

TPBI 전자 수송층을 이용한 청색 고분자 유기발광다이오드의 전기·광학적 특성 향상

공수철 · 전창덕 · 유재혁* · 장호정[†]

단국대학교 전자공학과, *네페스 AP 그룹 반도체연구소

Improving the Electrical and Optical Properties of Blue Polymer Light Emitting Diodes by Introducing TPBI Electron Transport Layer

Su Cheol Gong, Chang Duk Jeon, Jae Hyouk Yoo* and Ho Jung Chang[†]

Department of Electronic Engineering, Dankook University, 29 Anseodong, Cheonan 330-714, Korea

*Nepes Corporation, 654-2, Gak-Ri, Ochang-Myun, Cheongwon-Gun, Chungbuk 363-883, Korea

(2010년 4월 15일 접수 : 2010년 5월 31일 최종수정 : 2010년 5월 31일 채택)

Abstract In this study, we fabricated a polymer light emitting diode (PLED) and investigated its electrical and optical characteristics in order to examine the effects of the PFO [poly(9,9-dioctylfluorene-2,7-diyl) end capped with N,N-bis(4-methylphenyl)-4-aniline] concentrations in the emission layer (EML). The PFO polymer was dissolved in toluene ranging from 0.2 to 1.2 wt%, and then spin-coated. To verify the influence of the TPBI [2,2'-(1,3,5-Benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1-H-benzimidazole)] electron transport layer, TPBI small molecules were deposited by thermal evaporation. The current density, luminance, wavelength and current efficiency characteristics of the prepared PLED devices with and without TPBI layer at various PFO concentrations were measured and compared. The luminance and current efficiency of the PLED devices without TPBI layer were increased, from 117 to 553 cd/m² and from 0.015 to 0.110 cd/A, as the PFO concentration increased from 0.2 to 1.0 wt%. For the PLED devices with TPBI layer, the luminance and current efficiency were 1724 cd/m² and 0.501 cd/A at 1.0 wt% PFO concentration. The CIE color coordinators of the PLED device with TPBI layer at 1.0 wt% PFO concentration showed a more pure blue color compared with the one without TPBI, and the CIE values varied from (x, y) = (0.21, 0.23) to (x, y) = (0.16, 0.11).

Key words polymer light emitting diode (PLED), electron transport layer, TPBI[2,2'-(1,3,5-Benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1-H-benzimidazole)], current efficiency, blue color.

1. 서 론

자발광형 유기반도체 소자인 유기발광다이오드(organic light emitting diode, OLED)는 박막공정으로 제작이 가능하여 초 경량화와 박막화가 가능하고, 빠른 응답속도, 넓은 시야각, 천연색의 구현이 가능할 뿐만 아니라 유기물 자체가 가지고 있는 유연함으로 기계적 변형에 강하여 휘성 전자소자로의 응용이 용이한 장점을 가지고 있어 차세대 디스플레이 및 반도체 조명소자로의 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다.¹⁻³⁾ 특히 전도성 반도체 재료인 공액 고분자(conjugated polymer)를 사용하는 고분자 유기발광다이오드(polymer light emitting diode, PLED)는 스프인코팅,⁴⁾ 잉크젯 프린팅,⁵⁾ 스프레이 프린팅⁶⁾ 등의 간단한 용액공정과 roll-to-roll 공정⁷⁾ 등을 이용한 대량 생산을

통해 값싼 소자의 제작이 가능하고, 대화면 전자 소자분야에 쉽게 적용이 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 PLED는 현재 양산화 되고 있는 저분자(small molecule) OLED에 비해 소자의 수명뿐만 아니라 휘도, 효율 등의 전기·광학적 특성의 개선을 필요로 한다. OLED의 경우 정공 주입층(hole injection layer, HIL), 정공 수송층(hole transport layer, HTL), 발광층(emission layer, EML), 전자 수송층(electron transport layer, ETL) 및 전자 주입층(electron injection layer, EIL)에 적용이 가능한 신뢰성과 안정성이 높은 다양한 재료들이 확보되어 있으며, 전극으로부터 발생한 전자와 정공의 원활한 수송과 이동을 위한 6~7층의 다층 구조가 확립되어 있다.⁸⁻¹²⁾ 그러나 PLED는 아직까지 개발된 재료의 한계로 인하여 대부분 3~4층의 간단한 구조로 제작되고 있다.¹³⁻¹⁸⁾ 따라서 PLED의 전기·광학적 특성 향상을 위해서는 신뢰성과 안정성이 높은 다양한 재료의 개발이 요구되며, 특히 전자 수송재

[†]Corresponding author

E-Mail : hjchang@dankook.ac.kr (H. J. Chang)

