

단일발광층을 이용한 백색 OLED

추혜용, 이정익, 양용석, 오지영, 박상희, 김미경, 황치선, 정병준*, 심홍구*, 장진**

한국전자통신연구원 기반기술연구소

* 한국과학기술원 화학과

**경희대학교 정보디스플레이학과

White OLEDs with a Single Emissive Layer

Hye Yong Chu, Jeong-Ik Lee, Yong Suk Yang, Jiyoung Oh, Sang-Hee Ko Park,

Mi Kyung Kim, Chi-Sun Hwang, Byung-Jun Jung*, Hong-Ku Shim*, Jin Jang**

Basic Research Lab., ETRI

* Dept. Chemistry, KAIST

** Dept. information Display, KyungHee University

Abstract

We demonstrated efficient white light emitting OLEDs with a single emissive layer structure, which was blue-emitting 1,4-bis[2,2-diphenylvinyl]biphenyl (DPVBi) doped with blue luminescent amino-substituted distyrylarylene amine (DSA-amine) and red luminescent [2,6-bis[2-[5-(dibutylamino)phenyl]vinyl]-4H-pyran-4-ylidene]propanedinitrile (DADB). Through the optimization of the device structure, the white light emission with full visible spectral range was obtained. Its CIE color coordinates was (0.32,0.42) at 10 mA/cm² and the external quantum efficiency, the luminance efficiency and the luminance yield were 3.7 %, 3.3 lm/W and 9.0 cd/A, respectively.

Key Words : OLED, White light emitting, Single emissive layer, Luminance efficiency, DADB

1. 서론

OLED 디스플레이의 고정세 및 대면적 구현을 위해서는 기존의 shadow mask 기술로는 극복하기 어려운 문제점을 가지고 있으므로, 이를 해결하기 위하여 백색 및 컬러필터 혹은 청색 및 컬러변환제에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 백색 OLED는 고정세 및 대면적 디스플레이뿐만 아니라 LCD back-light, 조명등 다양한 응용 분야를 갖는다.

1995년 Yamagata 대학의 Kido 교수가 처음으로 세 종류의 발광층을 적층하여 백색 OLED를 구현 하였으며[1], 그 후로 유기소재의 다양성과 면광원

으로의 장점 등으로의 인하여 많은 응용 연구들이 진행되고 있다.

백색 OLED가 디스플레이뿐만 아니라 범용의 광원으로 활용할 수 있기 위해서는 고효율, 장수명의 특성과 함께, (0.33,0.33)에 근접하는 CIE 색좌표와 자연광에 근접하는 색온도 (CCT) 및 연색지수 (CRI)가 요구된다. 연색지수 (color rendering index; CRI)는 자연의 색을 재현해 주는 능력으로 Ra로 나타내며 0~100의 값을 갖는다. 5,500 K 온도의 여름 정오 태양광을 표준광 (100 Ra)으로 하여 광원 아래에서 본 피사체의 색 재현 능력을 수치로 나타내는 것으로 연색지수가 높을수록 재현성이 우수한 광원이다.

백색 OLED의 구현방법으로는 서로 보색관계를 갖는 발광소재를 적층하거나 섞는 보색구조와 RGB 컬러의 소재를 적층하거나 섞는 RGB 구조로 나뉘어진다.[2-6] 보색구조는 소자의 제작이 간단하고 효율이 높은 장점이 있다. 그러나 두 파장 가시광만으로 백색이 구현됨으로써 CRI가 낮아 자연색을 구현하는 데 어려움이 있다. 반면, RGB 색 구조의 백색 OLED는 CRI가 높아 자연색을 구현하는 용이하나 구조가 복잡하거나, 소재간의 에너지 전이 제어가 용이하지 않아 효율이 낮고 소자 안정성이 좋지 않은 단점이 있다. 따라서 간단한 구조로 고효율의 RGB 컬러를 구현할 수 있는 소재나 소자에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 단일발광층을 갖는 간단한 구조를 이용하여 RGB 세 파장의 발광특성을 얻을 수 있는 소자의 구조를 제시하고 그 특성을 조사하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 단일 발광층 백색 OLED (Single Emissive Layer White OLED ; SEL-WOLED)는 그림 1과 같이 투명전극(양극)/정공주입층/정공수송층/발광층/정공장벽층/전자주입층/음극의 구조로 이루어진다. 발광층은 청색발광소재인 1,4-bis[2,2-diphenylvinyl]biphenyl (DPVBi)를 호스트로 하여 청색 dopant인 DSA-amine과 적색 dopant인 [2,6-bis[2-[5-(dibutylamino)phenyl]vinyl]-4H-pyran-4-ylidene]propanedinitrile (DADB)를 일정한 무게비로 동시에 증착하여 제작하였다. 정공주입층(Hole Injection Layer ; HIL)으로 PEDOT:PSS, 정공수송층(Hole Transport Layer ; HTL)으로 NPB, 정공장벽층(Hole

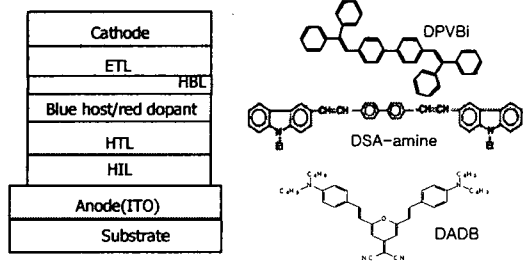


그림 1. SEL-WOLED 소자 구조 및 발광소재의 화학구조.

