

GDI 호스트-도펀트 형광체를 이용한 청색 OLED의 제작과 특성 평가

장지근[†] · 신세진 · 강의정 · 김희원 · 장호정 · 오명환 · 김영섭 · 이준영 · 공명선* · 이영관**

단국대학교 전자공학과
*단국대학교 화학과
**성균관대학교 화학공학과

Fabrication and Characterization of Blue OLED using GDI Host-Dopant Phosphors

Ji-Geun Jang[†], Se-Jin Shin, Eui-Jung Kang, Hee-Won Kim, Ho-Jung Chang, Myung-Hwan Oh,
Young-Seop Kim, Jun-Young Lee, Myoung-Seon Gong* and Young-kwan Lee**

Department of Electronics Engineering, Dankook University

*Department of Chemistry, Dankook University

**Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi, 440-746, Korea

(2006년 2월 14일 접수, 2006년 3월 27일 최종수정본 접수)

Abstract The blue emitting OLEDs using GDI host-dopant phosphors have been fabricated and characterized. In the device fabrication, 2-TNATA [4,4',4''-tris(2-naphthylphenyl-phenylamino)-triphenylamine] as a hole injection material and NPB [N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine] as a hole transport material were deposited on the ITO(indium thin oxide)/glass substrate by vacuum evaporation. And then, blue color emission layer was deposited using GDI602 as a host material and GDI691 as a dopant. Finally, small molecule OLEDs with structure of ITO/2-TNATA/NPB/GDI602:GDI691/Alq3/LiF/Al were obtained by in-situ deposition of Alq3, LiF and Al as the electron transport material, electron injection material and cathode, respectively. Blue OLEDs fabricated in our experiments showed the color coordinate of CIE(0.14, 0.16) and the maximum power efficiency of 1.1 lm/W at 11 V with the peak emission wavelength of 464 nm.

Key words Blue OLED, Luminance, CIE coordinate, Power efficiency, Peak emission wavelength.

1. 서 론

OLED(organic light emitting diode)는 유기물을 형광층으로 사용하며, 소자의 전기적 특성이 다이오드 특성과 유사하여 유기 발광다이오드라고 불리운다. OLED는 광시야각, 초고속 응답, 자체 발광 등의 장점 때문에 소형에서 대형에 이르기까지 동화상 표시매체로서 손색이 없으며, 소비전력이 작고, 경량·박형으로 제작할 수 있기 때문에 평판 디스플레이용으로 가장 적합한 소자이다.^{1,2)}

유기화합물에 의한 발광 연구는 1960년대에 알트라센의 발광현상 발견으로부터 시작되었으나, 1987년 미국 코닥사의 Tang이 적층형 저분자 박막을 이용하여 저전압 구동이 가능한 유기 EL 소자를 개발한 이후 본격적으로 시작되었다.³⁻⁵⁾

저분자 발광 재료를 이용한 OLED는 현재 상용화 단계에 있으며, 기존의 대표적인 평판 디스플레이(flat panel

display)인 LCD (liquid crystal display)와 PDP (plasma display panel)를 대체할 차세대 디스플레이 소자로 각광을 받고 있다. 저분자 OLED의 특성으로는 물질의 합성이 용이하며, 다층 박막 구조의 형태로 만들기가 쉽다는 점이다. 전류구동 소자인 유기 발광다이오드는 전극으로부터 발광층까지 다층 박막을 통해 전자와 정공의 주입과 이동, 그리고 발광층에서 엑시톤(exciton)의 형성과 재결합에 의하여 밴드 갭 에너지에 해당하는 고유의 빛을 발산한다. 다층 구조의 OLED에서 캐리어의 주입과 이동은 전극과 캐리어 수송 재료의 종류 및 이들 간의 계면상태에 따라 크게 영향을 받는다.^{6,7)} 또한 유기 형광물의 구성과 공정처리는 발광층에서 엑시톤의 형성과 재결합에 영향을 미친다. 따라서 고성능 OLED를 개발하기 위해서는 다층 구조에서 각각의 박막에 대한 적절한 재료의 선정과 공정 설계가 중요하며, 이층 박막들 사이의 계면 상태와 접착력을 개선시켜 소자의 전기·광학적 특성을 최적화하는 연구가 필요하다.^{8,9)} 나아가, 유기물은 산소나 습기의 노출로부터 쉽게 열화됨으로 상시간