료의 개발이 필수적이다. 전자 수송재료를 소자에 적용하기 위해서는 소자 구조에 적합한 에너지 밴드갭을 갖는 물질을 선택해야 한다. 최근 들어 고분자 전자수송재료에 대한 연구가 진행되고 있으며, 저분자 전자 수송재료를 PLED 소자에 적용하기 위한 연구가 시도되고 있다. 대표적인 전자 수송재료로는 Alq_3 [Tris-(8-hydroxyquinolino)aluminum],^{8,10-12)} TPBI[2,2',2''-(1,3,5-Benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1-H-benzimidazole)],⁹⁾ Bphen [4,7-Diphenyl-1,10-phenanthroline],^{10,12)} TAZ[3-(4-Biphenyl)-4-phenyl-5-tert-butylphenyl-1,2,4-triazole],¹¹⁾ BCP[2,9-Di-methyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline],⁸⁾ PBD[2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole]¹²⁾ 등이 있으며, 각각 2.9~5.7, 2.8~6.3, 2.9~6.4, 2.6~6.6, 3.2~6.7 그리고 2.4~6.3 eV의 LUMO (lowest unoccupied molecule orbital)와 HOMO (highest occupied molecule orbital) 사이의 에너지 밴드갭(energy bandgap)을 갖는다.

본 연구에서는 정공 주입층으로 PEDOT:PSS[poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate)]¹⁵⁻¹⁸⁾와 발광층으로 PFO[poly(9,9-dioctylfluorene-2,7-diyl) end capped with N,N-bis(4-methylphenyl)-4-aniline]^{16,18-20)}를 ITO/glass 기판 위에 스펀 코팅하여 청색 PLED 소자를 제작하였다. PLED 소자의 제작에 있어서 발광 물질의 농도 변화에 따른 최적의 특성 조건을 찾기 위하여 PFO의 농도 변화에 따른 전기·광학적 특성을 조사하였다. 또한 전자 수송 물질로 TPBI를 진공 열증착하여 전자 수송층의 유·무에 따른 PLED 소자의 특성을 비교, 분석하였다. 이를 위하여 ITO/PEDOT:PSS/PFO/LiF/Al와 ITO/PEDOT:PSS/PFO/TPBI/LiF/Al 구조를 갖는 2 종류의 소자를 제작하고 전기·광학적 특성을 비교, 분석하였다.

2. 실험 방법

PLED 소자를 제작하기 위하여 ITO/glass 기판을 아세톤(acetone), 메탄올(methanol), D.I. water, 이소프로필 알코올(isopropyl alcohol)을 사용하여 1차 초음파 세정을 실시한 후 소자의 발광부를 형성하기 위하여 포토리소그라피(photolithography) 공정으로 패터닝하였다. 패터닝된 ITO/glass 기판에 남아 있는 이온 등의 미세 불순물을 제거하기 위하여 반도체 공정에 주로 사용되는 SC-1 ($H_2O_2:NH_4OH:D.I\ water = 1:1:5$) 용액에 80°C의 온도에서 3분간 세정한 후, 다시 아세톤, 메탄올, D. I. water를 이용하여 10분간 2차 초음파 세정을 실시하였다. ITO 투명전극과 유기물간의 계면 접합력(adhesion), 면저항(sheet resistance) 및 표면 거칠기(surface roughness) 특성을 향상시키기 위하여 패터닝된 ITO 투명전극을 O_2 플라즈마(plasma) 처리를 하였다. 플라즈마 처리 조건은

40 mtorr O_2 gas 압력에서 100 watt의 RF power를 인가하여 30 sec 동안 실시하였다.^{21,22)} 양극(anode)으로 사용된 ITO 투명전극의 두께는 약 150 nm 로 $10\ \Omega/\square$ 이하의 면저항과 95% 이상의 광투과도를 갖는다. 정공 주입층으로 PEDOT:PSS (Baytron P AI4083)를 5000 rpm으로 30초간 스펀 코팅한 후 진공오븐 (vacuum oven)에서 100°C로 1 시간 동안 건조하여 약 30 nm 두께의 박막을 형성하였다. PEDOT:PSS는 내화학적성이 우수하여 박막이 유기 용매에 쉽게 손상되지 않는 특성을 가지고 있으며, ITO 투명전극과 유기 박막간의 접합을 용이하게 할 수 있다. 발광층으로 고분자 청색 발광물질인 PFO (American Dye Source 329BE)를 톨루엔 (toluene)을 용매로 사용하여 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 그리고 1.2 weight (wt)%로 각기 다른 농도로 용해하였다. 용해된 각 발광용액은 4000 rpm에서 30초간 스펀 코팅한 후 진공오븐에서 120°C로 2 시간 동안 건조하였으며 농도에 따라서 약 50~70 nm의 두께를 갖는 발광층을 형성하였다. 전자 수송층으로 TPBI, 전자 주입층으로 LiF, 그리고 음극 (cathode)으로 Al을 5×10^{-6} torr의 진공에서 열증착 (thermal evaporation) 법으로 30, 1, 그리고 150 nm의 두께로 증착하여 최종적으로 PLED 소자를 제작하였다. 전자 수송층으로 사용된 TPBI는 2.8~6.3 eV의 에너지 밴드갭을 갖으며, 2.7~5.8 eV의 에너지 밴드갭을 갖는 PFO 발광층으로 음극에서 발생한 전자를 원활히 수송하는 전자 전달층의 역할과 발광층내에서 정공이 음극으로 급격히 이동하는 것을 방지하는 정공 억제층 (hole blocking layer, HBL)으로 적용하기에 적합하다.

