠한 형태로도 제작이 가능하여 다양한 용도와 다양한 형태의 조명으로 사용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 상용화를 위

해서는 발광효율, 소자의 수명 및 양산기술 등의 문제점들을 개선해야 하는 상황이다<sup>3-6)</sup>. OLED 소자의 효율을 개선하는 방법 중 한 가지는 인광 형광체를 사용하는 것인데, 인광 OLED는 삼중항과 일중항을 모두 발광에 사용하여 높은 효율을 얻을 수 있다<sup>7,8)</sup>. 또 다른 방법으로 내부에서 일어나는 발광을 외부로 추출하는 추출률을 증가시키는 것이다. 일반적인 OLED의 경우 발광층에서 높은 효율의 빛이 발생하여도 이론적으로 내부 발광의 약 20%만이 외부로 추출된다<sup>9)</sup>. 이는 공기층과 유리 기판 사이의 굴절률 차이에 의해 전반사가 이루어지기 때문에 효율 향상을 위해서 미세렌즈배열(Micro Lens Array: MLA) 필름을 사용하여 유리기판과 공기와의 경계면에서 발생하는 전반사를 줄여 유리 기판 외부로 광 추출 효율을 증가시킬 수 있다<sup>10)</sup>.

본 연구에서는 백색 발광 색순도를 개선하고 MLA

\*Corresponding author. E-mail : sunghooju@daejin.ac.kr

필름을 적용한 발광 효율을 향상하기 위하여 적색 발광과 청색 발광을 나타내는 2파장 방식의 백색 발광 OLED를 제작하였다. 백색 발광 OLED는 적색과 청색 인광 활성제를 동시에 증착하는 co-doping 백색 인광 OLED와 청색 발광층을 먼저 형성하고 co-doping 발광층을 형성하는 2층 구조의 백색 인광 OLED, 각각의 백색 발광 OLED에 MLA 필름을 부착한 OLED를 제작하고, 제작된 백색 인광 OLED의 발광 특성을 조사하기 위하여 전압-전류-발광휘도를 측정하였고, 색순도와 발광파장을 측정하기 위하여 CIE(Commission Internationale de l'Eclairage) 색좌표와 발광스펙트럼을 측정하였다.

## 2. 실험 방법

OLED 제작을 위하여 면저항  $8.5 \Omega/\square$ 의 ITO와  $0.83 \Omega/\square$ 의 Cr이 증착된  $150 \times 150 \text{ mm}$  크기의 유리 기판을 사용하여 발광면의 크기가  $100 \times 19.5 \text{ mm}$  가 되도록 제작하였다. OLED 제작을 위한 유기물 및 금속 박막은  $1.0 \times 10^{-6} \text{ torr}$  이하의 고진공에서 열 기상증착법으로 증착하였다. OLED의 정공수송층으로는 NPB [N,N'-bis-(1-naphyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine] 30 nm, TCTA [4,4',4"-Tri(N-carbazolyl) triphenylamine] 10 nm와 mCP [1,3-bis(9-carbazolyl) benzene] 7.5 nm를 증착하였다. 발광층으로는 발광모체인 UGH3 [m-bis-(triphenyl silyl) benzene]에 청색 인광물질로 FIrpic [iridium (III)bis{(4,6-di-fluorophenyl)-pyridinato-}picolinate]]과 적색 인광물질로  $\text{Bt}_2\text{Ir(acac)}$  [bis(2-phenyl benxothiozolato-N,C2) iridium(III) (acetyl acetate)]를 동시증착방법에 의하여 첨가한 OLED 소자와 UGH3에 FIrpic을 첨가한 5 nm 두께의 청색 발광층을 먼저 형성하고 이후 UGH3에 FIrpic과  $\text{Bt}_2\text{Ir(acac)}$ 을 동시에 증착한 2층 구조의 발광층을 가지도록 제작한 2가지 구조의 백색발광 OLED 소자를 제작하였다. 이때 발광층의 총 두께는 25 nm로 하였다. 전자수송층으로는 BPhen(4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline)을 50 nm 증착하였다. 정공수송층, 발광층 및 전자수송층 형성을 위한 유기막의 증착률은  $0.15 \text{ nm/sec}$ 로 유지하였다. 완충층으로는 LiF를 0.5 nm, 음극전극으로는 Al을 200 nm 증착하여 OLED를 제작하였다.

