

7층 적층구조 배면발광 청색 OLED의 발광 특성 연구

최규철, 김덕열, 장상목*

동아대학교 화학공학과

49315 부산광역시 사하구 낙동대로 550번길 37(하단동)

(2023년 10월 11일 접수; 2023년 11월 1일 수정본 접수; 2023년 11월 1일 채택)

A Study on the Bottom-Emitting Characteristics of Blue OLED with 7-Layer Laminated Structure

Gyu Cheol Choi, Duck-Youl Kim, and SangMok Chang*

Department of Convergence Science & Technology, Dong-A University,

37, Nakdong-daero 550beon-gil, Saha-gu, Busan 49315, Republic of Korea

(Received for review October 11, 2023; Revision received November 1, 2023; Accepted November 1, 2023)

요 약

최근 많은 정보를 신속하게 전달하기 위한 방법으로 디스플레이의 역할은 아주 중요하며 다양한 색을 자연색에 가깝게 재현하기 위한 연구가 진행 중이다. 특히 정확하고 풍부한 색을 표현하기 위한 방법으로 발광 구조에 대한 연구가 진행되고 있다. 기술의 고도화, 디바이스의 소형화로 인해 작지만 높은 시인성과 에너지 소모에서 높은 효율을 가진 디스플레이의 필요성이 지속적으로 증가되고 있는 실정이다. OLED의 효율을 향상시키기 위해서는 운반자 주입의 향상, 전자와 정공이 수적인 균형을 이루며 효율적으로 재결합 할 수 있는 소자의 구조, 발광 효율이 큰 물질의 개발 등 OLED의 효율을 향상시키고자 하는 노력은 다방면에서 진행되고 있다. 본 연구에서는 7층 적층구조 배면발광 청색 OLED 소자의 전기적 특성 및 광학적 특성을 분석하였다. 소자는 제작이 용이하며, 고효율 및 고휘도화가 가능한 Blue 발광물질인 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)를 사용하였다. OLED 소자 제작은 SUNICEL PLUS 200 시스템을 이용하여 5×10⁻⁸ Torr 이하의 고진공 상태에서 In-Situ 방식으로 증착하였다. Electron or Hole Injection Layer(EIL or HIL) Electron or Hole Transport Layer(ETL or HTL) 등이 추가된 5층 구조에 Electron or Hole Blocking Layer(EBL or HBL)을 추가한 7층 구조로 실험을 진행하였다. 제작한 소자의 전기적, 광학적 특성을 분석한 결과 EBL 층과 HBL 층을 삽입하여 색의 확산을 방지한 소자는 색 순도가 우수하게 나타났다. 본 연구결과를 이용하여 청색 OLED 디스플레이 소자의 연구 개발 기초 및 실용화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : OLED, 배면발광, 7층 적층구조, EBL, HBL

Abstract : Recently, displays play an important role in quickly delivering a lot of information. Research is underway to reproduce various colors close to natural colors. In particular, research is being conducted on the light emitting structure of displays as a method of expressing accurate and rich colors. Due to the advancement of technology and the miniaturization of devices, the need for small but high visibility displays with high efficiency in energy consumption continues to increase. Efforts are being made in various ways to improve OLED efficiency, such as improving carrier injection, structuring devices that can efficiently recombine electrons and holes in a numerical balance, and developing materials with high luminous efficiency. In this study, the electrical and optical properties of the seven-layer stacked structure rear-light emitting blue OLED device were analyzed. 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl:Ir(difppy)2(pic), a blue light emitting material that is easy to manufacture and can be highly efficient and brightened, was used. OLED device manufacturing was performed via the in-situ method in a high vacuum state of 5×10⁻⁸ Torr or less using a Sunicel Plus 200 system. The experiment was conducted with a seven-layer structure in which an electron or hole blocking layer (EBL or HBL) was added to a five-layer structure in which an electron or hole injection layer (EIL or HIL) or an electron or hole transport layer (ETL or HTL) was added. Analysis of the electrical and optical properties showed

* To whom correspondence should be addressed.

