

Alq₃-C545T 시스템을 이용한 고성능 녹색 유기발광다이오드의 제작과 특성 평가

장지근* · 김희원 · 신세진 · 강의정 · 안종명 · 임용규
단국대학교 전자공학과

Fabrication and Characterization of High Performance Green OLEDs using Alq₃-C545T Systems

Ji Geun Jang, Hee Won Kim, Se Jin Shin, Eui Jung Kang,
Jong Myong Ahn, and Yong Gyu Lim

Department of Electronics Engineering, Dankook University San 29, Anseo-dong,
Cheonan, Chungnam, 330-714, KOREA

초 록: Alq₃-C545T 형광 시스템을 이용하여 녹색 발광 고성능 OLED를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 소자 제작에서 ITO(Indium Tin Oxide)/glass 위에 정공 주입층으로 2-TNATA [4,4',4''-tris(2-naphthylphenyl-phenylamino)-triphenylamine]를, 정공수송층으로 NPB [N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine]를 진공 증착하였다. 녹색 발광층으로는 Alq₃를 호스트로, 545T [10-(2-benzothiazolyl)-1,1,7,7-tetramethyl-2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]-quinolizin-11-one]를 도펀트로 사용하였다. 또한, 전자 수송층으로는 Alq₃를 전자 주입층으로는 LiF를 사용하여 ITO/2-TNATA/NPB/Alq₃:C-545T/Alq₃/LiF/Al 구조의 저분자 OLED를 제작하였다. 본 실험에서 제작된 녹색 OLED는 521 nm의 중심 발광 파장을 가지며, CIE(0.29, 0.65)의 색순도, 그리고 12V의 동작전압에서 7.3 lm/W의 최대 전력효율을 나타내었다.

Abstract: The green emitting high performance OLEDs using the Alq₃-C545T fluorescent system 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, green color emission layer was deposited using Alq₃ as a host material and C-545T [10-(2-benzothiazolyl)-1,1,7,7-tetramethyl-2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]-quinolizin-11-one] as a dopant. Finally, small molecule OLEDs with structure of ITO/2-TNATA/NPB/Alq₃:C545T/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. Green OLEDs fabricated in our experiments showed the color coordinate of CIE(0.29, 0.65) and the maximum power efficiency of 7.3 lm/W at 12 V with the peak emission wavelength of 521 nm.

Keywords: CIE coordinate, Power efficiency, Peak emission wavelength, Alq₃, C-545T

*Corresponding author
E-mail: semicgk@dku.edu

1. 서 론

유기 발광다이오드(organic light emitting diode, OLED)는 형광 유기물을 전기적으로 여기시켜 발광시키는 디스플레이 소자로서 저전력 구동, 자체 발광, 넓은 시야각, 우수한 고해상도, 풀 칼라, 높은 재현성, 빠른 응답속도 및 간편한 제조 공정 등의 장점을 갖고 있다^{1,2)}.

유기화합물에 의한 발광 연구는 1960년대에 안트라센의 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 특징으로는 물질의 합성이 용이하며, 다층 박막 구조의 형태로 만들기가 쉽다는 점이다. 전류 구동 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, 이중 박막들 사이의 표면 상태와 접착력을 개선시켜 소자의 전기·광학적 특성을 최적화하는 연구가 필요하다^{8,9)}. 나아가, 유기물은 산소나 습기의 노출로부터 쉽게 열화됨으로 장시간 수명의 높은 신뢰성을 갖추기 위해서는 유기 박막의 증착 단계에서부터 패키지가 완성되기까지 진공상태에서 내부 상태(in-situ) 제작과 밀봉이 필요하다¹⁰⁾.

현재 상용화 되어있는 OLED의 전기광학적 특성은 약 10V의 구동전압과 1000 Cd/m² 이하의 휘도, 그리고 1~5 lm/W 정도의 전력효율을 갖는다¹¹⁾.

