

청색 유기발광층 두께에 따른 2-파장 방식의 백색 유기발광 소자의 광학적 특성

Dependence of Blue Organic Emitter Layer Thickness to Optical Property of 2-wavelength White Organic Light-emitting Diodes

박찬준*, 조남인, 송영욱
(Chan-Jun Park, Nam-Ihn Cho, and Young-Wook Song)

Abstract : 2-wavelength type white OLED devices have been made consisted of two layers; a layer with blue light emitting DPVBi host and other EML layer with yellow emitting rubrene dopant. New method to get white emitting device has been suggested by varying thicknesses of the DPVBi layer. The ITO/2-TNATA(150 Å)/NPB(350 Å)/DPVBi(35 Å)/DPVBi:rubrene (2wt%,200 Å)/DPVBi(100 Å)/Alq₃(50 Å)/LiF(5 Å)/Al(1000 Å) structure has showed optimum results in CIE coordinates of (0.3233, 0.33). OLED devices with this structure has properties of 1.2cd/m² at turn-on voltage of 3.9V and 1037cd/m² at 7.9V. This structure has advantages of simple fabrication and easy to emit the white color.

Keywords : information display, organic emitting layer, 2-wavelength white OLED

I. 서론

차세대 디스플레이 제품의 핵심 부품인 유기발광 소자는 빛의 3원색인 R(red) G(green) B(blue)를 기본으로 하는 단색 유기발광 소자와 더불어 백색 유기발광 소자에 대한 연구 개발도 집중적으로 이루어지고 있으며 현재 full-color 유기발광 소자로 확장되고 있다. Full-color를 위한 RGB 화소 형성 방법으로는 RGB 3원색의 독립발광을 통한 개별화소 구동에 의한 RGB 분리 도포 방식, 청색발광과 색 변환 층에 의한 색 변환 방식, 백색 발광과 컬러 필터에 의한 컬러 필터 방식 등이 주로 연구되고 있다. 그 중 컬러 필터 방식은 디스플레이 이외의 광원으로서는 다양한 응용도 가능하여 많은 연구가 진행되고 있다[1,2].

컬러 필터 방식은 기존의 3원색을 혼합한 3-파장 방식과 황색과 청색을 혼합한 2-파장 방식이 있다[3]. 2-파장 방식은 3-파장 방식보다 색 간섭이 적고 제조 공정을 단순히 하여 제조 단가를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다. 본 실험에서는 청색 발광물질인 DPVBi와 적색계열의 도펀트 물질로 알려진 rubrene을 발광 층으로 사용하여 2-파장의 스펙트럼을 갖는 백색 발광 소자를 구현하였으며[4,5], DPVBi 두께에 따른 소자의 광학적 성질을 살펴봄으로써 2-파장의 정확한 조합을 이루어 순수한 백색을 구현하는 공정 기술을 알아보았다.

II. 소자의 제작 방법

2-파장 방식 백색 유기발광 소자의 기본 구조는 그림 1과 같이 ITO/2-TNATA(150 Å)/NPB(350 Å)/DPVBi(X Å)/DPVBi:

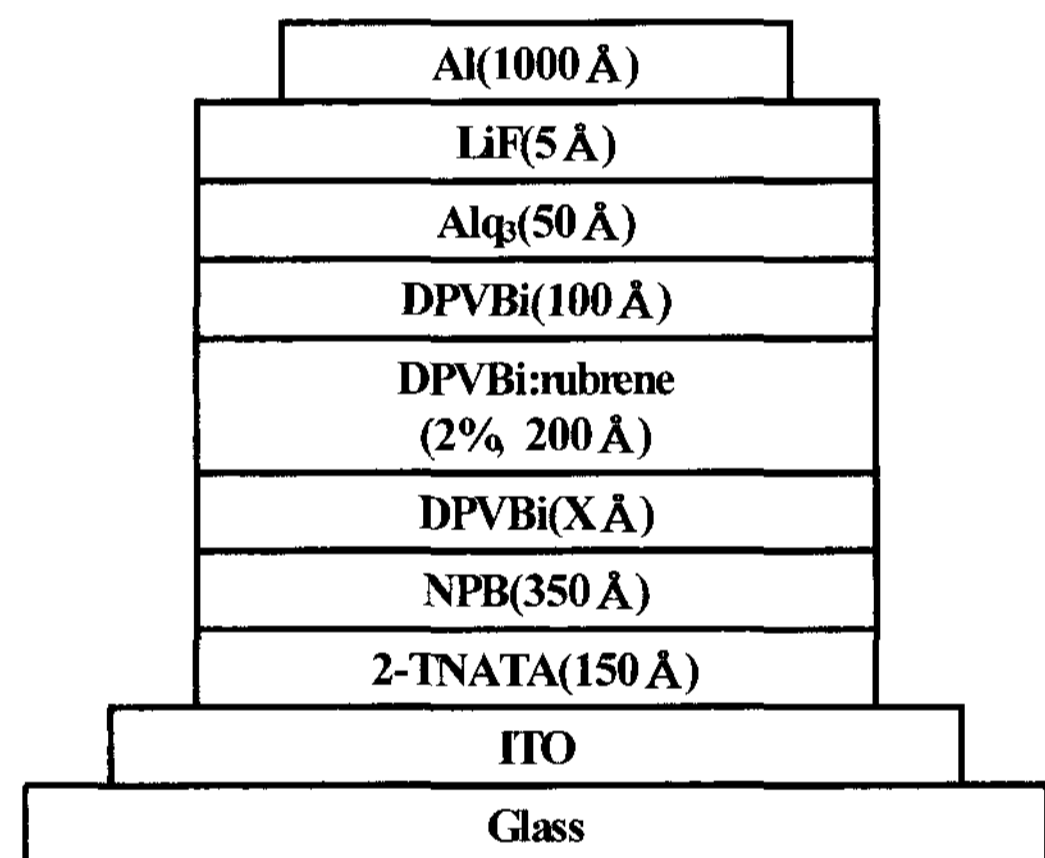


그림 1. 백색 유기발광 소자의 구조.
Fig. 1. Schematic configuration of white OLED.

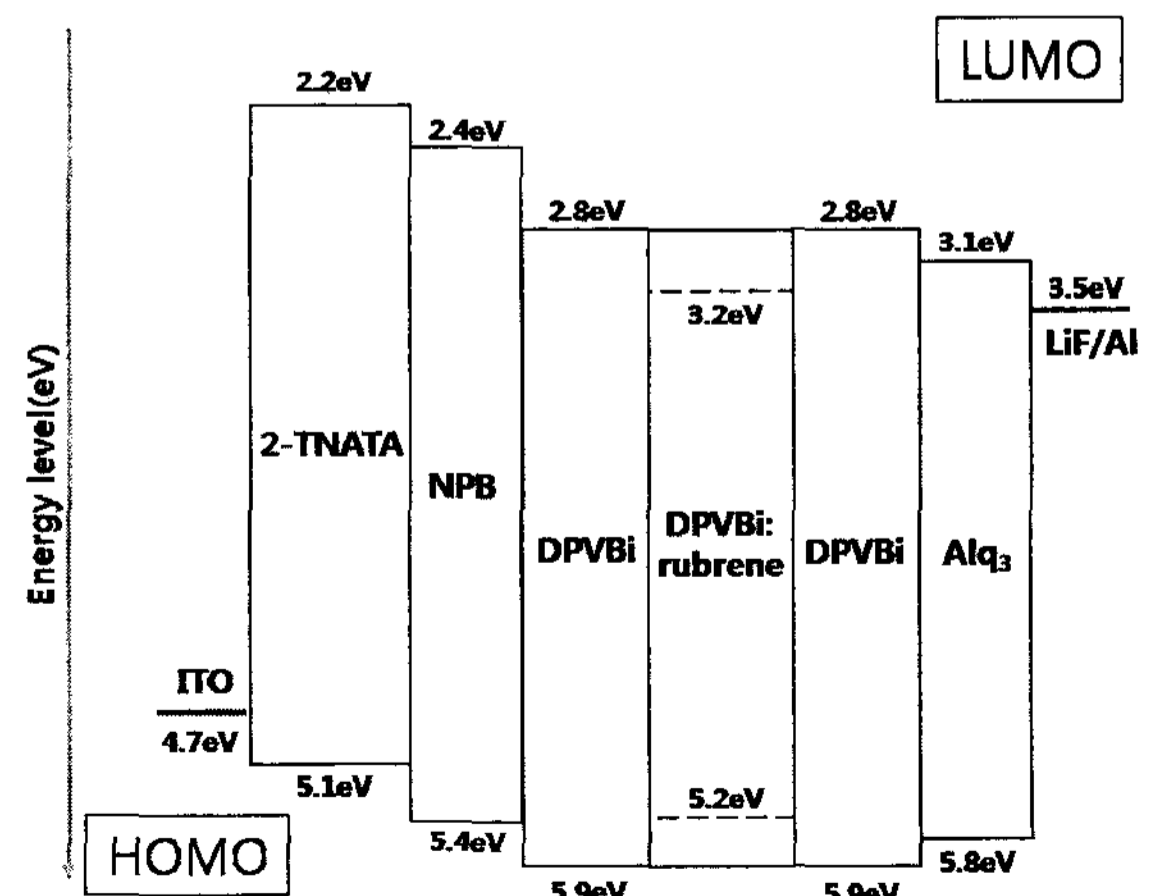


그림 2. 유기발광 소자의 에너지 대역도.
Fig. 2. Energy band diagram of white OLED.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