Fig. 1은 본 연구에서 제작된 (a) PLED 소자의 에너지 밴드 모식도와 (b) 사용된 재료의 화학 구조를 보여준다.

스핀 코팅된 PEDOT:PSS 정공 주입층과 PFO 발광층의 두께는 α -step surface profiler를 이용하여 측정하였으며, 전류밀도-전압-휘도와 발광스펙트럼 등 제작된 PLED 소자의 전기·광학적 특성은 Polaronix M6100 IVL measurement system과 CS-1000 spectro radiometer를 이용하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PFO 발광층의 농도 변화에 따른 PLED 소자의 특성

청색 PLED 소자의 제작에 있어서 최적의 발광층 농도 조건을 조사하기 위하여 PFO 발광층의 농도를 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 그리고 1.2 wt%로 다르게 하여 소자를 제작하였다.

Fig. 2와 3은 TPBI 전자 수송층을 삽입하지 않은 PLED 소자에서 PFO 발광층의 농도 변화에 따른 전류밀도-전

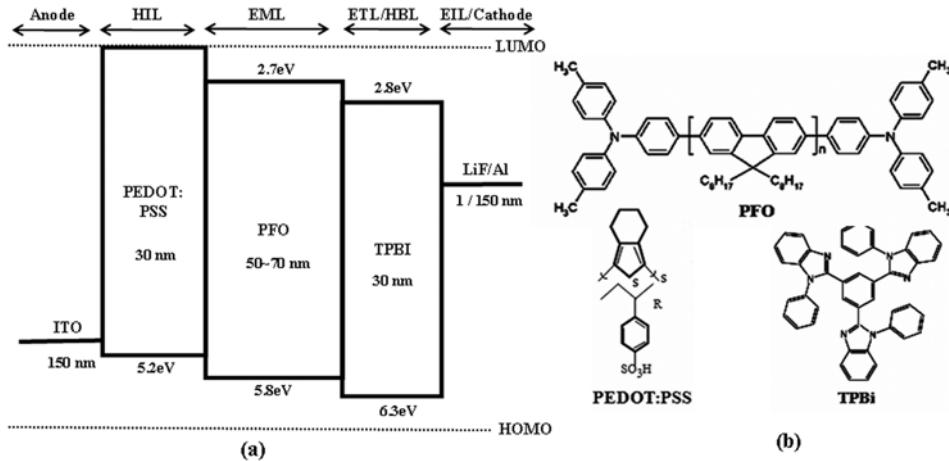


Fig. 1. (a) energy band diagram and (b) chemical structures.

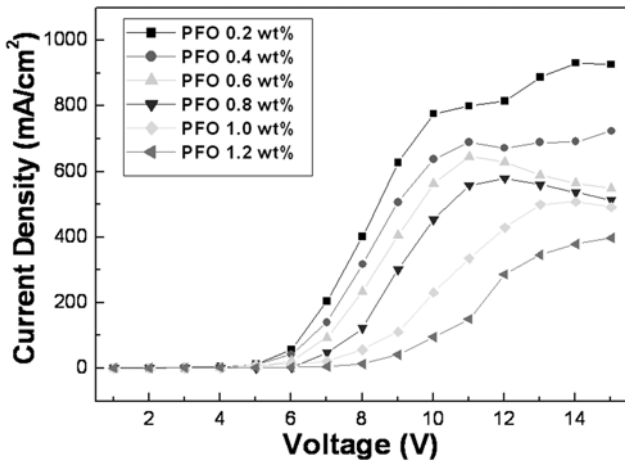


Fig. 2. Current density versus voltage characteristics of PLED devices without TPBI ETL at various PFO concentrations.

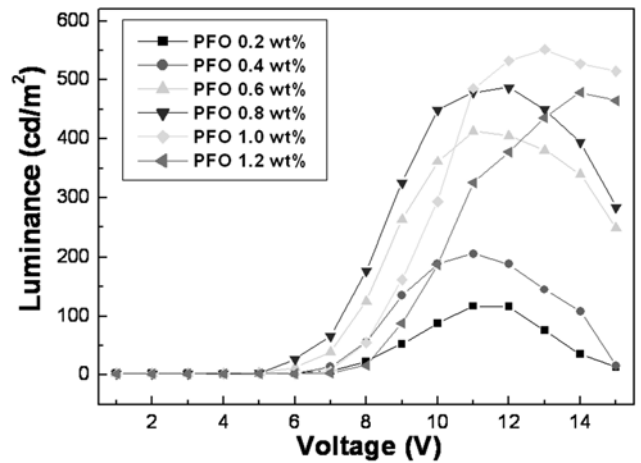


Fig. 3. Luminance versus voltage characteristics of PLED devices without TPBI ETL at various PFO concentrations.