Email: smjang@dau.ac.kr; Tel: +82-51-200-7726; Fax: +82-51-200-7728

doi: 10.7464/ksct.2023.29.4.244 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

that the device that prevented color diffusion by inserting an EBL layer and a HBL layer showed excellent color purity. The results of this study are expected to greatly contribute to the R&D foundation and practical use of blue OLED display devices.

Keywords : OLED, Bottom-emitting, 7-Layer laminated structure, EBL, HBL

1. 서 론

최근 Organic Light Emitting Diodes(OLED)는 상업적 효용성과 학문적 가치로 인해 많은 연구가 진행되고 있으며, 고효율 소자 제작에 관한 연구가 많은 각광을 받고 있다[1]. 특히, 유기물을 사용한 OLED의 경우에는 분자량이 작고 photoluminance(PL) 특성이 좋은 기능성 저분자(functional small molecule)를 이용한 연구와 전도성이 좋은 고분자를 이용한 연구가 활발히 진행 중이다[2]. OLED는 저전압구동, 높은 발광 효율, 넓은 시야각, 그리고 빠른 응답속도 등의 장점을 가지고 있어서 고화질 동영상 표현할 수 있는 차세대 평판 디스플레이 기술 중의 하나로서 현재 제품화를 위한 기술개발이 활발하게 진행되고 있으며[3,4]. 기술이 발전함에 따라 적용 수도 더욱 다층막 화 되고 있다.

기존 OLED의 구조는 Figure 1과 같이 전자와 정공들이 각각 음극과 양극으로부터 보다 쉽고 충분하게 주입되도록 하기 위한 전자 혹은 정공 주입층(Electron or Hole Injection Layer, EIL or HIL), 양쪽 방향에서 주입된 전자와 정공들이 서로 개수와 속도의 균형을 가지고 발광층까지 이동하기 위한 전자 혹은 정공 수송층(Electron or Hole Transport Layer, ETL or HTL) 등이 추가된 5층 구조로 구성되어 있다. 이 구조는 EIL과 HIL로 주입된 전자와 정공이 각각 발광층(EML)을 지나 반대로 이동하게 되는데 이는 OLED의 효율이 떨어지고 소자의 수명에도 좋지 않은 영향을 미치는 것이 단점이다[5]. 본 연구에서는 Figure 1과 같이 발광층에 도달한 정공과 전자가 발광층을 지나 반대쪽으로 더 진행하지 않고 발광층 내에 머무르면서 계속 결합을 시도할 수 있도록 전자 혹은 정공의 차단층(Electron or Hole Blocking Layer, EBL or HBL)을 추가한 7층 다층막 구조로 소자를 제작하여 실험을 진행하고자 한다. 소자는 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)을 사용하여 제작하고

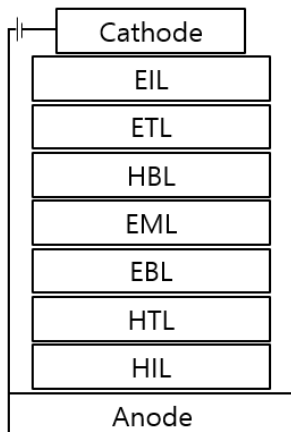


Figure 1. 7-Layer laminated structure OLED.

4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)의 전기적, 광학적 특성과 OLED 효율 향상에 관하여 연구하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에서는 정공수송층으로 대표적인 물질인 Di-[4-(N,N-di-p-tolyl-amino)-phenyl]cyclohexane를 사용하였다. 정공수송층으로 사용되는 Di-[4-(N,N-di-p-tolyl-amino)-phenyl]cyclohexane는 양극으로부터 정공의 주입을 원활하게 하여 소자의 효율을 향상시킨다. 그리고 발광층(Emitting Layer) 물질로 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic) 전자수송층(Electron Transporting Layer)물질로는 1,3,5-Tri[(3-pyridyl)-phen-3-yl]benzene : 8-Hydroxyquinolinolato-lithium을 사용하였다. Figure 2(a), (b)는 CBP와 Flrpic의 화학 구조이다. CBP:Flrpic의 전기적, 광학적 특성을 알아보기 위해 Voltage - Luminance, Current Density - Luminance, Luminance - Efficiency, wavelength - EL intensity, CIE 좌표 등을 측정하였다.