박찬준, 조남인, 송영욱 : 선문대학교 전자공학과

(zzana013@sunmoon.ac.kr/nicho@sunmoon.ac.kr/etewook@nate.com)

※ 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

표 1. DPVBi와 DPVBi:rubrene 층의 두께 변화에 따른 소자 분류.

Table 1. Devices depending on thicknesses of DPVBi and DPVBi:rubrene.

Device #	NPB thickness (Å)	DPVBi thickness (Å)	DPVBi:rubrene thickness (Å)	DPVBi thickness (Å)
1	350	500	0	0
2	350	0	500	0
3	350	100	200	100
4	350	50	200	100
5	350	35	200	100

rubrene(2wt%,200 Å)/DPVBi(100 Å)/Alq₃(50 Å)/LiF(5 Å)/Al(1000 Å)로 구성 되어있다.

면저항 1Ω/□이고 두께 1500Å의 Indium Tin Oxide(ITO)가 코팅된 0.7mm 두께의 유리 기판을 사용하였다. 유기발광소자에서 정공주입층(HIL)으로는 2-TNATA을, 정공수송층(HTL)으로는 NPB를 이용하며, 청색계열의 빛을 발하는 DPVBi 호스트(host)에 황색의 빛을 발하는 rubrene 도펀트(dopant)를 주입하여 발광층(EML)으로 사용하였다. 50 Å의 Alq₃는 전자수송층(ETL)의 역할을 하며, 전자주입층(EIL)으로는 얇게 증착한 LiF, 음극으로는 Al을 사용하였다. 이렇게 설계된 소자의 에너지 대역은 그림 2와 같이 표시될 수 있다.

ITO 표면의 평탄성 문제를 비롯해 유기발광 소자에 전극으로 적용하였을 때, 소자 특성의 향상을 위해 유기물을 진공 열 증착하기 전에 산소:아르곤(O₂:Ar) 플라즈마(plasma) 처리를 하였다[6]. 유기물질은 0.2-2.5 Å/s의 속도로 진공 증착하였고, LiF는 0.1 Å/s, Al은 1-5 Å/s의 증착속도로 진공 증착하였다. 유기물과 금속 증착은 모두 1×10⁻⁶ torr의 진공도에서 증착하였다. 완성된 유기발광 소자의 크기는 4×4 mm²이다. 소자의 제작에서 2-TNATA와 NPB를 각각 150 Å과 350 Å으로 고정하였으며, Alq₃와 LiF, Al을 각각 50 Å과 5 Å, 1000 Å로 고정하였다. 또한 rubrene의 도핑농도를 2wt%로 고정하였으며, 각각의 실험조건을 표 1에 나타내었다.

제작된 유기발광 소자의 I-V-L은 Keithley 2004 Source meter를 이용하여 측정하였다. 또한 Minolta CS1000과 CS100의 측정 장비를 이용하여 EL 스펙트럼과 휘도 및 색좌표 특성을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

DPVBi 단층발광 소자와 DPVBi에 rubrene을 2wt% 도핑한 발광층의 EL 스펙트럼을 알아보기 위해 device 1과 2를 제작하여 측정하였다. Device 1에서 DPVBi로부터 나온 444 nm의 청색의 강한 발광피크(peak)을 확인 할 수 있었고, device 2에서 rubrene으로부터 나온 558nm의 강한 발광피크와 DPVBi로부터 나온 약한 발광피크를 확인할 수 있었다. 그림 3은 device 1과 device 2의 소자에 대한 EL 스펙트럼이다.