[†]E-Mail : semicgk@dku.edu

수명의 높은 신뢰성을 갖추기 위해서는 유기 박막의 증착 단계에서부터 패키지가 완성되기까지 진공상태에서 in-situ 제작과 밀봉이 필요하다.¹⁰⁾

현 수준에서 OLED의 개발 성능을 색상별로 비교하면 청색과 적색의 경우가 녹색의 경우에 비해 휘도나 발광 효율이 많이 떨어진다.¹¹⁾ 유기 디스플레이를 풀 칼라로 대면적화하기 위해서는 청색과 적색 소자에 대한 성능 개선이 지속적으로 요구되며, 이를 위해 새로운 형광재료의 개발이나 공정 기술의 연구가 필요하다.

본 실험에서는 GDI602-GDI691의 형광 시스템을 이용하여 고성능 청색 OLED를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 소자 제작 과정에서는 음극분리 격벽을 갖는 ITO/glass 기판을 준비한 후, 기판을 고진공 시스템에 장착하고 in-situ 방식으로 ITO/2-TNATA/NPB/GDI602:GDI691/Alq3/LiF/Al 구조의 다층 박막을 증착하였다. 진공 증착이 끝난 소자는 대기로 나오기 전에 투습 및 투산소 방지를 위해 glove box로 옮겨져 봉지(encapsulation)된다. 제작된 소자의 특성 평가에서는 전류-전압 관계, 휘도, 전력 효율, CIE-색 좌표 및 발광 스펙트럼을 조사하였다.

2. 실험 방법

96×64 매트릭스 픽셀(pixel)의 패널을 설계하고 단위 픽셀의 면적을 240×240 μm²으로, 서브 픽셀의 발광면적을 205×45 μm²으로 나타내어 공정에 필요한 마스크를 제작하였다. 소자 제작 에서는 먼저 ITO(1500 Å)/glass 기판으로부터 ITO를 패터닝(patterning)하고 inter-insulator (SiO₂: 100Å)와 음극분리 격벽(photoresist: 4 μm)을 형성하여 유기 박막을 증착하기 위한 전단계를 준비하였다(Fig. 1). 이 후 패터닝된 기판을 Fig. 2의 진공 증착기에 장착하고 PT (plasma treatment)실에서 O₂와 Ar을 사용하여 플라즈마 처리하였다. 유기 박막을 증착하기 전에 플라즈마 처리는 기판 준비 과정에서 생긴 오염을 제거하고 ITO로부터 정공의 주입 장벽을 낮추기 위함이다. Fig. 2의 진공 증착기는 플라즈마 처리실, 유

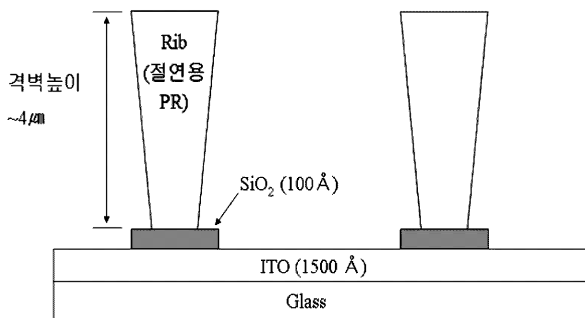


Fig. 1. ITO/glass substrate with cathode isolation ribs.

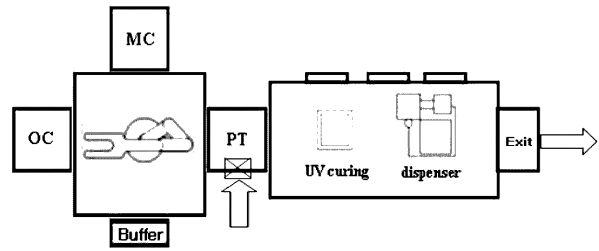


Fig. 2. OLED in-situ processing system.

기물 증착실(OC), 금속 증착실(MC), 봉지를 위한 glove 박스가 자동전달 장치에 의해 서로 연결될 수 있어 기판의 장착으로부터 봉지가 완성되기까지 시료를 대기중으로 꺼내지 않고 in-situ 처리가 가능한 시스템이다.