본 실험에서는 Alq₃-C545T의 형광 시스템을 이

용하여 고휘도, 고효율 녹색 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/Alq₃:C545T/ Alq₃/LiF/Al 구조의 다층 박막을 증착하였다. 진공 증착이 끝난 소자는 대기로 나오기 전에 투습 및 투산소 방지를 위해 글로브 상자(glove box)로 옮겨져 봉지(encapsulation)된다. 제작된 소자의 특성 평가에서는 전류-전압 관계, 휘도, 전력 효율, CIE-색 좌표 및 발광 스펙트럼을 조사하였다.

2. 실 험

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 제작에서는 먼저 ITO(1500 Å)/glass 기판으로부터 ITO를 패터닝(patterning)하고 사이 절연층(inter-insulator, SiO₂: 100 Å)과 음극분리 격벽(photoresist: 4 μm)을 형성하여 유기 박막을 증착하기 위한 전단계를 준비하였다(Fig. 1). 이후 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, 유기물 증착실(OC), 금속 증착실(MC), 봉지를 위한 글로브 상자가 자동 전달 장치에 의해 서로 연결될 수 있어 기판의 장착으로부터 봉지가 완성되기까지 시료를 대기중으로 꺼내지 않고 in-situ 처리가 가능한 시스템이다.

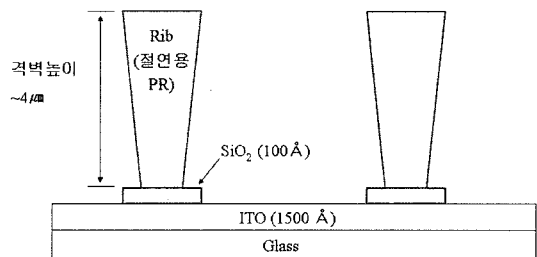


Fig. 1. ITO/glass substrate with cathode isolation ribs.

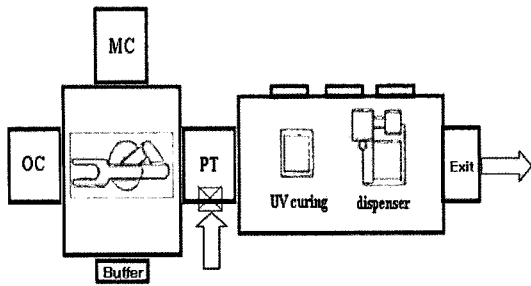


Fig. 2. OLED in-situ processing system.

박막의 증착 과정에서는 시료를 고진공(5×10^{-8} Torr) 상태의 OC(organic chamber)로 옮기고, 개방(open) 마스크를 사용하여 600 \AA 두께의 2-TNATA [4,4',4''-tris(2-naphthylphenyl-phenylamino)-triphenylamine] 정공 주입층(hole injection layer: HIL)과 200 \AA 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 Alq₃ (aluminum tris-(8-hydroxyquinoline)의 호스트와 C545T [10-(2-benzothiazoly)-1,1,7,7-tetramethyl-2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]-quinolizin-11-one)의 도펀트를 100 : 1의 비율로 co-evaporation 하여 303 \AA 두께의 형광층을 형성하였다. 계속하여 전자 수송층(electron transport layer: ETL)으로 300 \AA 두께의 Alq₃를 증착한 후, 시료를 MC(metal chamber)로 옮겨 최종적으로 LiF(10 \AA)/Al(1800 \AA)

의 음극을 순차적으로 증착하였다.

봉지 과정에서는 시료를 글로브 상자로 옮기고 디스펜서(dispenser)를 이용하여 UV 경화 방식으로 흡습제가 장착된 뚜껑 유리(encapsulation glass)를 봉합하였다. Fig. 3은 제작된 소자의 적층 구조와 발광층의 호스트-도펀트 분자 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 휘도 특성 곡선이다. OLED는 전류 구동소자이므로 기본적으로 전류-전압 특성 곡선은 휘도-전압 특성 곡선과 유사한 경향을 나타낸다.