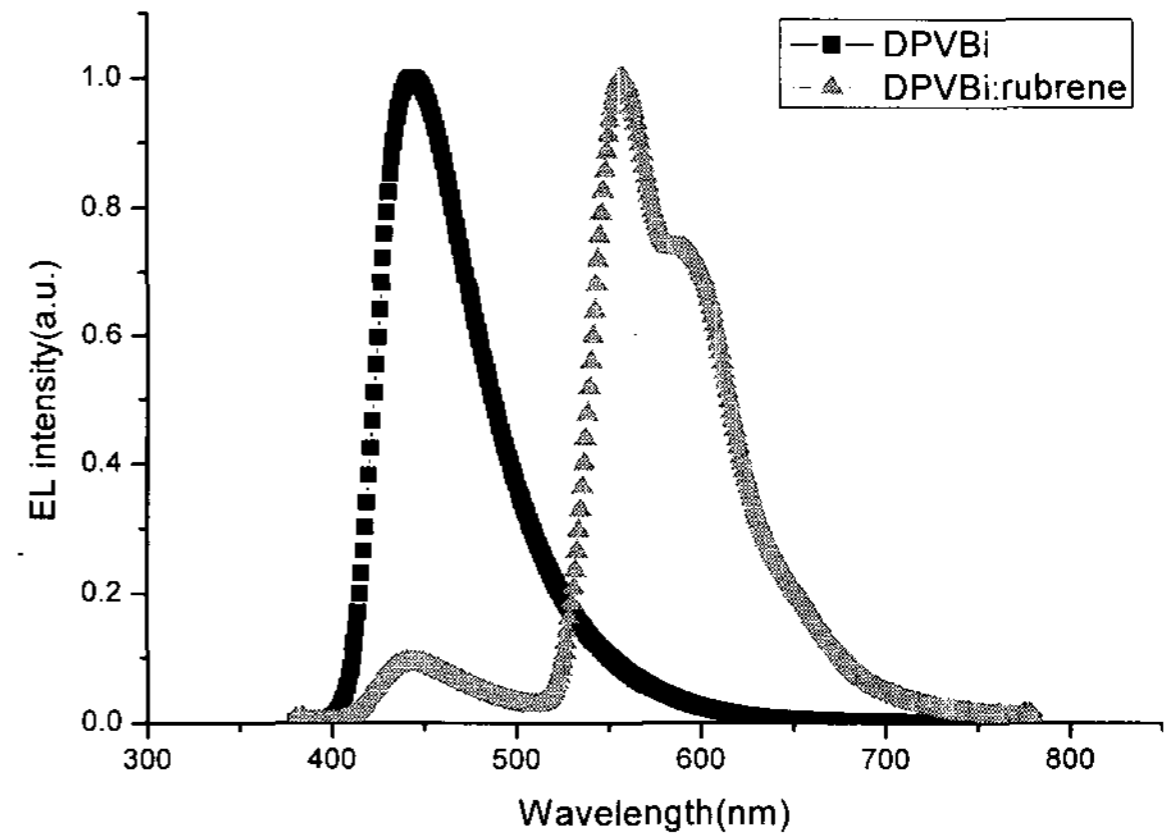


그림 3. Device 1과 2의 소자에 대한 EL 스펙트럼.

Fig. 3. EL spectrum of device 1 and 2.