박막의 증착 과정에서는 시료를 고진공(5×10^{-8} Torr) 상태의 OC(organic chamber)로 옮기고, open 마스크를 사용하여 600Å 두께의 2-TNATA [4,4',4"-tris(2-naphthyl-phenyl-phenylamino)-triphenylamine] 정공 주입층(hole injection layer: HIL)과 200Å 두께의 NPB [N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine] 정공 수송층(hole transport layer: HTL)을 형성하였다. 다음으로 셀 마스크를 사용하여 GDI602의 호스트와 GDI691의 도펀트를 50:1의 비율로 co-evaporation하여 306Å 두께의 형광층을 형성하였다. 계속하여 전자 수송층(electron transport layer: ETL)으로 300Å 두께의 Alq3를 증착한 후, 시료를 MC (metal chamber)로 옮겨 최종적으로 LiF(10Å)/Al(1800Å)의 음극을 순차적으로 증착하였다.

봉지 과정에서는 시료를 glove box로 옮기고 디스펜스(dispenser)를 이용하여 UV 경화 방식으로 흡습제가 장착된 뚜껑 유리(encapsulation glass)를 봉합하였다. Fig. 3은

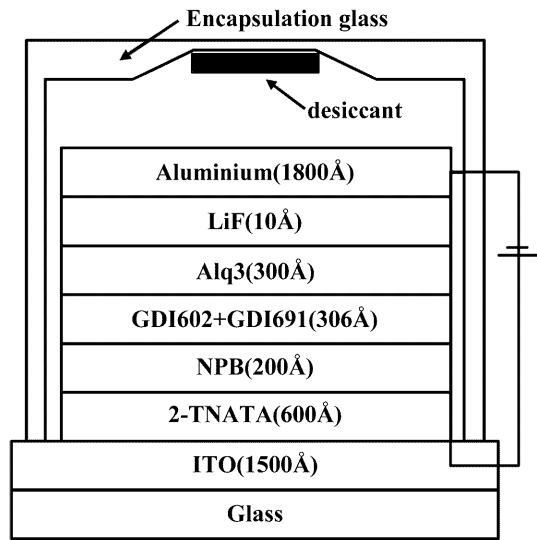


Fig. 3. Stacked layers of the fabricated device.

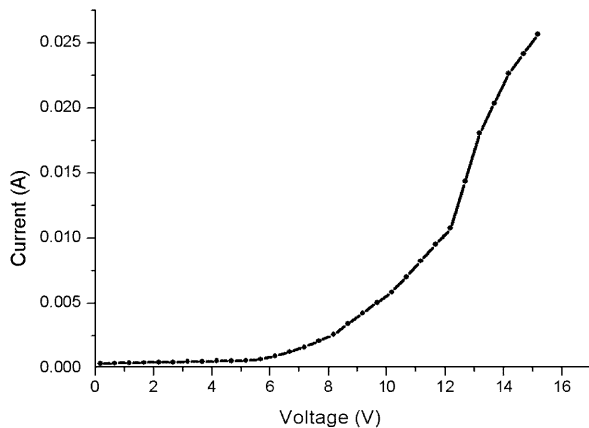
제작된 소자의 적층 구조를 보여주고 있다.

3. 결과 및 고찰

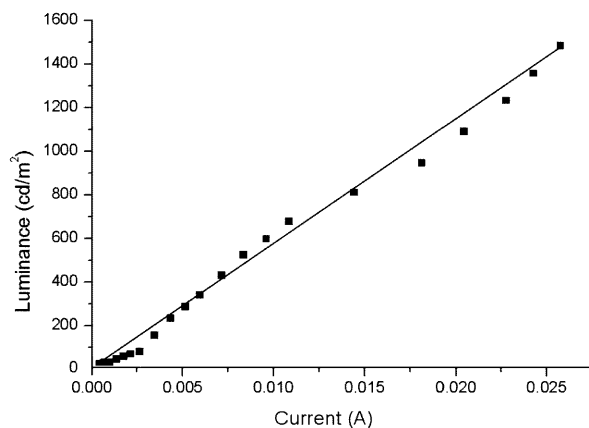
HP4145B 반도체 파라미터 측정기와 CS-1000 Spectro Radiometer를 이용하여 OLED 소자의 전기광학적 특성을 조사하였다.