압 (current density-voltage)과 휘도-전압(luminance-voltage) 특성을 보여준다. PFO의 농도가 증가할수록 전류밀도는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 Fig. 3에서와 같이 PFO의 농도가 증가할수록 휘도는 증가하는 경향을 보여준다. PLED에서 양극과 음극에서 발생한 캐리어(carrier)인 정공(hole)과 전자(electron)는 고분자 사슬(interchain) 내 또는 사슬과 사슬간을 호핑(hopping) 전도방식으로 반대쪽 전극으로 이동한다. 유기 박막내에서 이러한 정공과 전자의 흐름은 음극에서 발생한 전자가 유기박막을 거쳐 양극으로 이동되면 전하량의 크기에 비례하는 전류가 발생된다. 또한 양극에서 발생한 정공과 음극에서 발생한 전자가 유기 박막을 거쳐 발광층으로 주입되고, 전자와 정공은 발광층에서 재결합(recombination)하여 전자-정공쌍인 엑시톤(exciton)을 생성한다. 이 때 생성된 엑시톤이 기저 상태로 천이되면서 그 에너지 갭(LUMO-HOMO) 차이만큼의 빛을 발광(electroluminescence, EL)하고 소멸된다.¹⁴⁾ 비정질 고분자의 특성상 농도가 높아질수록 분자의 불규

칙성은 심해지고 이로 인해 분자내에 상대적으로 많은 격자 결함이 발생하여 많은 트랩준위(trap level) 또는 호핑준위(hopping level)가 형성된다. 따라서 PFO의 농도가 높아질수록 발광층내에서 캐리어가 점유될 수 있는 확률은 높아진다. 한편, 낮은 PFO 발광층의 농도에서는 상대적으로 빠른 이동도를 가지고 있는 정공($10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)이 전자($10^{-8} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)와 발광층에서 재결합하지 않고 음극으로 흘러 들어가면서 높은 전류값을 나타낸다. 결국, PFO의 농도가 증가할수록 발광층내에 상대적으로 많은 호핑 준위가 생성되어 캐리어가 점유될 수 있는 확률이 높아지기 때문에 고농도에서는 저농도에 비해 전자와 정공의 재결합 확률이 상대적으로 높아져 높은 휘도 특성을 나타내는 것으로 판단된다. 본 연구에서 제작된 PLED 소자에서 PFO의 농도가 0.2에서 1.0 wt%로 증가할수록 최대 휘도에서의 전류밀도는 788.6에서 474.4 mA/cm²로 낮아졌으며, 최대 휘도는 117에서 583 cd/m²로 증가하였다. 그러나 PFO의 농도가 1.0에서 1.2 wt%로 더욱 증

가할 경우 최대 휘도는 479 cd/m²로 오히려 낮아졌다. 이러한 결과는 PFO의 농도가 더욱 증가하면서 발광층내의 분자 밀도가 증가하고 이로 인해 캐리어간의 충돌에 의해 발생한 열화에 따른 농도 소광(concentration quenching) 현상 때문으로 사료된다.²³⁾ 또한 PFO의 농도가 증가할수록 문턱전압(turn-on voltage at 10 cd/m²)은 6에서 8 V로 증가하는 경향을 보였다. 이는 농도가 증가할수록 점도(viscosity) 차이에 의하여 발광층의 두께가 약 50에서 70 nm로 증가하기 때문이다.

3.2 TPBI 전자 수송층을 갖는 PLED 소자의 PFO 발광층의 농도변화에 따른 특성

Fig. 4와 5는 TPBI 전자 수송층을 삽입한 PLED 소자에서 PFO 발광층의 농도 변화에 따른 전류밀도-전압과 휘도-전압 특성을 보여준다. TPBI 전자 수송층을 삽입

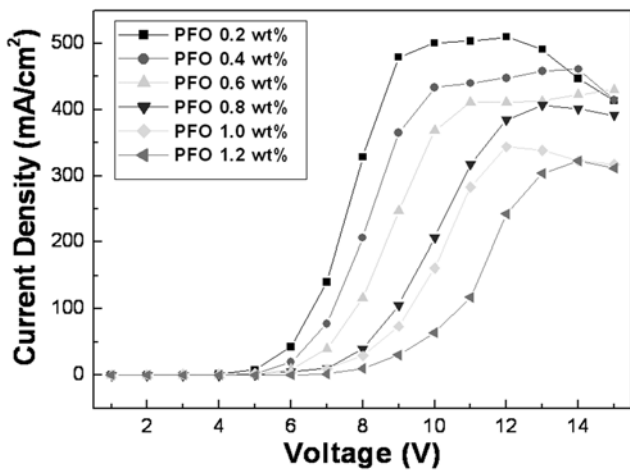


Fig. 4. Current density versus voltage characteristics of PLED devices with TPBI ETL at various PFO concentrations.