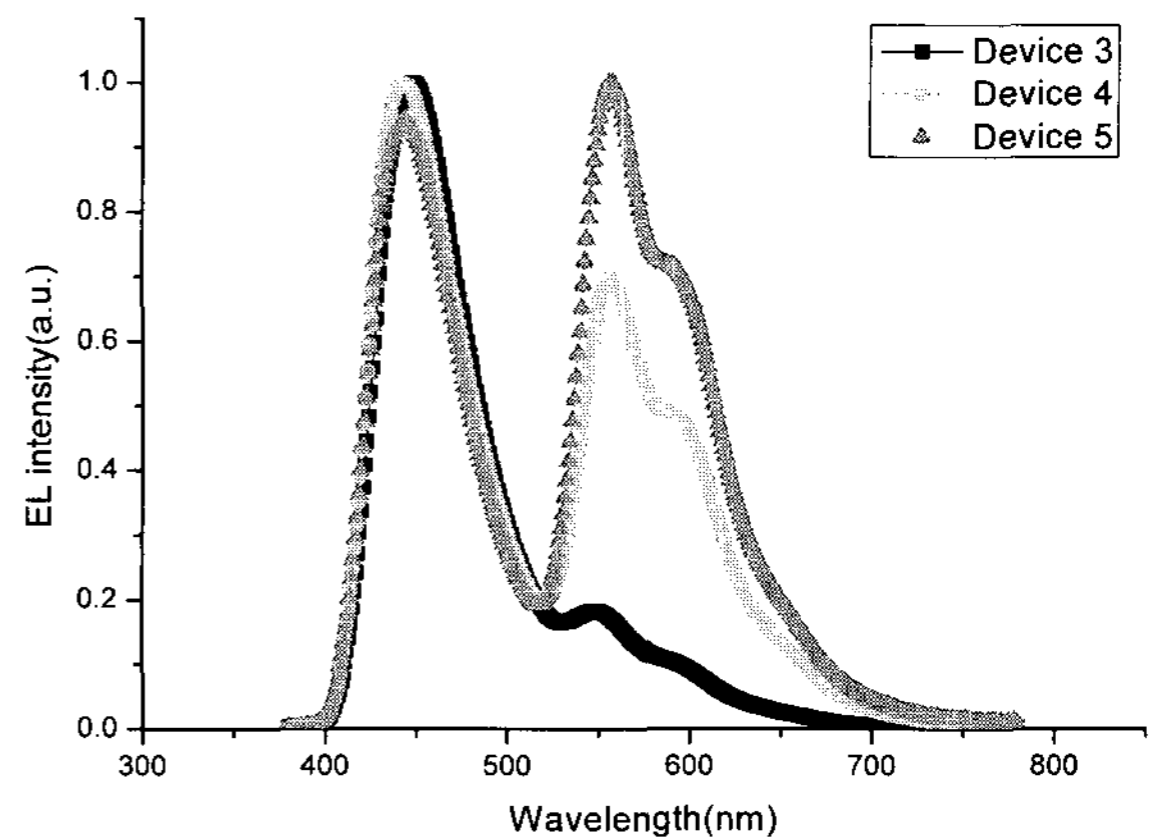


그림 4. DPVBi층의 두께 변화에 따른 EL 스펙트럼.

Fig. 4. EL spectra of OLED with varying thickness of DPVBi layer.

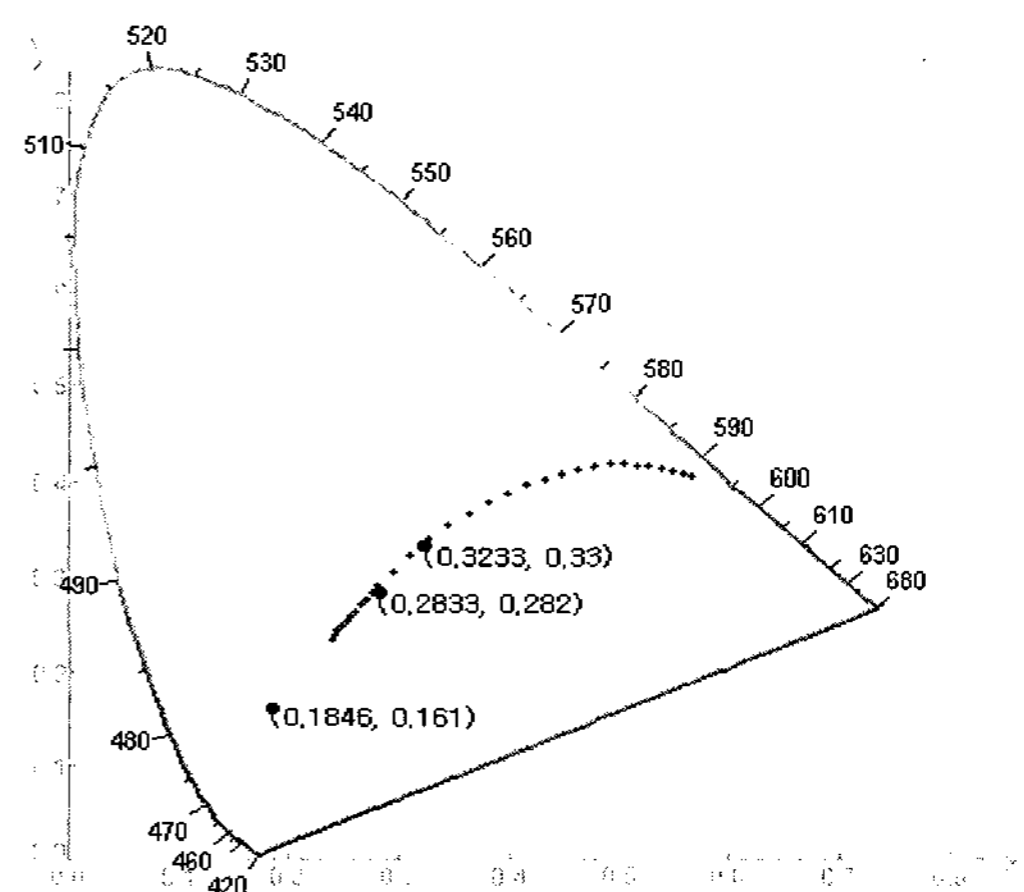


그림 5. DPVBi 층의 두께 변화에 따른 CIE 색좌표.