그림 1은 2가지 구조로 제작한 백색발광 OLED를 나타낸 것이다. Device A는 발광모체인 UGH3에 적색 인광활성제인  $\text{Bt}_2\text{Ir(acac)}$ 와 청색 인광활성제인 FIrpic을 동시에 증착하여 제작한 백색발광

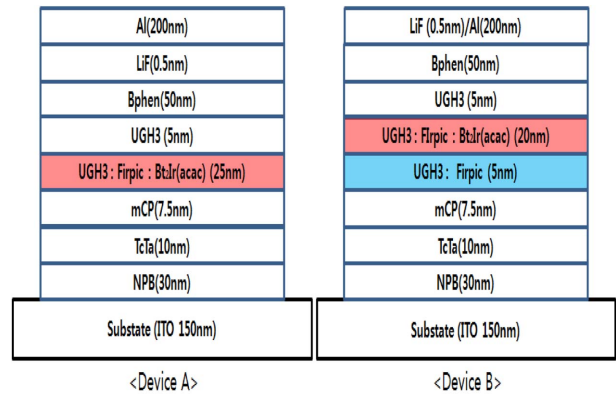


Fig. 1. Structure of white OLED with co-doping and blue/co-doping EML structures.

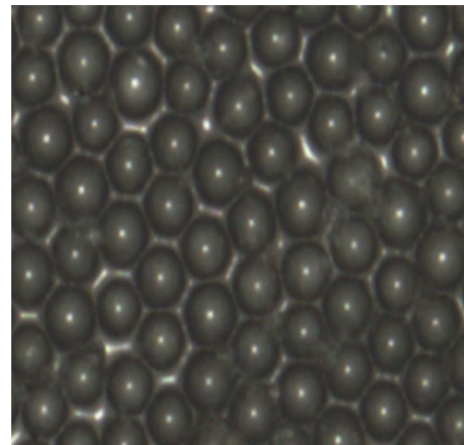


Fig. 2. MLA film with an optical microscope magnified 50 times.

OLED이고, Device B는 발광모체인 UGH3에 청색 인광활성제인 FIrpic을 첨가한 5 nm 두께의 발광층을 먼저 증착하고 20 nm 두께의 형광모체인 UGH3에 적색 인광활성제인  $\text{Bt}_2\text{Ir(acac)}$ 와 청색 인광활성제인 FIrpic을 동시에 증착하여 제작한 백색발광 OLED이다.

그림 2는 그림 1의 백색발광 OLED 위에 적용한 MLA 필름을 광학 현미경으로 50배 확대한 사진이다. 사진에서 보여주는 것과 같이 MLA 필름에는  $50 \mu\text{m}$  정도의 크기를 가지는 패턴이 들어가 있고, 이 패턴들로 인하여 유리 기판에서 방출되는 광의 세기를 증가시킬 수 있다.

제작된 OLED의 특성 측정을 위하여 OLED를 측정용 지그에 장착하고 소스미터(Keithley Instruments, Keithley 2400)를 사용하여 전압과 전류를 인가하였고, Spectrascan(Photo Research, PR-650)을 사용하여 발광휘도, 발광스펙트럼 및 CIE 색좌표를 측정하였으며, 이 결과로부터 발광효율을 계산하였다.

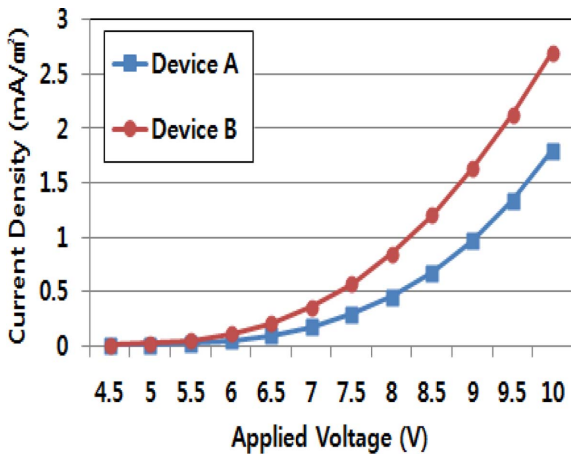


Fig. 3. Current density vs. applied voltage characteristics of co-doping and blue/co-doping emitting layer.

