

GDI 602/Rubrene를 이용한 황색 OLED의 제작과 특성 분석

장지근* · 김희원

단국대학교 전자공학과

Fabrication and Characterization of Yellow OLED using GDI602:Rubrene(10%) Material

Ji-Geun Jang* and Hee-Won Kim

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

초 록: GDI602:Rubrene(10%) 형광 시스템을 이용하여 황색 발광 OLED를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 소자 제작에서 ITO/glass 위에 정공 주입층으로 2-TNATA[4,4',4"-tris(2-naphthylphenyl-phenyl-amino)-triphenylamine]를, 정공 수송층으로 NPB[N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine]를 진공 증착하였다. 황색 발광층으로는 GDI602를 호스트로, Rubrene를 도펀트로 사용하였다. 또한, 전자 수송층으로는 Alq₃를, 전자 주입층으로는 LiF를 사용하여 ITO/2-TNATA/NPB/GDI602:Rubrene(10%)/Alq₃/LiF/Al 구조의 저분자 OLED를 제작하였다. 본 실험에서 제작된 황색 OLED는 562 nm의 중심 발광 파장을 가지며, CIE(0.50, 0.49)의 색순도, 그리고 10V의 동작전압에서 2300 Cd/m²의 휘도와 0.7 lm/W의 전력 효율을 나타내었다.

Abstract: The yellow emitting OLED using GDI602:Rubrene(10%) material has 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, yellow emission material was deposited using GDI602 as a host material and Rubrene(10%) as a dopant. Finally, small molecular OLED with the structure of ITO/2-TNATA/NPB/GDI602:Rubrene(10%)/Alq₃/LiF/Al was obtained by in-situ successive deposition of Alq₃, LiF and Al as the electron transport material, electron injection material and cathode. The yellow OLED fabricated in our experiments showed the color coordinate of CIE(0.50, 0.49), the luminance of 2300 Cd/m² and the power efficiency of 0.7 lm/W at 10 V with the peak emission wavelength of 562 nm.

Key words: yellow OLED, Luminance, CIE coordinate, Power efficiency, Peak emission wavelength

1. 서 론

유기발광소자는 유기물을 형광층으로 사용하며, 소자의 전기적 특성이 다이오드와 유사하여 유기 발광다이오드(organic light emitting diode, OLED)

라고 불리운다. OLED는 광 시야각, 고속 응답, 자체 발광 등의 장점 때문에 소형에서 대형에 이르기까지 동화상 표시매체로서 손색이 없으며, 소비전력이 작고, 경량·박형으로 제작할 수 있기 때문에 평판디스플레이 용으로 가장 적합한 소자이

*Corresponding author
E-mail: semicgk@dankook.ac.kr

다^{1,2)}.

OLED는 빛의 3원색(적색, 녹색, 청색)에 해당하는 단색 소자들과 백색 소자들(white light emitting device, WOLED) 중심으로 개발이 진행되어 왔으며, 풀컬러(full color) 디스플레이에 그 응용이 모색되고 있다. OLED를 풀컬러 디스플레이로 실현하기 위한 방법으로는 R (red), G(green), B(blue) 개별화소 구동과 조합에 의한 삼색 발광법, 청색 OLED와 색변환층에 의한 색 변환법, 그리고 백색 OLED와 컬러필터를 사용하는 방법이 있다^{3,4)}. 특히, 백색 OLED 방법은 기존의 LCD 공정을 그대로 사용하는 것이 가능하며, 백색 OLED가 백라이트 등의 광원으로써 다양한 응용이 모색되어 많은 연구가 진행되고 있다.

백색 OLED의 발광 메카니즘으로는 기존의 삼원색을 혼합한 3파장 방식과 청색과 황색을 혼합한 2파장 방식을 들 수 있다. 백색광을 구현하기 위해서는 3파장 방식이 이상적인 것으로 인식되어 왔으나, 적색 물질의 낮은 효율 및 안정성에 문제점이 있어 최근에는 이를 해결하기 위해 높은 안정성 및 효율을 갖는 2파장 방식이 연구되고 있다^{5,6)}. 이에 따라 개별 단위의 청색 및 황색 OLED에 대한 연구는 단색 소자로서 뿐만 아니라 2파장 WOLED를 개발하기 위한 기초 연구로도 중요하다.

전류구동 소자인 OLED는 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.⁷⁻⁹⁾ 따라서 고성능 OLED를 개발하기 위해서는 다층 구조에서 각각의 박막에 대한 적절한 재료의 선정이 중요하며, 전극과 유기물 사이의 계면상태가 우수하여야 한다^{10,11)}. 나아가, 유기물은 산소나 습기의 노출로부터 쉽게 열화됨으로 유기 박막의 증착 단계에서부터 소자 제작이 완성되기까지 진공상태의 in-situ 공정이 필요하다¹²⁾.