Fig. 5. CIE coordinates of OLED with varying thickness of DPVBi layer.

DPVBi:rubrene과 DPVBi 층의 두께를 각각 200 Å, 100 Å으로 고정하고 발광영역에 있는 DPVBi 층을 각각 100 Å, 50 Å, 35 Å으로 변화시켜 device 3, 4, 5를 제작 하였다. 그

림 4는 device 3, 4, 5의 각각의 휘도가 대략 1000cd/m²일 때의 EL 스펙트럼이다.

DPVBi 층의 두께가 100Å인 경우 Device 1과 비슷한 EL 스펙트럼을 보였다. 또한, 550nm의 약한 발광피크도 확인할 수 있었다. 이는 소자의 전자-정공의 재결합 위치가 NPB와 DPVBi의 경계부분으로부터 100Å이내에서 나타난 결과이며, 550nm의 약한 발광피크는 DPVBi와 rubrene의 도핑영역에서 약한 재결합을 이루어 나타난 결과로 사료된다. 백색 발광을 위해서는 DPVBi/DPVBi:rubrene의 계면에서의 발광 균형이 이루어져야하기 때문에 발광영역의 DPVBi 층의 두께를 50Å(Device 4)으로 줄여 실험하였다. 그 결과 CIE 색좌표(0.2833, 0.282)의 bluish-white 광을 얻었다. 이는 DPVBi로부터 나온 444nm의 발광피크와 Device 2의 발광피크보다 강하지는 않지만 약 0.7의 EL intensity의 rubrene로부터 나온 558nm의 발광피크가 나타나기 때문이다. DPVBi 층의 두께가 35Å(Device 5)일 때, 백색의 색좌표에 가장 가까운 (0.3233, 0.33)의 CIE 색좌표 값이 되었다. 그림 4에서 device 5의 색좌표를 보면 알 수 있듯이 DPVBi의 발광피크와 rubrene의 발광피크가 균형을 이루기 때문이다. 그림 5는 청색발광층 DPVBi의 두께 변화에 따른 CIE 색좌표 값이다.