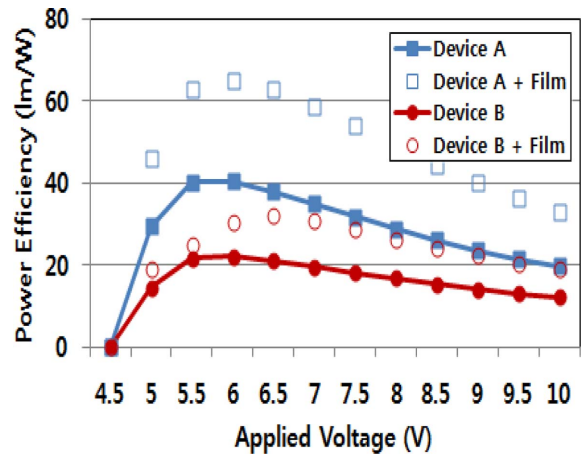


Fig. 5. Power efficiency vs. applied voltage characteristics of co-doping and blue/co-doping emitting layer with MLA film.

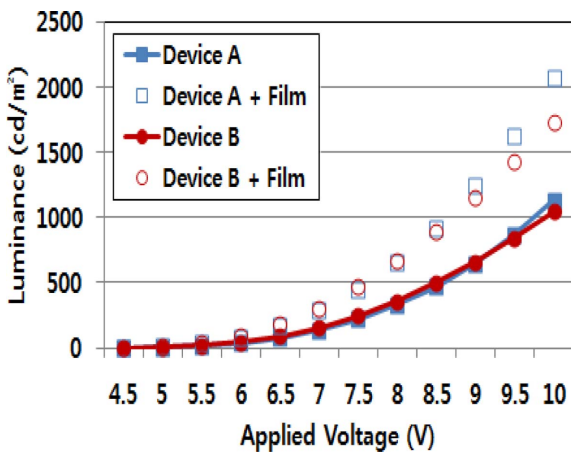


Fig. 4. Luminance vs. applied voltage characteristics of co-doping and blue/co-doping emitting layer with MLA film.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 그림 1의 2가지 구조로 제작한 백색발광 OLED의 인가전압에 대한 전류밀도를 나타낸 것이다. 2가지 구조의 백색발광 OLED에서 전류밀도는 인가전압이 증가함에 따라서 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다. 발광층의 구조에 따른 백색발광 OLED인 Device A와 Device B의 인가전압 10 V에서의 전류밀도는 1.8 mA/cm<sup>2</sup>와 2.7 mA/cm<sup>2</sup>로 Device B의 경우에 보다 많은 전류가 흐르고 있음을 알 수 있었다.

그림 4는 2가지 구조로 제작한 백색발광 OLED와 그 위에 MLA 필름을 적용하여 제작한 백색발광 OLED의 인가전압에 대한 발광휘도를 나타낸 것이다. 인가전압에 대한 발광휘도는 그림 3의 인가전압에 대한 전류밀도와 유사하게 인가전압이 증가함에 따라 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