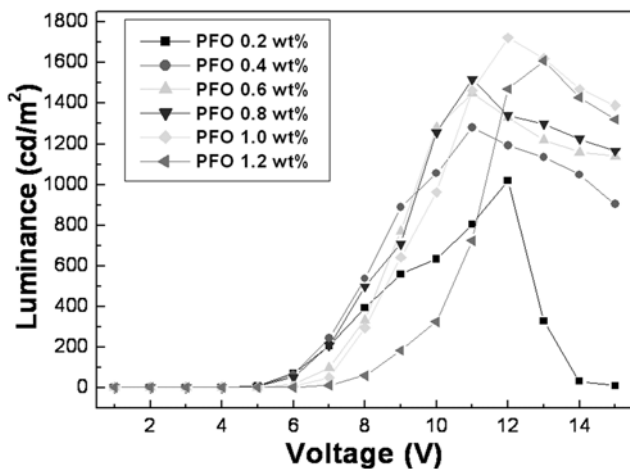


Fig. 5. Luminance versus voltage characteristics of PLED devices with TPBI ETL at various PFO concentrations.

하지 않은 경우와 동일하게(Fig. 2와 3) PFO의 농도가 증가할수록 전류밀도는 감소하고 휘도는 증가하는 경향을 보였다. 그러나 동일한 발광층의 농도에서 TPBI 전자 수송층을 삽입한 소자는 TPBI 전자 수송층을 삽입하지 않은 소자에 비하여 전류밀도는 50% 정도 감소한 반면, 휘도는 3배 이상 증가하였다. 이러한 결과는 TPBI 전자 수송층 삽입함으로써 음극에서 PFO 발광층으로 전자의 이동이 보다 원활해지고, PFO와 TPBI의 HOMO level의 에너지 밴드갭 차이(0.5 eV)에 의하여 발광층으로 이동된 정공이 직접 음극으로 흐르는 것을 방지하는 정공 억제층으로 작용하여^{8,9,12,24)} PFO 발광층 내에서 전자-정공의 재결합율이 크게 증가하였기 때문이다. 즉, TPBI 전자 수송층을 삽입한 PLED 소자의 최대 휘도는 PFO의 농도가 0.2에서 1.0 wt%로 증가하면서 1120에서 1724 cd/m²으로 증가하였다.

3.3 TPBI 전자 수송층의 유·무에 따른 PLED 소자의 특성 비교

Fig. 6은 PFO 발광층의 농도변화에 따라 제작된 PLED 소자의 최대 휘도에서 TPBI 전자 수송층의 유·무에 따른 전류효율(current efficiency) 특성을 보여준다. TPBI 전자 수송층이 삽입되지 않은 소자의 경우 PFO의 농도가 증가하면서 전류효율은 0.015로부터 0.126 cd/A로 증가하였으며, TPBI 전자 수송층을 삽입한 소자 역시 전류효율은 0.202에서 0.531 cd/A로 증가하여, TPBI 전자 수송층의 삽입 여부와 상관없이 제작된 PLED 소자에서 PFO의 농도가 증가할수록 전류효율은 증가하는 경향을 보였다. 그러나 동일한 발광층의 농도에서 TPBI 전자 수송층이 삽입된 경우 전류효율은 모두 4배 이상 증가하였

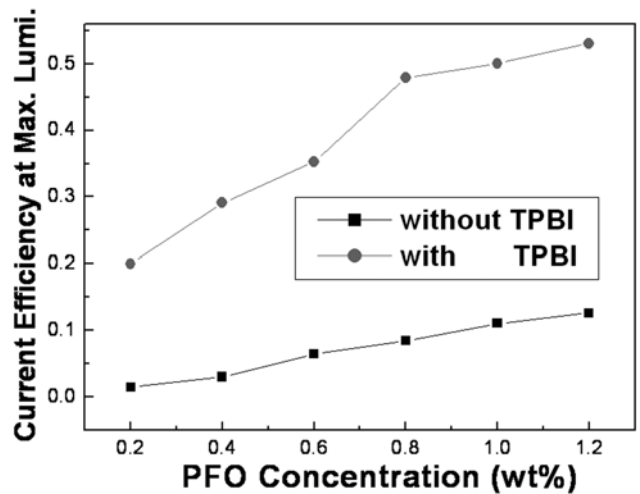


Fig. 6. Current efficiency characteristics at maximum luminance of PLED devices with and without TPBI ETL at various PFO concentrations.