소자 제작을 위한 장비는 Sunic System LTD 사의 SUNICEL plus200을 사용하였고 광학적 특성 분석 장비로는 Konica Minolta CS-1000을 전기적 특성 분석 장비는 Keithley Instruments 사의 Keithley 236을 사용하였고 도출된 데이터 값을 분석하기 위해 McScience 사의 M6100 OLED IVL TestSystem을 사용하였다.

OLED 소자 제작은 SUNICEL PLUS 200 시스템을 이용하여 5×10^{-8} Torr 이하의 고진공 상태에서 In-Situ 방식으로 증착하였다. 유기박막의 증착 과정에서는 우선 패터닝된 기판을 PT (Plasma Treatment Chamber)에 넣고 O₂와 Ar을 사용하여 플라즈마 처리하였다. OLED 제작에서 선행 플라즈마 처리는 양극으로부터 정공주입 장벽을 낮추고, 표면 오염제거 및 ITO와 유기막과의 접착력을 개선시켜 준다. 이후 시료를 고진공 상태에서 OC(Organic Chamber)로 옮기고, TAPC:MoO₃를 사용하여 약 100 Å 두께의 정공 주입층(Hole Injection Layer: HIL)과 TAPC를 사용하여 약 1250 Å의 정공 수송층(Hole Transport Layer: HTL)과 TCTA를 사용하여 50 Å의 전자 차단층을 형성

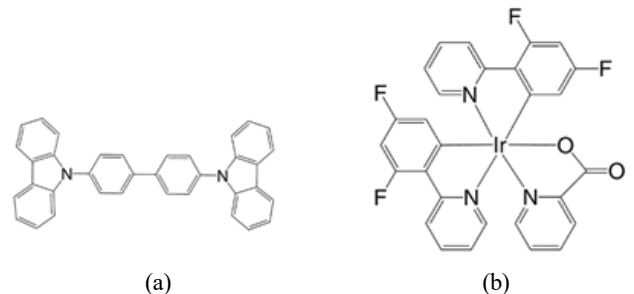


Figure 2. (a) Chemical structure of CPB (b) chemical structure of flrpic.

하였다 다음으로 Fine Mask를 사용하여 CBP와 FIrpc를 194:6의 비율로 조정하여 약 200Å 두께로 진공 증착함으로써 형광층을 형성하였다. 계속하여 DPEPO를 사용하여 정공 차단층으로 약 50 Å의 두께로 형성하고 전자 수송층(Electron Transport Layer: ETL)으로 약 300 Å 두께의 TmPyPB:Liq를 증착한 후, 시료를 MC(MetalChamber)로 옮겨 최종적으로 약 5 Å 두께의 전자 주입층(Electron Injection Layer: EIL)과 약 1200 Å 두께의 Al-음극을 순차적으로 증착하였다. 모든 측정은 DC 전압에서 측정하였다. 본 실험에서는 같은 방법으로 같은 소자 3개를 만들어 각각 소자의 특성을 분석하여 표준편차를 확인하였다. 소자의 전압-전류밀도 특성과 전압-휘도 특성은 McScience 사의 IVL Test System(M6100)을 이용하여 분석하였다.

3. 실험 결과

3.1 광학적 특성

본 실험에서 사용된 소자의 광학적 특성을 알아보기 위해 EL 스펙트럼을 측정하였다. Table 1과 같은 조건으로 제작한 소자의 최고 휘도일 때 EL 스펙트럼을 Figure 4에 나타내었다. 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)를 발광층으로 사용한 소

Table 1. Element structure used in the experiment

	Bottom Emission Blue	
	Structure	Thickness[Å]
Anode	ITO	
HIL	TAPC:MoO ₃	100 (97:3(3%))
HTL	TAPC	1250
EBL	TCTA	50
EML	CBP:FIrpc	200 (194:6(3%))
HBL	DPEPO	50
ETL	TmPyPB:Liq	300 (150:150)
EIL	Liq	5
Cathode	Al	1200