Device A + Film은 Device A의 빛이 방출되는 유리면위에 MLA 필름을 부착한 OLED이며, Device B + Film은 Device B의 빛이 방출되는 유리면위에 MLA 필름을 부착한 OLED이다. 발광층의 구조에 따른 백색발광 OLED인 Device A와 Device B의 인가전압 10 V에서의 발광휘도는 1,132 cd/m<sup>2</sup>와 1,046 cd/m<sup>2</sup>를 나타내었고, 그 위에 MLA 필름을 적용한 Device A + Film과 Device B + Film의 인가전압 10 V에서의 발광휘도는 2,074 cd/m<sup>2</sup>와 1,737 cd/m<sup>2</sup>로 휘도가 향상되었다. 적색발광 활성제와 청색발광 활성제를 동시에 증착하여 제작한 Device A와 청색 발광층과 적색발광 활성제와 청색발광 활성제를 동시에 증착한 층을 적층하여 제작한 Device B를 비교하면 그림 1의 전류밀도와는 다르게 청색활성제와 적색활성제를 동시에 증착하여 제작한 Device A가 Device B 보다 높은 발광휘도를 나타내었다. Device B의 경우는 발광효율이 낮은 청색발광영역에서 운반자의 소모가 증가하게 되어 전류밀도는 높으나 발광휘도는 낮은 결과를 나타내고, Device A의 경우는 주입된 운반자들이 발광층에서 재결합이 많이 일어나 높은 발광휘도를 나타낸 결과로 해석할 수 있다.

그림 5는 Device A, Device A + Film, Device B, Device B + Film 구조로 제작된 백색발광 OLED의 인가전압에 대한 전력발광효율을 나타낸 것이다. 전력발광효율은 모든 경우에 인가전압이 증가함에 따라 초기에 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 발광층의 구조에 따른 Device A와 Device B의 최대 전력발광효율은 40.4 lm/W와 22 lm/W를 나타내었고, 그 위에 MLA 필름을 부착한 Device A + Film과 Device B + Film의 최대 전

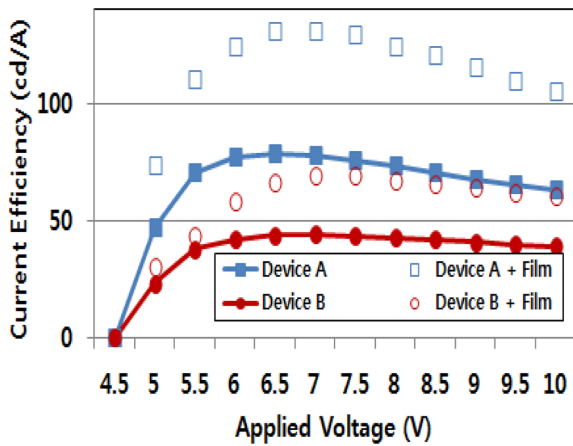


Fig. 6. Current efficiency vs. applied voltage characteristics of co-doping and blue/co-doping emitting layer with MLA film.

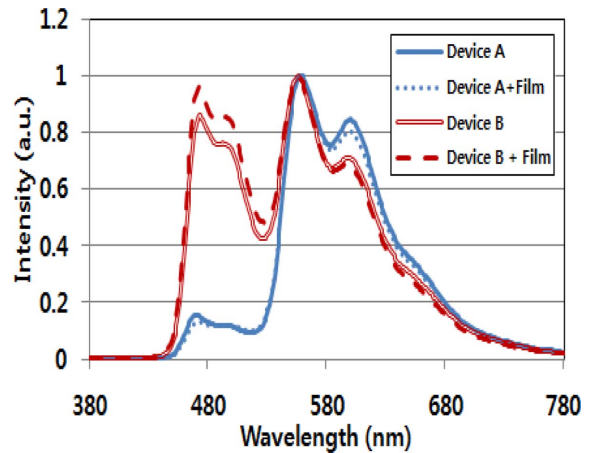


Fig. 7. Emission spectra of co-doping and blue/co-doping emitting layer with MLA film.