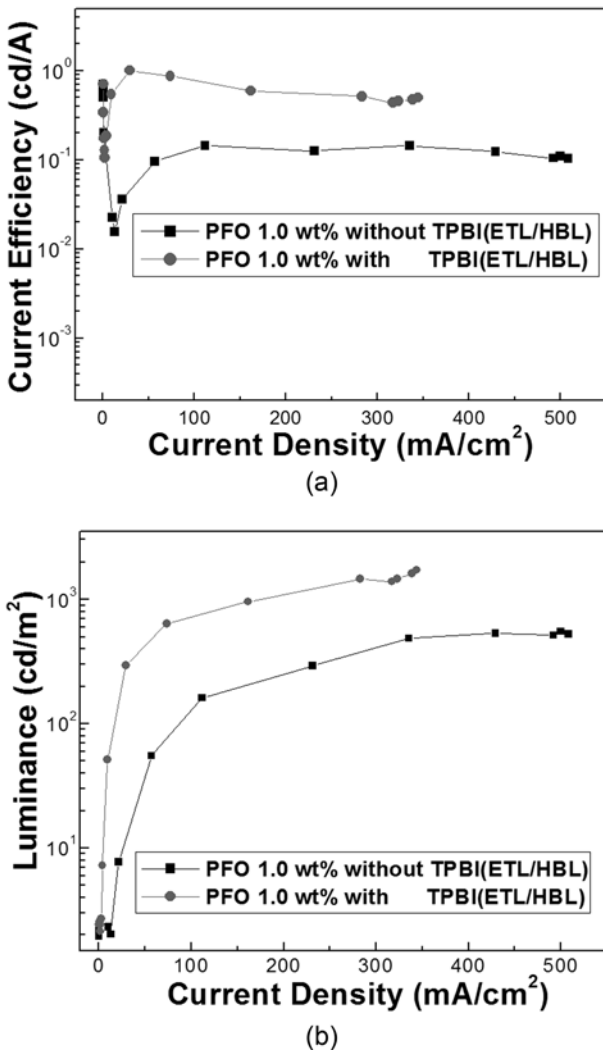


Fig. 7. (a) Current efficiency versus current density and (b) luminance versus current density characteristics of PLED devices with and without TPBI ETL at 1.0 wt% PFO concentration.

다. 또한 TPBI 전자 수송층이 삽입된 소자의 경우 PFO 발광층의 최저 농도에서 최대 농도간의 전류효율의 값의 변화율은 약 2.6배로 TPBI 전자 수송층이 삽입되지 않은 소자의 약 8.4배의 변화율에 비하여 낮게 나타났다. 따라서 전자 수송층의 삽입은 PLED 소자의 효율을 개선시킬 뿐만 아니라 발광층의 농도 변화에 따른 소자 특성의 변화에 대하여 보다 덜 민감한 특성을 보인다.

본 연구에서는 TPBI 전자 수송층의 유·무에 상관없이 제작된 PLED 소자는 PFO 발광층의 농도가 1.0 wt%에서 최대 휘도값을 나타내었다.

Fig. 7에는 1.0 wt%의 PFO 발광층의 농도에서 TPBI 전자 수송층의 삽입 여부에 따른 전류효율-전류밀도 특성(a)과 전류밀도의 변화에 따른 휘도 변화 특성(b)을 보여준다. 문턱전압(at 10 cd/m²) 이하에서 전류밀도의 증가에 따른 PLED 소자의 휘도는 급속히 증가하는 경향을

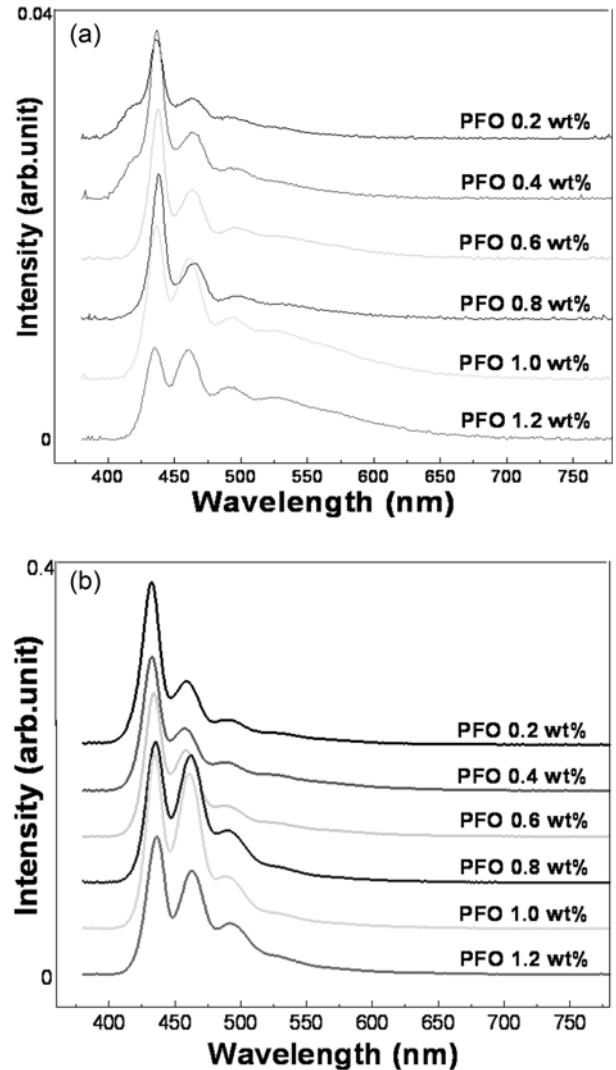


Fig. 8. The emission spectra of PLED devices at various PFO concentrations (a) without and (b) with TPBI ETL.