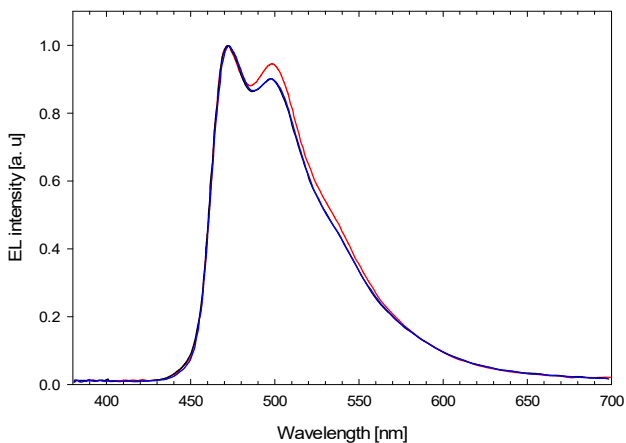


Figure 3. Typical EL Spectra of the fabricated device.

자는 EL 스펙트럼 측정 결과 최고 피크 471 nm, 471 nm, 497 nm로 모두 청색 발광함을 알 수 있었다.

3.2 전기적 특성

3.2.1 전압에 따른 전기적 특성 분석

본 실험에서 사용된 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)의 전압에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 같은 구조의 소자 3개를 제작하여 전압 - 휘도, 전압 - 전류밀도, 전압 - 효율 특성을 측정하였다. Figure 4는 전압 - 휘도 그래프이다. 1,000 cd/m²의 빛을 내기 위해서는 6.38 V일때 가장 낮은 전압에서 1,000 cd/m²의 빛을 내는 것을 알 수 있다. Figure 5는 전류밀도(J)-전압(V)의 그래프이다. 소자의 임계 전압은 약 4.5 V로 나타나고, 전류밀도 10 mA/cm²에서 6.86 V일때 발광함을 알 수 있다. Figure 6은 전압에 따른 유기 발광 소자의 효율(cd/A)을 나타내었다. 소자의 최소 구동전압에서 최대 전류효율은 21.4 cd/A일 때 가장 높은 효율을 보였다.

3.2.2 전류밀도에 따른 전기적 특성 분석

본 실험에서 사용된 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)의 전압에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 전류밀도 -

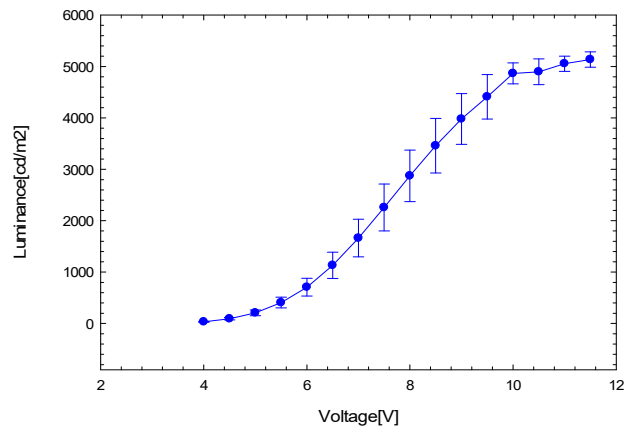


Figure 4. Voltage vs luminance relation of the fabricated OLED device.

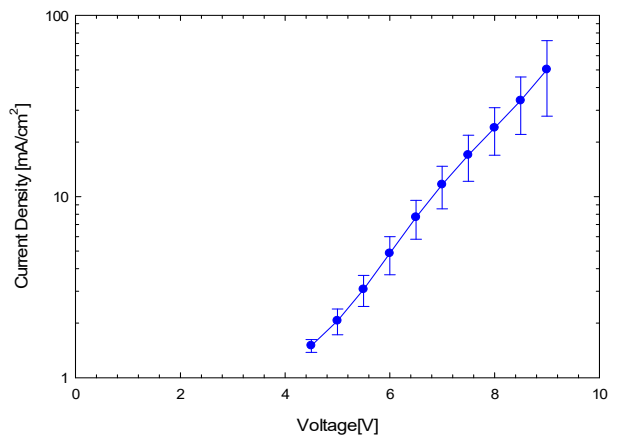


Figure 5. Voltage vs current density relation of the fabricated OLED device.