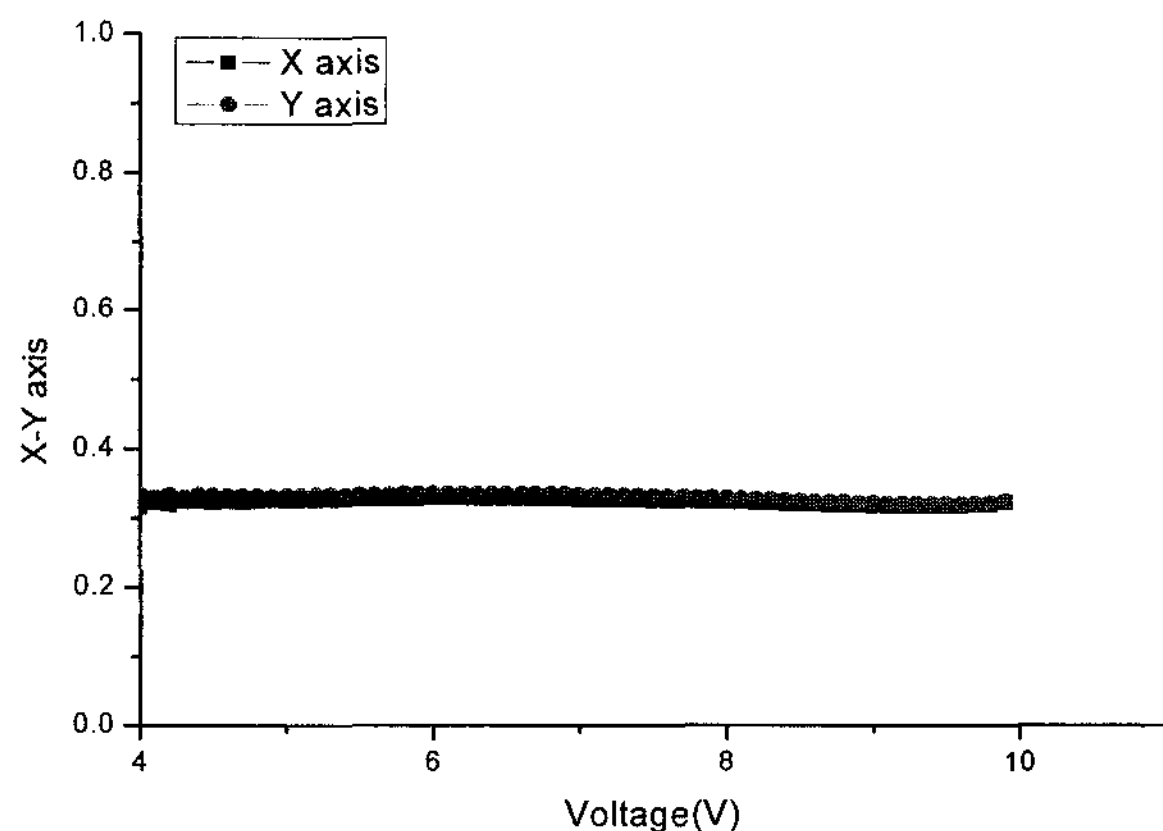


그림 6. 전압 변화에 따른 CIE 색좌표 변화(Device #5).

Fig. 6. CIE coordinates of OLED (Device #5) with varying applied voltage.

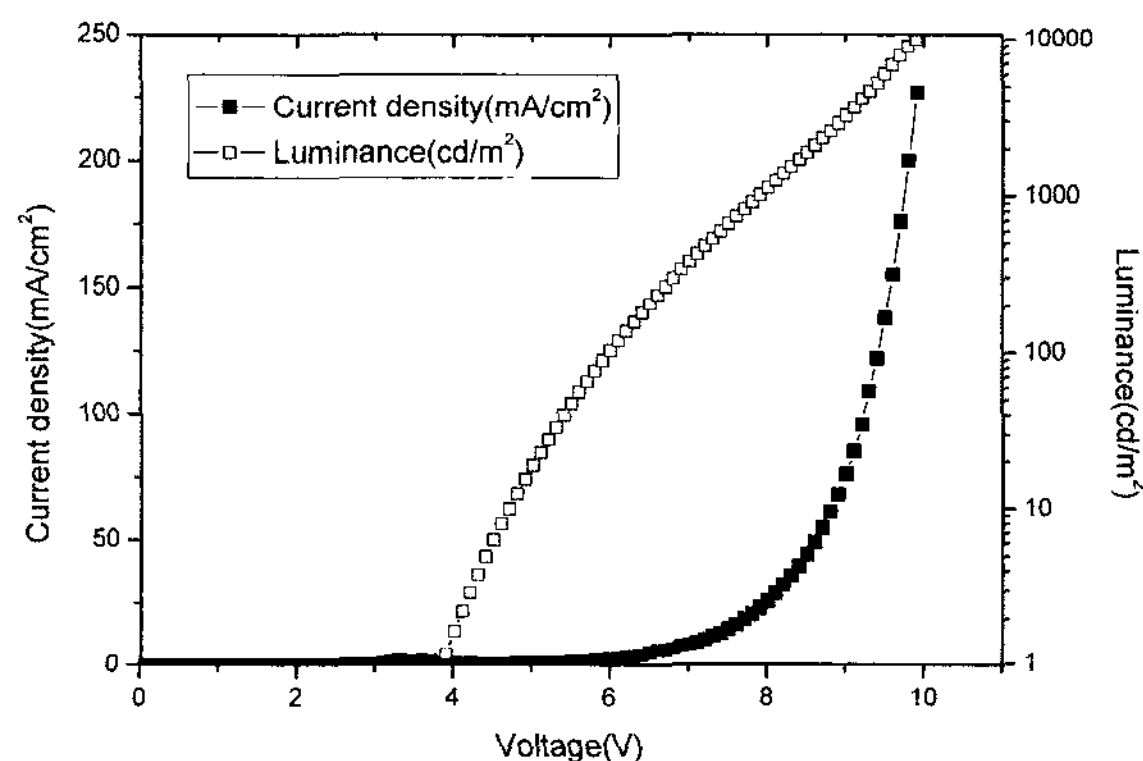


그림 7. 소자의 전류밀도-전압-휘도 특성(Device #5).

Fig. 7. Current density-voltage-luminance characteristics of OLED(Device #5).