Fig. 4는 제작된 소자의 전압에 따른 전류 및 휘도에 따른 전류 특성 곡선이다. OLED는 전류 구동소자이므로 기본적으로 전류-전압 특성 곡선은 휘도-전압 특성 곡선과 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 4a의 특성 곡선에서 턴-온(turn-on) 전압은 약 6 V로, Fig. 4b로부터 10 V 동작전압에서 전류와 휘도는 각각 5 mA와 350 cd/m²으로 나타났다. 또한 OLED가 전류구동 소자임으로 휘도-전류 특성은 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 15 V에서 휘도는 약 1,500 cd/m²까지 증가하였다. 실험에서 얻어진 휘도는 일반 모바일 디스플레이 제품에 응용하기에 충분한 특성이다. Fig. 5는

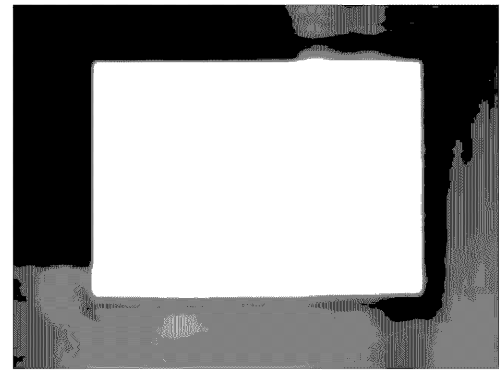


(a) current-voltage characteristics

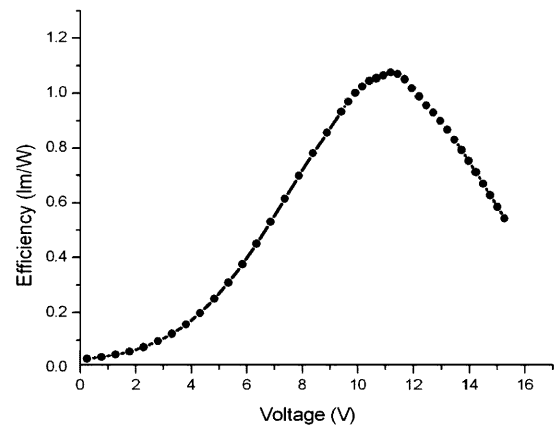


(b) luminance-current characteristics

Fig. 4. Current-voltage characteristics and luminance-current characteristics.



(a) blue emitting image



(b) power efficiency - voltage characteristics

Fig. 5. Blue emitting OLED image and power efficiency-voltage characteristics.

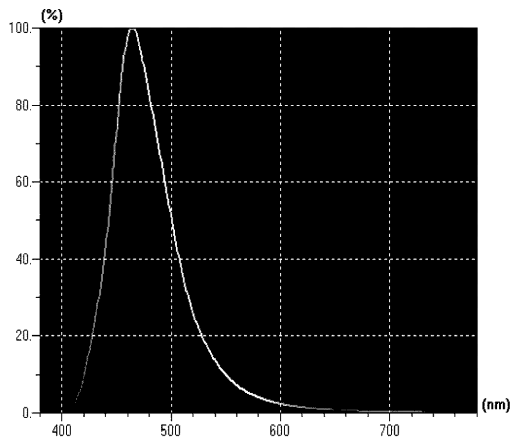
10 V에서 청색 발광되는 OLED의 사진과 구동 전압에 따른 전력효율 특성을 보여주고 있다.

OLED의 전력효율은 다음 식 (1)과 같이 표현되며,

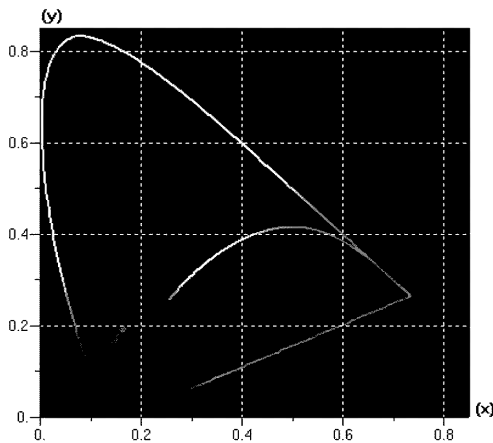
$$\eta = (\pi \times L) / (J \times V) \quad (1)$$

여기서, $J(\text{A}/\text{m}^2)$ 는 소자에 흐르는 전류밀도를, V 는 인가 전압을, 그리고 $L(\text{cd}/\text{m}^2)$ 은 발광 상태의 휘도를 나타내고 있다.¹²⁾ Fig. 5b는 전압에 따른 전류 및 휘도 특성으로부터 식 (1)을 이용하여 전력효율을 계산한 그래프이다. 이 그래프에서 최대 효율은 구동 전압이 11 V일 때 약 1.1 lm/W로 나타나고 있다.