Fig. 4의 특성 곡선으로부터 점근선을 이용하여 외삽법으로부터 얻어진 턴-온(turn-on) 전압은 약 8 V로 나타났으며, 10 V 동작전압에서 전류와 휘도는 각각 8 mA와 $2,000 \text{ Cd/m}^2$ 으로 나타났다. 구동 전압이 10~14 V 범위에서 전류와 휘도는 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 12 V와 14 V에서 휘도는 각각 $8,000 \text{ Cd/m}^2$ 와 $14,000 \text{ Cd/m}^2$ 으로 나타났다. 구동 전압이 14 V를 초과하면 휘도 특성은 포화되는 경향을 보였는데, 이는 주입 전류가 매우 크게 나타날 경우 엑시톤이 소멸(quenching) 되거나 전자와 정공의 비발광성 재결

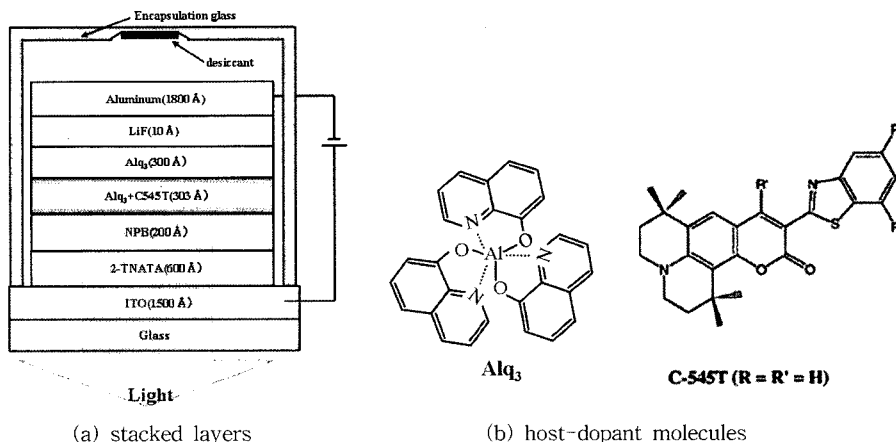


Fig. 3. Stacked layers of the fabricated device and host-dopant molecules of the emissive layer.

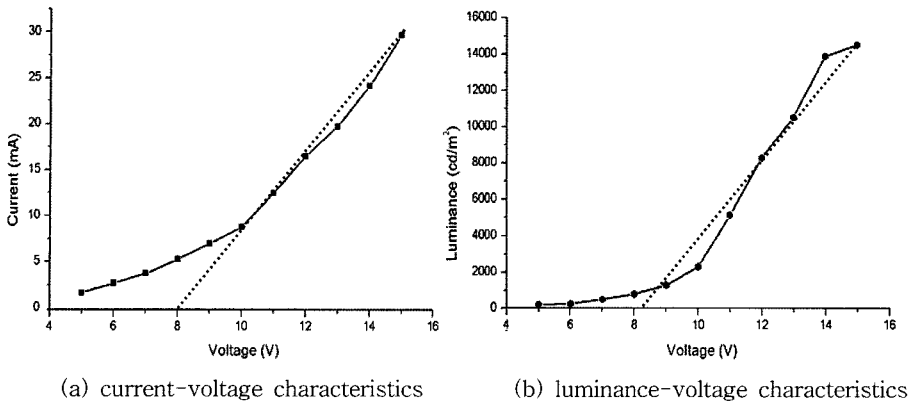


Fig. 4. Current-voltage characteristics and luminance-voltage characteristics.

합율이 상대적으로 증가하는 결과로 해석된다. 실험에서 얻어진 휘도는 일반 상업적 제품의 휘도보다 2배 이상 높게 나타났으며, 이러한 휘도 개선은 각 구성 층의 설계와 공정처리가 적절히 이루어진 결과로 판단된다. Fig. 5는 10 V에서 녹색 발광되는 OLED의 사진과 구동 전압에 따른 전력효율 특성을 보여주고 있다.