본 연구에서는 GDI602를 호스트로, Rubrene (10%)를 도펀트로 하는 새로운 형광 시스템을 구성하여 높은 색순도와 고휘도 발광 특성을 갖는 황색 OLED를 in-situ 방식으로 제작하고, 그 특성을

분석하였다.

2. 실험 방법

소자 제작을 위한 기판으로는 면저항이 $12\Omega/\square$, 두께가 1500\AA 인 ITO가 코팅된 유리기판을 사용하였다. 먼저, ITO 전극 패턴을 만들기 위해 AZ1512 감광액을 2500 rpm으로 30초간 회전도포하고, 80°C 에서 20분간 soft baking하여 잔류 용제를 제거하였다. 이 후, ITO 패턴 마스크를 씌어 자외선을 노광하고, AZ500 현상액으로 60초간 현상한 후, 120°C 에서 30분간 hard baking을 실시하였다. ITO의 식각은 60°C 의 MAS-02 용액을 사용하였으며, 아세톤을 사용하여 감광액을 완전히 제거한 후, 메탄올, 이소프로필 알코올, 탈이온수에서 순차적으로 초음파 세척을 하였다.

다음으로 유기 박막을 증착하기 위한 전처리의 마지막 과정으로 시편을 pretreatment chamber에 옮겨 2분간 플라즈마(O_2/Ar 혼합비=2/1, RF 전력: 200 W) 처리하였다. 소자 제작에서 선행 플라즈마 처리는 양극으로부터 정공주입 장벽을 낮추고, 표면 오염제거 및 ITO와 유기막과의 접착력을 개선시켜 준다.

유기물 증착과정에서는 시편을 고진공 상태의 organic deposition chamber로 옮기고 정공 주입층(Hole Injection Layer, HIL)으로 600\AA 두께의 2-TNATA[4,4',4''-tris(2-naphthylphenyl-phenylamino)-triphenylamine]와 정공 수송층(Hole Transport Layer, HTL)으로 250\AA 두께의 NPB[N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine]를 증착하였다.

다음으로 발광 물질을 증착하는 단계에서는 GDI602와 Rubrene을 10:1의 비율로 동시 증착하여 220\AA 두께의 GDI602:Rubrene(10%) 층을 형성하여 황색 발광층(Emissive Layer, EML)을 증착하고, 전자 수송층(Electron Transport Layer, ETL)으로 약 300\AA 두께의 Alq_3 를 증착하였다.

이 후 시편을 metal chamber로 옮기고 금속 마스크를 씌워 전자 주입층(Electron Injection Layer: EIL)으로 약 10\AA 두께의 LiF를, 음극으로 약 1800\AA 두께의 Al을 순차적으로 진공 증착하였다. 유기 박막과 금속의 형성은 모두 5×10^{-8} Torr의 고진공 상태에서 in-situ 방식으로 증착되었다.

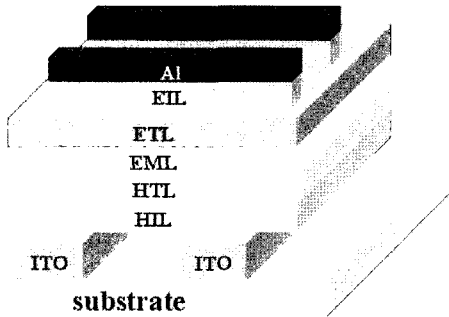


Fig. 1. Structure of the experimental device.

Fig. 1은 제작된 소자의 기본 구조이며, 양극과 음극의 교차 면적은 2 mm×2 mm 이다.

3. 결과 및 고찰

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

Fig. 2는 제작된 소자의 전압-전류 특성곡선으로, 전형적인 다이오드 특성곡선을 보여주고 있다. OLED는 전류 구동소자이므로 기본적으로 휘도-전류 곡선은 선형적으로 나타난다. 전류 크기에 따른 휘도의 세기를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2와 Fig. 3에서 전류는 인가 전압에 따라 지수함수적으로 증가하며, 휘도와 전류는 선형적으로 비례함을 볼 수 있다. 제작된 소자의 turn-on 전압은 약 5 V로, 전류와 휘도는 10 V의 동작 전압에서 각각 0.11A/cm²와 2316 Cd/m²로 나타났다.