력발광효율은 65 lm/W와 32 lm/W로 MLA 필름의 부착에 의하여 전력발광효율이 향상되었다. 두 개의 발광층을 적층하는 경우보다는 한 개의 발광층에 청색발광 활성제와 적색발광 활성제를 동시에 첨가한 백색발광 OLED인 Device A가 우수한 전력발광효율을 나타내었다. 또한 MLA의 부착에 의하여 전력발광효율이 크게 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

그림 6은 Device A, Device A + Film, Device B, Device B + Film 구조로 제작된 인가전압에 대한 전류발광효율을 나타낸 것이다. 전류발광효율도 전력발광효율과 유사하게 인가전압이 증가함에 따라 초기에 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 발광층의 구조에 따른 Device A와 Device B의 최대 전류발광효율은 78.5 cd/A와 43.8 cd/A를 나타내었고, 그 위에 MLA 필름을 적용한 Device A + Film과 Device B + Film의 최대 전류발광효율은 131.1 cd/A와 69 cd/A로 최대 전류발광효율이 향상되었다. 두 개의 발광층을 적층하는 경우보다는 한 개의 발광층에 청색발광 활성제와 적색발광 활성제를 동시에 첨가한 백색발광 OLED인 Device A가 우수한 전류발광효율을 나타내었고, 그 위에 필름을 부착한 Device A + Film의 경우 전류발광효율이 크게 향상된 결과를 나타내었다.

그림 7은 Device A, Device A + Film, Device B, Device B + Film 구조로 제작한 백색발광 OLED의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 한 개의 발광층에 적색 인광활성제와 청색 인광활성제를 동시에 증착한 Device A와 청색 발광층을 먼저 형성하고 동시에 증착에 의하여 2층 구조로 발광층을 형성한 Device B를 비교하면 Device A에서는 적색 발광이 청색 발광보다 매우 강하게 나타나고 있음을 알 수 있고,

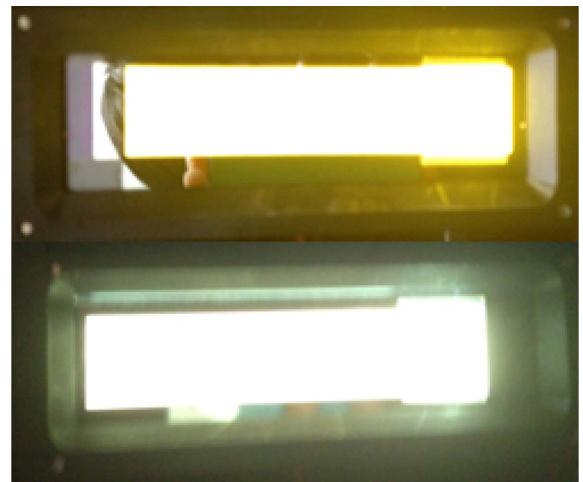


Fig. 8. Pictures of white emitting OLED with MLA film.

Device B에서는 청색발광도 적색발광과 함께 발광이 되고 있음을 알 수 있다. Device B에서 청색발광의 빛이 나타나는 것은 5 nm 두께로 형성된 청색 발광층이 발광에 기여하여 나타난 현상으로 설명되어진다. MLA 필름을 부착한 Device A + Film의 스펙트럼과 Device A의 스펙트럼을 비교하면 적색영역의 발광이 미소하게 감소하고 있고, Device B + Film과 Device B의 스펙트럼에서는 적색영역의 미소한 감소와 청색영역의 발광이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 MLA 필름에 의하여 발광 파장에 따라 광추출 효율이 동일하지는 않고 적색영역보다는 청색영역에서 광 추출이 보다 더 잘 일어나 나타나는 결과로 해석된다.

그림 8은 Device A와 Device B의 2가지 구조로 제작한 백색발광 OLED와 Device A와 Device B의 오른쪽에 MLA 필름을 부착하여 발광하는 것을 나타낸 사진이다. 발광소자의 사진에서 2가지 구조에 따라 발광색이 변화되었고, 오른쪽에 MLA 필름을

Table 1. Properties of co-doping and blue/co-doping emitting layer with MLA film

Device	J (mA/cm <sup>2</sup> )	Luminance (cd/m <sup>2</sup> )	Efficiency (cd/A)	Efficiency (lm/W)	CIE x	CIE y
Device A	1.8	1,132	78.5	40.4	0.503	0.476
Device A + Film	-	2,074	131.1	65	0.495	0.480
Device B	2.7	1,046	43.8	22	0.413	0.458
Device B + Film	-	1,737	69	32	0.401	0.459