Fig. 6은 10 V 동작 전압에서의 발광 스펙트럼과 CIE (Commission Internationale de l' Eclairage) 색 좌표 값을 보여주고 있다. Fig. 6에서 발광 스펙트럼 상의 중심 파장은 464 nm이며, FWHM (full width at half maximum)을 통한 발광 파장 범위는 약 440~500 nm로 나타나고 있다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x=0.14$, $y=0.16$ 로 나타났다으며, 제작된 소자의 발광 색은 NTSC 표준 녹색인



(a) emission spectrum



(b) CIE coordinate chart

Fig. 6. Emission spectrum and CIE coordinate chart.

CIE(0.14, 0.08)과 비교하여 다소 y -좌표가 위쪽으로 이동된 greenish blue를 나타내었다.

본 논문에서의 청색 OLED는 휘도와 색순도에서 수백 cd/m^2 밝기의 상업적 풀컬러 OLED 제작에 응용 가능할 정도로 우수한 특성을 보이고 있다. 또한 ITO/glass 기판으로부터 전처리 단계를 거쳐 각 박막과 패키지에 이르기까지 OLED의 구조 설계와 공정 기술이 자세히 설명되어 있어 관련 소자 개발에 중요한 자료가 될 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 ITO/glass 기판으로부터 음극분리 격벽을 형성하기까지 전처리 공정을 실시한 후 5×10^{-8} Torr 이하의 고진공 상태에서 in-situ 방식으로 ITO/2-TNATA/NPB/GDI 602:GDI691/Alq3/LiF/Al 구조의 청색 발광 OLED 소자를 제작하였다. 소자 설계에서는 96×64 패

트릭스 픽셀을 어레이하고 단위 픽셀의 면적을 $240 \times 240 \mu\text{m}^2$ 으로, 서브 픽셀의 발광면적을 $205 \times 45 \mu\text{m}^2$ 으로 나타내었다.

제작된 소자의 전류와 휘도 특성은 10 V 동작전압에서 각각 5 mA와 350cd/m^2 으로 나타났다. 또한 최대 효율은 구동 전압이 11 V 일 때 약 1.1lm/W 로 나타났다. 발광 스펙트럼은 464 nm의 중심 파장을 가지며, FWHM은 약 60 nm의 파장 범위를 나타내었다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x=0.14$, $y=0.16$ 로 나타났으며, 발광색은 NTSC 표준 청색과 비교하여 y -좌표가 약간 위쪽으로 이동된 연 청색을 나타내었다.

본 연구에서는 ITO/glass 기판으로부터 전처리 단계를 거쳐 각 박막 층의 형성과 패키지에 이르기까지 적절한 공정 설계가 이루어지고 in-situ process를 통한 신뢰성 있는 제조 기술을 확보함으로써, 고성능 청색 발광 OLED를 성공적으로 제작할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. D. C. Shin, Information Display, **5**(4), 13 (2005).
2. Junji Kido, Organic EL, Chungmunkag, **34** (2004).
3. C. W. Tang and S. A. Van Slyke, Appl. Phys. Lett., **51**, 913 (1987).
4. J. H. Burroughs, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burn and A. B. Holmes, Nature, **347**, 539 (1990).
5. M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., **75**, 4 (1999).
6. S. C. Gong, I. J. Back, J. H. Yoo, H. S. Lim, H. J. Chang and G. K. Chang, J. of the Microelectronics & Packaging Society, **12**(2), 155 (2005).
7. T. P. Nguyen and P. Destruel, Handbook of Luminescence, Display Materials, and Devices, Vol. 1-Organic Light Emitting Diodes, 90 (2003).
8. T. K. Hatwar, J. P. Spindler, M. L. Ricks, R. H. Young, L. Cosimbescu, W. J. Begley and S. A. Van Slyke, Asia Display /IMID '04 Digest, 816 (2004).
9. Hiroshi Kanno, Yuji Hamada, and Hisakazu Takahashi, IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, **10**(1), 30 (2004).
10. W. Y. Kim, Organic EL Device Process, Vacuum Research Association, **2**, 27 (2001).
11. Y. S. Choi and H. S. Ryu, The Magazine of the IEEK, **26**(2), 28 (1999).
12. J. W. Kang, Y. S. Kim, M. H. Oh, S. G. Lim, J. G. Jang, J. Jang, H. J. Chang and G. M. Heo, Information Display Engineering, Chungmunkag, 155 (2005).