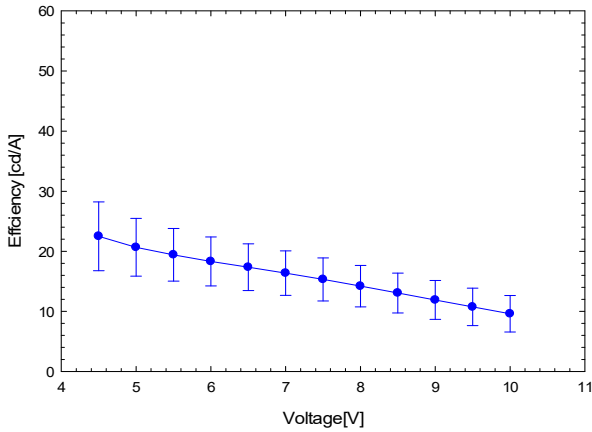


Figure 6. Voltage vs Efficiency relation of the fabricated OLED device.

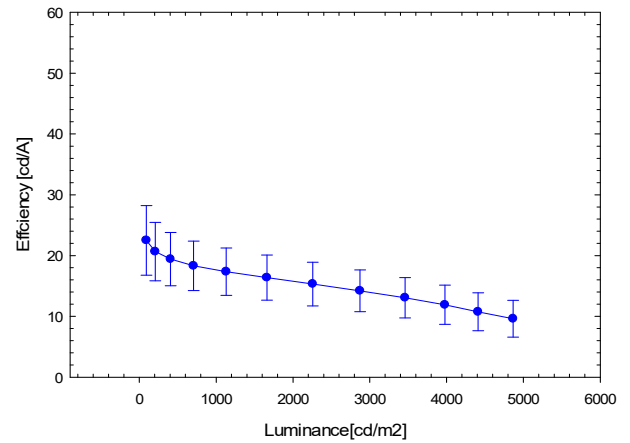


Figure 9. Luminance vs efficiency relation of the fabricated OLED device.

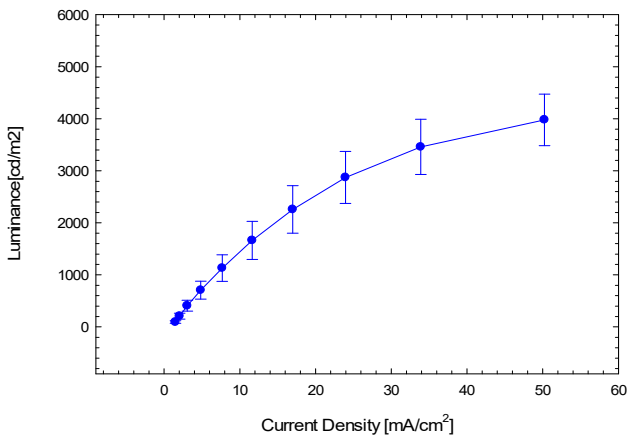


Figure 7. Current density vs luminance relation of the fabricated OLED device.

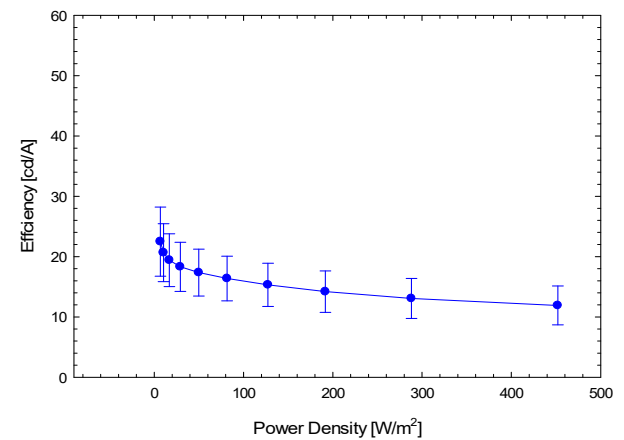


Figure 10. Power density vs efficiency relation of the fabricated OLED device.