다층의 발광층으로 부터 백색을 얻는 방법은 소자의 전기장의 변화에 따라 전자와 정공의 재결합 영역이 변하기 때문에 전류 혹은 전압의 변화에 따른 색좌표의 변화가 큰 단점을 가지는데, 이 소자의 경우 그림 6에서 알 수 있듯이 전압의 변화에 따라 색좌표 x, y 값 및 스펙트럼의 변화가 작아 안정적으로 백색을 구현할 수 있었다.

마지막으로 백색에 가장 가까웠던 device 5의 전기적 특성을 살펴보았다. 이 소자의 경우 turn-on은 3.9V에서 1.2 cd/m²이며, 인가전압이 7.9V에서 1037cd/m²의 휘도를 나타내고 있다. 또한, 최대 발광휘도와 전류효율은 9.9V에서 10090cd/m², 4.62cd/A로 각각 측정되었다. 그림 7은 device 5의 전류밀도-전압-휘도의 특성을 보여주고 있다.

IV. 결론

청색계열의 빛을 발하는 DPVBi 호스트(host)에 황색의 빛을 발하는 rubrene 도펀트(Dopant)를 주입하여 발광층(EML)으로 사용하여 2-파장 방식의 백색 유기발광 소자를 제작하였으며, 발광영역에 있는 것으로 판단되는 DPVBi 층의 두께 변화를 통하여 백색을 구현하는 방법을 제시하였다. 그 결과 ITO/2-TNATA(150Å)/NPB(350Å)/DPVBi(35Å)/DPVBi:rubrene(2wt%,200Å)/DPVBi(100Å)/Alq₃(50Å)/LiF(5Å)/Al(1000Å)의 구조가 (0.3233, 0.33)의 CIE 색좌표 값을 갖는 최적의 백색광을 얻었다. 그 이유는 소자에서의 전자-정공 재결합 위치가 DPVBi/DPVBi:rubrene의 계면에서 균형을 이루기 때문이다. 이 소자의 turn-on은 3.9V에서 1.2 cd/m²이며, 7.9V가 인가될 때 OLED의 구현에 적합한 1037 cd/m²의 휘도를 나타내고 있다. 최대 발광휘도는 9.9V에서 10090cd/m², 전류효율은 4.62cd/A로 측정되었다. 본 실험은 소자의 제조공정이 단순하다는 장점과 전기장의 변화에 안정적으로 백색을 구현하는 장점을 가지고 있다.

참고문헌

- [1] P. E. Burrows, G. Gu, V. Bulovic, Z. Shen, S. R. Forrest, and M. E. Thompson, "Achieving full-color organic light-emitting devices for lightweight, flat-panel displays," *IEEE Trans. Electron Devices* 44, 1188 (1997).
- [2] B. W. D'Andrade and S. R. Forrest, "White organic light-emitting devices for solid-state lighting," *Adv. Mat.* 16, 1585 (2004).
- [3] C. W. Ko and Y. T. Tao, "Bright white organic light-emitting diode," *Appl. Phys. Lett.* 79, 4234 (2001).
- [4] G. Li and J. Shinar, "Combinatorial fabrication and studies of bright white organic light-emitting devices based on emission from rubrene-doped 4,4'-bis(2,2'-diphenylvinyl)-1,1'-biphenyl," *Appl. Phys. Lett.*, 83, 5359 (2003).
- [5] 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.* 81,

1738 (2002).

- [6] M. Y. Ha and D. G. Moon, "Plasma treatment of indium tin oxide anodes in argon oxygen to improve the performance of organic light-emitting diodes," *Crystal Valley Conference & Exhibition 2007*, p. 7, 2007.



박 찬 준

2000년~2007년 선문대학교 전자공학과 학사. 2007년~현재 선문대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 유기발광소자 및 백색 유기발광소자 공정.



송 영 옥

2000년~2007년 선문대학교 전자공학과 학사. 2007년~현재 선문대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 유기발광소자 공정 및 박막 공정.

- [7] 오환술, 조재영, 최성진 "DPVBi/rubrene 구조를 사용한 2-파장 방식의 백색유기발광소자의 광학적·전기적 특성에 관한 연구," 한국전기전자재료학회, vol. 17, no. 2, p. 217, 2004.



조 남 인

1970년~1974년 서강대학교 전자공학학사. 1982년~1984년 텍사스주립대학교 전자공학석사. 1984년~1988년 텍사스주립대학교 전자공학박사. 최종학위 논문명 Investigation of excess noise in thin metal deposited on single crystal silicon.

현재 선문대학교 전자공학과 교수 및 충남디스플레이 R&D 클러스터사업단장.