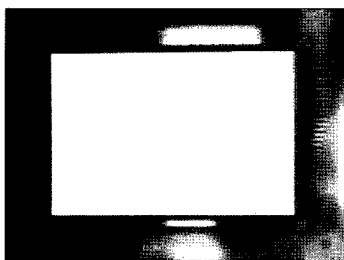
OLED의 전력효율은 다음 식 (1)과 같이 표현되며,

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

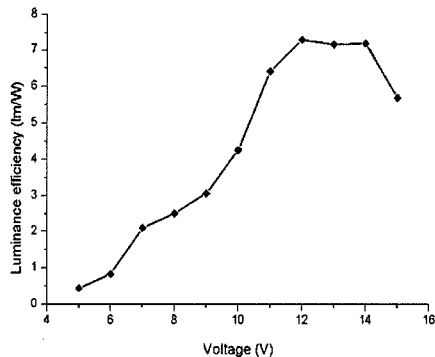
여기서, $J(A/m^2)$ 는 소자에 흐르는 전류밀도를, V 는 인가 전압을, 그리고 $L(Cd/m^2)$ 은 발광 상태의 휘도를 나타내고 있다¹²⁾. Fig. 5b는 전압에 따른 전

류 및 휘도 특성으로부터 식 (1)을 이용하여 전력 효율을 계산한 그래프이다. 이 그림에서 최대 효율은 구동 전압이 12~14 V 일 때 7.2~7.3 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 스펙트럼상의 중심 파장은 521 nm 이며, FWHM(full width at half maximum)을 통한 발광 파장 범위는 약 500~550 nm로 나타나고 있다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x=0.29, y=0.65$ 로 나타났으며, 제작된 소자의 발광 색은 NTSC 표준 녹색인 CIE(0.21, 0.71)과 비교하여 다소 x-좌표가 오른쪽으로 이동된 yellowish green을 나타내었다.



(a) green emitting image



(b) power efficiency-voltage characteristics

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

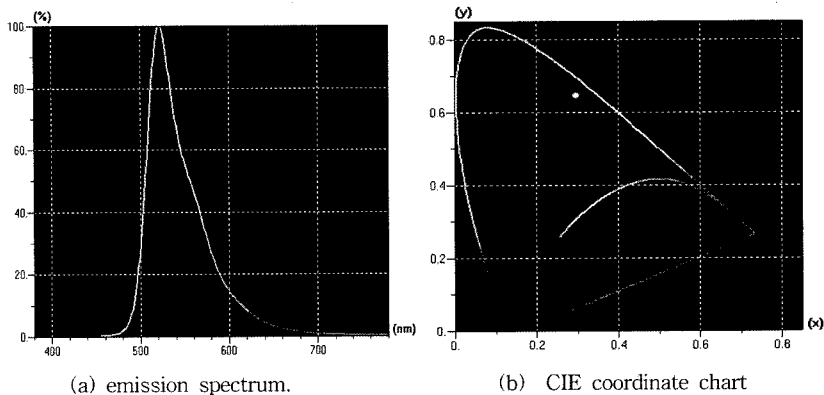


Fig. 6. Emission spectrum and CIE coordinate chart.

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/Alq₃:C545T/Alq₃/LiF/Al 구조의 녹색 발광 OLED 소자를 제작하였다. 소자 설계에서는 96×64 매트릭스 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 8 mA와 2,000 Cd/m²으로 나타났다. 또한 최대 효율은 구동 전압이 12~14 V 일 때 7.2~7.3 lm/W로 나타났다. 발광 스펙트럼은 521 nm의 중심 파장을 가지며, FWHM 은 약 50 nm의 파장 범위를 나타내었다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x = 0.29$, $y = 0.65$ 로 나타났으며, 발광색은 NTSC 표준 녹색과 비교하여 x-좌표가 약간 오른쪽으로 이동된 밝은 녹색을 나타내었다.

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

감사의 글

이 연구는 2004학년도 단국대학교 대학연구비

의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D. C. Shin, Information Display, **5**(4), 13(2005).
2. 키도 준지, 유기 EL, 청문각, 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. 김우영, 유기EL 소자 제작공정, 한국진공연구조합, **2**, 27(2001).
11. 홍성화 외, Market Engineering and Technology Opportunities for R & D, KISTI, 45 (2005).
12. 강정원 외, 정보디스플레이공학, 청문각, 155(2005).