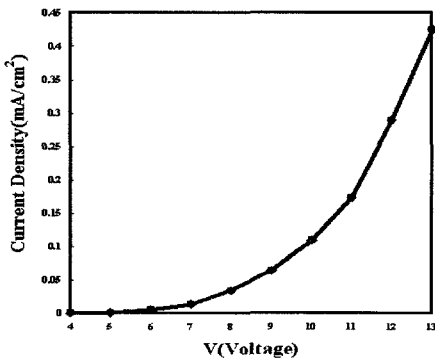


Fig. 2. Current-voltage characteristics.

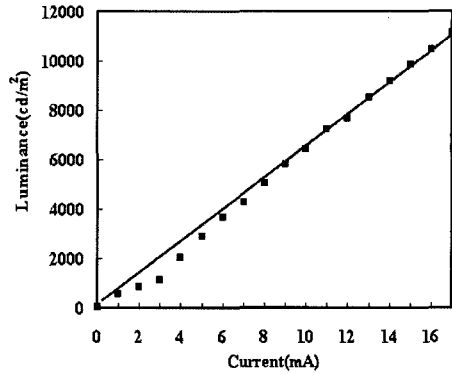


Fig. 3. Luminance-current characteristics.

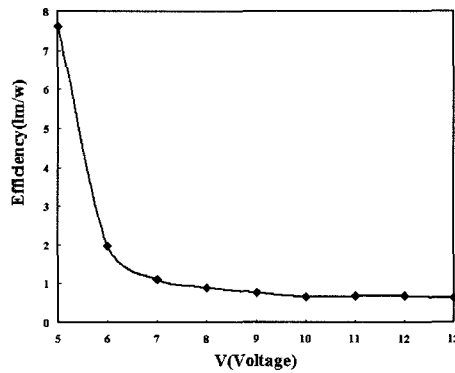


Fig. 4. Power efficiency-voltage characteristics.

Fig. 4는 전압에 따른 전류 및 휘도 특성으로부터 식 (1)을 이용하여 전력효율을 계산한 그래프이다.

OLED의 전력효율은 다음 식 (1)과 같이 표현되며,

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

여기서, J(A/m²)는 소자에 흐르는 전류밀도를, V는 인가 전압을, 그리고 L(Cd/m²)은 발광 상태의 휘도를 나타내고 있다¹³⁾. 구동 전압이 10 V 이상으로 높아지면 효율은 거의 포화되는 특성을 보였으며, 포화 효율은 약 0.7 lm/W로 나타내었다.

Fig. 5은 10 V 동작 전압에서의 발광 스펙트럼과 CIE(Commission Internationale de l'Eclairage) 색좌표 값을 보여주고 있다. Fig. 5에서 발광 스펙트럼의 중심 파장은 562 nm이며, FWHM(full width

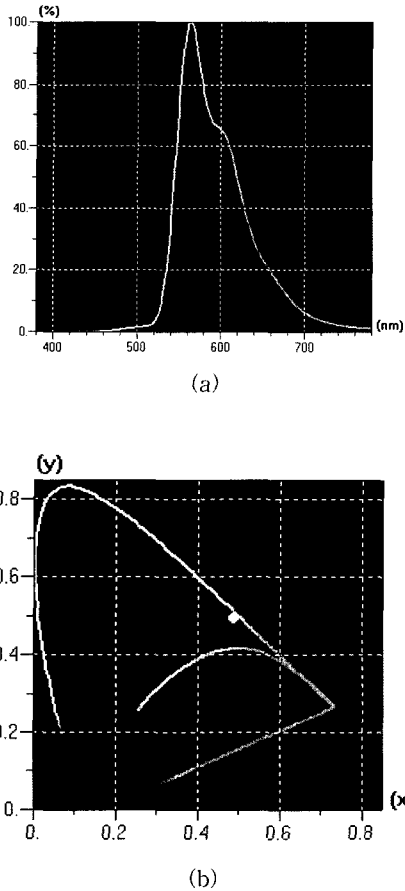


Fig. 5. (a) Emission spectra, (b) CIE chart.

at half maximum)을 통한 발광 파장 범위는 약 540~620 nm로 나타나고 있다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x=0.50, y=0.49$ 로 나타났으며, 제작된 소자의 발광 색은 고순도의 황색을 나타내었다(Fig. 6).

OLED의 색순도(P_c)는 Fig. 5에서 백색 점의 좌표 (x_w, y_w) 로부터 CIE 좌표 (x, y) 를 연장하여 chromaticity diagram의 둘레와 만나는 점의 좌표를 (x_d, y_d) 이라할 때, 다음의 식으로 표현된다¹⁴⁾.

$$P_c = \frac{[(x, y) - (x_w, y_w)]}{[(x_0, y_0) - (x_w, y_w)]} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 계산된 실험 소자의 색순도는 거의 100%로 나타났다.