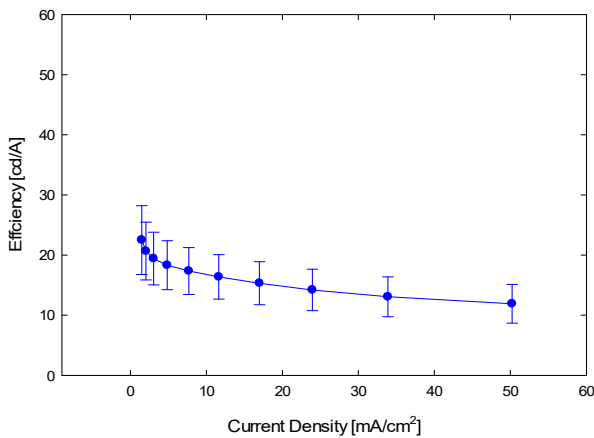


Figure 8. Current density vs efficiency relation of the fabricated OLED device.

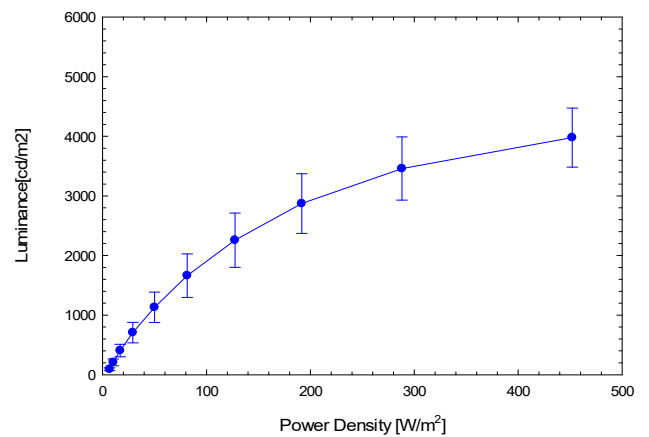


Figure 11. Power density vs Luminance relation of the fabricated OLED device.

휘도, 전류밀도 - 효율 특성을 측정하였다. Figure 7은 소자의 전류밀도 - 휘도 특성을 나타낸 것이다. 소자의 최고 휘도는 4,155[cd/m²]로 OLED 소자의 발광층으로 사용가능한 휘도 특성을 알 수 있었다. Figure 8은 소자의 전류밀도 효율(cd/A)을 나타낸 것이다 최대 전류효율은 21.4 cd/A로 측정되었다. OLED는 전류구동 소자이므로 전압 - 휘도 그래프와 유사한 움직임을 볼 수 있다.

3.2.3 밝기에 따른 전기적 특성 분석

본 실험에서 사용된 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)의 전압에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 소자를 제작 하여 휘도 - 효율 특성을 측정하였다. Figure 10은 휘도 - 효율 특성을 나타낸 것이다. 소자 발광층의 휘도가 증가함에 따라 효율이 감소함을 알 수 있다.