보인다. 그러나 PLED 소자의 휘도가 100 cd/m² 이상에서는 전류밀도의 증가에 대하여 휘도는 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 문턱전압 이하에서 전류효율의 급격한 변화는 저 전류밀도에서 발생하는 미소 휘도의 변화율에 의한 것으로 큰 의미를 갖지 않을 것으로 판단된다. 100 cd/m² 이상의 휘도에서 전류밀도의 증가에 따른 전류효율의 변화는 TPBI 전자 수송층이 없는 경우 0.145~0.104 cd/A로, TPBI 전자 수송층이 삽입된 경우 0.596~0.501 cd/A로 전류밀도가 증가할수록 전류효율은 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 이는 전류밀도가 증가로 인한 소자내의 열화 현상에 의하여 엑시톤의 비발광 소멸(quenching) 확률이^{12,25)} 점차 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 PFO 발광층의 농도 변화와 TPBI 전자 수송층의 유·무에 따른 PLED 소자의 최대 휘도에서의 발광스펙트럼(EL spectrum)을 보여준다. 제작된 모든 PLED

Table 1. Summarized the electrical and optical properties of the PLED without and with TPBI ETL at various PFO concentrations.

	PFO Concentration (wt %)	Current Density at 100 cd/m ² (mA/cm ²)	Max. Luminance at Voltage (cd/m ²)	Current Efficiency at Max. Lumi. (cd/A)	Turn-on Voltage (V)	CIE (x,y)
Without TPBI	0.2	788.6	117 at 11 V	0.015	7	0.17,0.12
	0.4	415.6	206 at 11 V	0.030	7	0.17,0.13
	0.6	177.7	413 at 11 V	0.064	6	0.19,0.13
	0.8	77.2	487 at 12 V	0.084	6	0.18,0.14
	1.0	74.4	553 at 13 V	0.110	7	0.21,0.23
	1.2	53.7	479 at 14 V	0.126	8	0.22,0.25
With TPBI	0.2	63.5	1020 at 12 V	0.202	5	0.17,0.09
	0.4	33.8	1281 at 11 V	0.291	5	0.17,0.08
	0.6	31.6	1451 at 11 V	0.353	6	0.16,0.08
	0.8	13.5	1521 at 11 V	0.479	5	0.16,0.10
	1.0	11.1	1724 at 12 V	0.501	6	0.16,0.11
	1.2	17.9	1612 at 13 V	0.531	7	0.16,0.13

소자에서 발광 파장(wavelength) 특성은 435, 462, 그리고 491 nm의 3개의 주요 발광 피크(peak)가 관찰되었다. Fig. 8(a)의 TPBI 전자 수송층이 없는 경우 PFO의 농도 범위 0.2에서 0.8 wt%의 발광 파장은 거의 유사하게 관찰되었다. 그러나 1.0 wt%의 농도에서부터 462와 491 nm의 발광 파장이 점차 증가는 경향을 보였으며, 1.2 wt%에서는 435 nm 발광 파장이 크게 감소하였다. TPBI 전자 수송층의 삽입한 소자의 경우 PFO의 농도가 0.2에서 1.0 wt%로 증가할수록 435 nm의 발광 파장은 거의 유사한 강도로 나타났다. 그러나 0.8 wt% 이상에서 462, 491 nm의 발광 파장의 강도는 두드러지게 증가하였다. PFO의 농도가 1.0에서 1.2 wt%로 증가할 경우 두 소자 모두 435, 462 nm의 발광 피크의 강도가 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 열화에 의한 농도 소광 현상에 의한 것으로 사료된다. TPBI 전자 수송층이 삽입된 경우 PFO 발광층의 각 농도에서 상대적인 발광 강도(light intensity)는 0.04에서 0.4로 전자 수송층이 없는 소자의 발광 강도에 비하여 빛의 세기가 약 10배 증가하였다. 최대 휘도를 나타낸 1.0 wt%의 PFO 발광층의 농도에서 CIE 색좌표는 TPBI 전자 수송층이 삽입되지 않은 경우 (x, y)=(0.21, 0.23), TPBI 전자 수송층이 삽입된 경우 (x, y)=(0.16, 0.11)로 나타나 TPBI 전자 수송층을 삽입한 경우의 소자에서 보다 순수한 청색 발광을 관찰하였다. 이러한 결과로부터 TPBI 전자 수송층의 삽입은 PFO 발광층에서 전자-정공의 재결합을 향상시킴으로써 휘도, 전류효율 등의 전기적 특성 뿐만 아니라 PLED 소자의 광학적 특성의 향상에도 기여함을 알 수 있다.