부착함에 의하여 발광의 세기가 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

표 1은 Device A, Device A + Film, Device B, Device B + Film 구조로 제작된 백색발광 OLED의 인가전압 10 V에서의 전류밀도, 발광휘도와 함께 최대 전류발광효율, 최대 전력발광효율, CIE 색 좌표를 나타낸 것이다. 표 1에 나타낸 것과 같이 Device A + Film인 경우에 인가전압 10 V에서의 발광휘도가 가장 높게 나타나고, 또한 최대 전류발광효율과 최대 전력발광효율도 가장 우수한 특성을 나타내었다. 그러나 Device A와 Device A + Film의 CIE 색 좌표를 보면 적색영역으로 이동된 백색발광을 나타내었다. Device B와 Device B + Film의 색 좌표를 Device A와 Device A + Film과 비교하면 백색을 보다 잘 나타내었으나 전력발광효율과 전류발광효율에서는 낮은 특성을 나타내었다. Device A와 Device B에 MLA 필름을 적용한 경우 Device A는 전류발광효율이 78.5 cd/A에서 131.1 cd/A로, 전력발광효율이 40.4 lm/W에서 65 lm/W로 향상되었고, Device B는 전류발광효율이 43.8 cd/A에서 69 cd/A로, 전력발광효율이 22 lm/W에서 32 lm/W로 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 CIE 색좌표에서 나타나는 청색발광이 많을수록 청색이 많이 추출되어 청색영역으로 이동하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

청색과 적색의 보색관계를 활용하여 적색과 청색의 동시증착과 청색층/동시증착층의 발광층을 갖는 백색 OLED를 제작하였다. 발광층으로 청색발광은 UGH3에 인광물질인 FIrpic을 첨가하여 사용하였고, 적색 발광은 UGH3에 인광 물질인 Bt<sub>2</sub>Ir(acac)를 첨가하였다.

청색과 적색 인광활성제의 동시 증착 구조에서 색

좌표를 보면 적색영역으로 이동된 백색 발광을 나타내었고, 개선된 백색을 얻기 위한 Device B는 청색 발광층을 사용하여 색순도의 개선은 이루었으나 발광효율이 감소된 결과를 나타내었다. Device A와 Device B의 백색발광 OLED에 MLA 필름을 적용한 경우 Device A의 경우 전류발광효율이 78.5 cd/A에서 131.1 cd/A로, 전력발광효율이 40.4 lm/W에서 65 lm/W로 향상되었고, Device B는 전류발광효율이 43.8 cd/A에서 69 cd/A로, 전력발광효율은 22 lm/W에서 32 lm/W로 향상되었다. 또한 CIE 색 좌표에서 청색발광이 많을수록 청색이 많이 추출되어 청색영역으로 이동하는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. C. W. Tang, S. V. Vanslyke, Appl. Phys. Lett., 51 (1987) 913.
2. J. Kido, M. Kimura, K. Nagai, Science, 267 (1995) 1332.
3. J. A. Lim, S. H. Ju, J. W. Yang, J. Kor. Inst Surf. Eng., 42 (2009) 287.
4. F. Jing, L. Feng, G. Wenbao, L. Shiyong, Appl. Phys. Lett., 78 (2001) 3947.
5. C. W. Ko, Y. T. Tao, Appl. Phys. Lett., 79 (2001) 4234.
6. T. Tsuboi, H. Murayama, S.-J. Yeh, C.-T. Chen, Opt. Mater., 29 (2007) 1299.
7. V. Sivasubramaniam, F. Brodkorb, S. Hanning, H. P. Loebel, V. van Elsbergen, H. Boerner, U. Scherf, M. Kreyenschmidt, J. Fluor. Chem., 130 (2009) 640.
8. J. H. Seo, Y. K. Kim, Y. Ha, Thin Solid Films, 517 (2009) 1807.
9. D. Z. Garbuzov, S. R. Forrest, Phys. Rev. Lett., 58 (1998) 3730.
10. H. Peng, Y. L. Ho, X. J. Yu, M. Wong, H. S. Kwok, J. Disp. Tech., 1 (2005) 278.