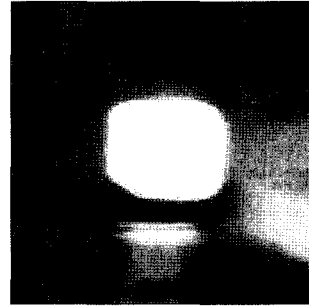


Fig. 6. Yellow light emitting picture at 10 V.

결과적으로, 저분자 다층 구조의 OLED에서 in-situ 공정과 GDI602:Rubrene(10%) 형광 시스템을 도입함으로써 높은 색순도와 고휘도 특성을 갖는 새로운 황색 OLED를 제작할 수 있었다.

4. 결 론

GDI602:Rubrene(10%) 형광시스템을 이용하여 새로운 황색 발광 OLED를 제작하고 그 특성을 평가하였다.

소자 공정 기술에서는 Glass/ITO 기판으로부터 ITO 패터닝과 세정, 플라즈마 처리공정을 거친 후, 시편을 유기증착시스템에 장착하고 5×10^{-8} Torr의 진공상태에서 in-situ 방식으로 ITO/2-TNATA/NPB/GDI602:Rubrene(10%)/Alq3/LiF/Al 구조의 황색 발광 OLED 소자를 제작하였다.

제작된 소자의 전류와 휘도 특성은 10 V 동작전압에서 각각 0.11 A/cm^2 와 2300 Cd/m^2 으로 나타났다. 또한 전력 효율은 약 0.7 lm/W 로 나타났다. 발광 스펙트럼은 562 nm의 중심 파장을 가지며, FWHM 은 약 80 nm의 파장 범위를 나타내었다. CIE 차트 상에서 색 좌표는 $x = 0.50, y = 0.49$ 로 나타났으며, 발광색은 거의 100%에 가까운 높은 색순도를 나타내었다.

본 연구에서는 새로운 형광 물질을 도입하고 glass/ITO 기판으로부터 플라즈마 전처리 단계를 거쳐 각 박막 층의 형성에 이르기까지 적절한 공정 처리가 이루어지고 in-situ process를 통한 신뢰성 있는 제조 기술을 확보함으로써, 고성능 황색 발광 OLED를 성공적으로 제작할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 2006학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D. C. Shin, "OLED 소자의 광학특성 향상 기술", *Information Display*, 5(4), 13 (2004).
2. J. Y. Lee, "저분자 OLED 소자기술", *Information Display*, 7(1), 4(2006).
3. J. Feng, Feng Li, Wenbao Gao, and Shiyong Liu, "White light emission from exciplex using tris-(8-hydroxy-quinoline) aluminum as chromaticity-tuning layer", *Appl. Phys. Lett.*, 78(25), 3947(2001).
4. C. W. Ko and Y. T. Tao, "Bright white organic light-emitting diode", *Appl. Phys. Lett.*, 79(25), 4234-4236 (2001).
5. 추혜용, 이정익, "백색 OLED", *Physics & High Technology*, June, 25-29(2005).
6. 배우진, "백색 유기발광소자(WOLED)와 최근 개발 동향", *월간 전자부품* 9월호 58-62(2006).
7. S. C. Gong, I. J. Back, J. H. Yoo, H. S. Lim, H. J. Chang, and G. K. Chang, "The electrical and optical properties of polymer light emitting diode with ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al structure at various concentration of MEH-PPV", *J. of the Microelectronics & Packaging Society*, 12(2), 155(2005).
8. T. P. Nguyen and P. Destruel, *Handbook of Luminescence, Display Materials, and Devices, Vol. 1-Organic Light Emitting Diodes*, American Scientific publishers, California, 90(2003).
9. 진병두, "OLED Interface 기술" *Information Display*, 7(1), 4(2006).
10. T. K. Hatwar, J. P. Spindler, M. L. Ricks, R. H. Young, L. Cosimbescu, W. J. Begley, and S. A. Van Slyke, "White OLED Structures Optimized for RGB and RGBW Formats", *Asia Display/IMID '04 Digest*, 816 (2004).
11. Hiroshi Kanno, Yuji Hamada, and Hisakazu Takahashi, "Development of OLED with high stability and luminance efficiency by co-doping methods for full color displays", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, 10(1), 30 (2004).
12. 김우영, 유기EL 소자 제작공정, *한국진공연구조합*, 2, 27(2001).
13. 강정원 외, 정보디스플레이공학, *청문각*, 155(2005).
14. 장지근, 유기전자공학, *청문각*, 318(2006).