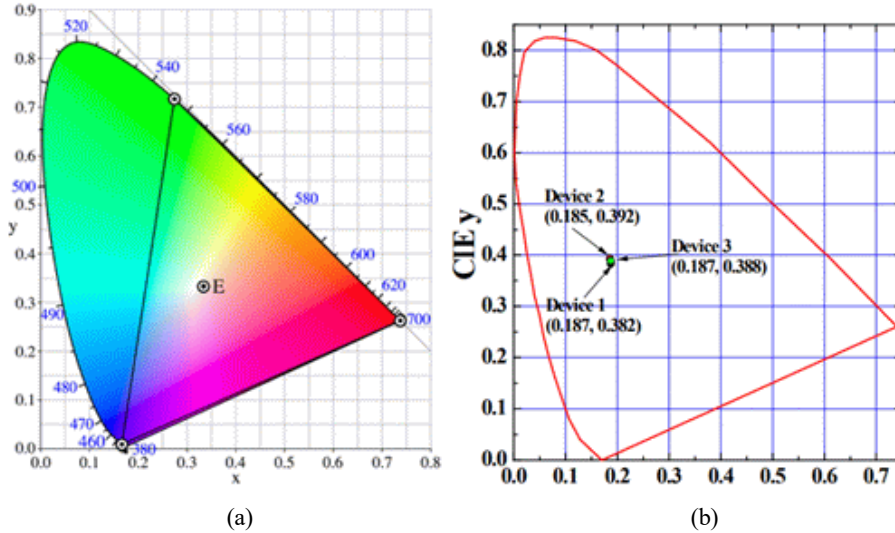


Figure 12. Standard CIE color coordination (a) and the locations (b) of employed devices.

3.2.4 전력밀도에 따른 전기적 특성 분석

본 실험에서 사용된 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)biphenyl : Ir(difppy)2(pic)의 전압에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 소자를 제작 하여 전력밀도 - 효율, 전력밀도 - 휘도 특성을 측정하였다.

나타나는 것으로 보아 추 후 단일 피크가 나올 수 있도록 추가적인 연구가 필요해 보이며, 향후 소자를 제작할 때 EBL층과 HBL층이 있는 7층 다층막 구조 OLED의 효율이 기존 OLED 보다 높을 것으로 생각된다.

3.3 색좌표 분석

Figure 12(a)는 CIE 색좌표, (b)는 각 소자의 CIE 표색계를 나타낸 것이다. 각 소자의 CIE 표색계가 각각 (0.187, 0.382), (0.185, 0.392), (0.187,0.388)로 나타났으며 모두 청색 발광함을 알 수 있다.

References

4. 결 론

본 연구에서는 7층 적층구조 배면발광 청색 OLED 소자를 같은 방식으로 3개 제작하여 소자에 따른 전기적 특성 및 광학적 특성을 분석하였다. Electron or Hole Injection Layer(EIL or HIL) Electron or Hole Transport Layer(ETL or HTL) 등이 추가된 5층 구조에 Electron or Hole Blocking Layer(EBL or HBL)을 추가한 7층 구조로 실험을 진행한 결과 동일한 제작방법으로 제작한 소자임에도 불구하고 일부 편차가 나타났지만 EBL층과 HBL층을 삽입하여 발광층에서 정공과 전자의 이동을 제한시켜 색의 확산을 방지한 결과 두께 변화와 관계없이 색 순도가 우수하게 나타났다. 실험결과 소자 모두 청색 발광함을 알 수 있지만 EL스펙트럼에서 청색 피크 이외에 적색 피크가

1. Yang, K.-S., Shin, H.-K., Kim, C., and Kwon, Y.-S., "Photoluminescent and Electroluminescent Investigations of OLEDs Using Alq2-Nq," *Colloids and Surfaces A: Physico-chemical and Engineering Aspects*, **257-258**, 63-66 (2005).
2. Ichikawa, M., Fujimoto, S., Miyazawa, Y., Koyama, T., Yokoyama, N., Miki, T., and Taniguchi, Y., "Bipyridyl Substituted Triazoles as Hole-blocking and Electron-Transporting Materials for Organic Light-emitting Devices," *Organic Electronics*, **9**, 77-84 (2008).
3. Friend, R. H., Gymer, R. W., Holmes, A. B., Burroughes, J. H., Marks, R. N., Taliani, C., Bradley, D. D. C., Dos Santos, D. A., Bredas, J. L., Logdlund, M., and Salaneck, W. R., "Electroluminescence in Conjugated Polymers," *Nature*, **397**, 121-128 (1999).
4. Sheats, J. R., Antoniadis, H., Hueschen, M., Leonard, W., Miller, J., Moon, R., Roitman, D., and Stocking, A., "Organic Electroluminescent Devices," *Science*, **273**, 884-889 (1996).
5. <https://jbkist.tistory.com/3535> (accessed Oct. 2023).