Table 1에는 TPBI 전자 수송층의 유·무에 따라 제작된 PLED 소자의 각각의 PFO 발광층의 농도에 대한 전

기·광학적 특성을 요약하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 ITO/glass 기판에 정공 주입층으로 PEDOT:PSS와 다양한 농도를 갖는 PFO 발광층을 스펀코팅하고, 전자 수송층으로 TPBI를 진공 열증착하여 ITO/PEDOT/PFO/LiF/Al과 ITO/PEDOT/PFO/TPBILiF/Al 구조를 갖는 2 종류의 PLED 소자를 제작한 후 특성을 비교, 평가하였다. 동시에 TPBI 전자 수송층이 PLED 소자의 전기·광학적 특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. TPBI 전자 수송층을 삽입하지 않은 경우 PFO 발광층의 농도가 0.2에서 1.0 wt%로 증가함에 따라 PLED 소자의 최대 휘도는 117에서 553 cd/m²로 증가하였고, 전류 효율도 0.015에서 0.110 cd/A로 증가하였다. TPBI 전자 수송층을 삽입한 소자의 경우 동일한 PFO 발광층의 농도 조건에서 최대 휘도는 1020에서 1724 cd/m²로 증가하였고, 전류 효율도 0.202에서 0.501 cd/A로 증가하였다. 또한 최대 휘도를 나타낸 1.0 wt%의 PFO 발광층의 농도에서 TPBI 전자 수송층을 삽입한 소자의 색좌표는 (x, y)=(0.16, 0.11)로 TPBI 전자 수송층을 적용하지 않은 소자 (색좌표 (x, y)=(0.21, 0.23))에 비하여 보다 순수한 청색 발광을 구현하였다. 본 연구를 통하여 PLED 소자의 제작에 있어서 TPBI 전자 수송층의 삽입은 발광층의 농도 변화와 상관없이 소자의 전기·광학적 특성을 크게 향상시킬 수 있다.

감사의 글

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2008-314-D00211).

참 고 문 헌

1. Y. Xu, J. Peng, Y. Mo, Q. Hoe and T. Cao, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 163502 (2005).
2. J. G. Jang, S. J. Shin, E. J. Kang, H. W. Kim, H. J. Chang, M. W. Oh, Y. S. Kim, J. Y. Lee, M. S. Gong and Y. K. Lee, *Kor. J. Mater. Res.*, **16**(4), 253 (2006).
3. B. W. D'Andrade, R. J. Holmes, S. R. Forrest, *Adv. Mat.*, **16**, 624 (2004).
4. M. Mazzeo, D. Pisignano, F. Della Sala, J. Thompson, R. I. Blyth, G. Gigli, G. Sotgiu and G. Barbareia, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 334 (2003).
5. S. C. Chang, J. Liu, J. Bharathan, Y. Yang, J. Onohara and J. Kido, *Adv. Mat.*, **11**(9), 734 (1999).
6. D. H. Lee, J. S. Choi and S. M. Cho, *Digest of Technical Paper of 7th IMID (EXCO, Deagu, Korea, August 2007) Vol. 7, P1-55, 694 (2007).*
7. A. Duggal, *Advanced Technology Leader Electronics Materials Systems, General Electronic On the Web*. Retrieved March 11th, 2008 from <http://ge.geglobalresearch.com/blog/worlds-first-demonstration-of-roll-to-roll-processed-oleds>.
8. W. G. Suh and D. G. Moon, *J. KIEEME (in Korean)*, **22**(4), 323 (2009).
9. W. K. Kim, H. S. Kim, H. K. Shin and J. G. Jang, *Kor. J. Mater. Res.*, **19**(5), 240 (2009)
10. W. C. H. Choy, K. N. Hui, H. H. Fong, Y. J. Liang and P. C. Chui, *Thin Solid Films*, **509**, 193 (2006).
11. C. Adacci, M. A. Baldo, M. E. Thompson and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.*, **90**(10), 5048 (2001).
12. M. Ben Khalifa, D. Vaufrey and J. Tardy, *Org. Electron.*, **5**, 187 (2004).
13. J. Davenas, S. Besbes, H. Ben Ouada and M. Majdoub, *Mater. Sci. Eng. C*, **21**, 259 (2002).
14. J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns and A. B. Holmes, *Nature*, **347**, 539 (1990).
15. A. O. Sevim and S. Mutlu, *Org. Electron.*, **10**, 18 (2009).
16. H. S. Woo, B. S. Kim, C. G. Kim, J. J. Oh, M. S. Kim, S. J. Park, T. W. Kwon, S. J. Cho, D. K. Park and S. H. Jin, *J. Cryst. Growth*, **288**, 137 (2006).
17. J. Y. Lee, *J. Information Display*, **8**(3), 1 (2007).
18. S. C. Gong and H. J. Chang, *Kor. J. Mater. Res.*, **19**(6), 313 (2009)
19. C. M. Yang, H. H. Liao, S. F. Horng, H. F. Meng, S. R. Tseng and C. S. Hsu, *Synthetic Met.*, **158**, 25 (2008).
20. P. I. Lee, S. L. C. Hsua and C. T. Chung, *Synthetic Met.*, **156**, 907 (2006).
21. I. M. Chan, F. C. N. Hong, *Thin Solid film*, **444**, 254 (2003).
22. K. S. Yang, B. S. Kim, D. S. Kim, H. K. Shin and Y. S. Kwon, *Trans. KIEE*, **54C**(1), 8 (2005).
23. Z. Zhao, J. H. Li, P. Lu and Y. Yang, *Adv. Funct. Mat.*, **17**, 2203 (2007).
24. V. I. Adamovich, S. R. Cordero, P. I. Djurovich, A. Tamayo, M. E. Thompson, B. W. D'Andrade and S. R. Forrest, *Org. Electron.*, **4**, 77 (2003).
25. A. W. Grice, D. D. C. Bradley, M. T. Bernius, M. Inbasekaran, W. W. Wu and E. P. Woo, *Appl. Phys. Lett.*, **73**(5), 629 (1998).