Blocking Layer ; HBL)으로 BCP, 전자주입층(Electron Transport Layer ; ETL)으로 Alq3가 사용되었다. 양극으로는 Geomatec 사의 면저항 10 ohm/sq인 ITO가 사용되었으며, 음극으로는 LiF/Al을 사용하였다. 유기박막 및 음극은 2×10^{-7} torr의 진공에서 열증착 방법으로 제작되었다. 이상으로 만들어진 소자의 면적은 2 mm x 2 mm이며 봉지 없이 상온에서 전기발광 특성을 측정하였다. EL 스펙트럼과 I-V-L 특성은 Minolta CS-1000과 Minolta LS-100을 Keithley 238 Source-measure unit과 함께 컴퓨터로 제어하며 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1과 같은 구조의 SEL-WOLED의 EL 특성을 최적화하기 위해서는 발광층을 이루는 호스트와 dopant 소재의 선정과 도핑비와 정공장벽층의 소재 선정 및 두께가 매우 중요하다. 즉, 적층구조가 아니고 단일박막층에서 호스트와 dopant의 발광특성을 모두 얻기 위해서는 두 소재간의 에너지 전이가 원활하게 이루어지지 않아야 하며, 도핑량에 따른 색좌표의 변화를 최소화하기 위해서는 소재 선정시 호스트와 dopant의 dipole momentum 또한 중요한 요인이 된다. [7]

본 실험에 사용된 발광층의 호스트 DPVBi와 dopant로 사용되는 DCM 유도체인 DADB 간에는 DPVBi의 EL과 DADB의 흡수 스펙트럼간의 중첩(spectral overlap)이 적고, DADB가 적은 도핑에도 적색 특성을 얻을 수 있으므로 사용되었다.[8] 또한, 두 소재간의 발광효율을 조절하기 위하여 청색 dopant인 DSA-amine을 사용하였다. DPVBi보다 발광효율이 우수하며 적색 dopant간의 스펙트럼 중첩이 적다면 청색 dopant는 사용하지 않아도 청색과 적색의 발광을 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

한편, 단일박막층으로 삼파장의 백색 특성을 얻는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 녹색 발광을 얻기 위해서 전자주입층으로 사용되는 Alq3의 발광을 이용하였다. 위에서 언급한 발광층과 전자주입층사이의 두께가 유기소재의 Forster 에너지 전이 반경보다 작은 정공장벽층을 삽입하여 발광층에서 전자주입층으로 에너지 전이가 일어나도록 조절하였으며, 그 결과 전자주입층의 발광특성을

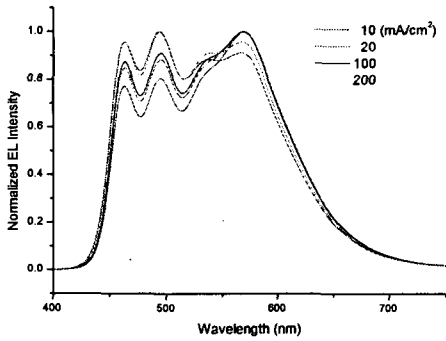


그림 2. SEL-WOLED의 인가전류에 따른 EL 스펙트럼.

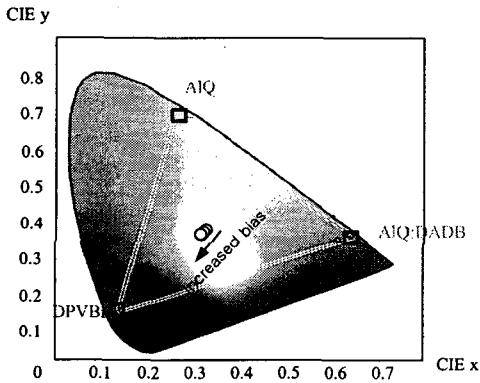


그림 3. SEL-WOLED에 2.5 mA/cm²에서 250 mA/cm²의 전류를 인가했을 때의 CIE 색좌표 변화.

얻을 수 있었다.[9]

그림 3은 청색과 적색 dopant를 각각 0.7 wt.%와 5 wt.%로 도핑한 구조의 인가전류에 따른 EL의 스펙트럼이다. 삼파장의 백색 EL 스펙트럼이 관찰되었으며, 인가전류에 따른 스펙트럼의 변화가 거의 없는 매우 안정된 EL 특성을 보여준다. 그림 3은 인가전류 0.25 mA/cm²에서 250 mA/cm²까지의 인가전류영역에서의 색좌표 변화를 나타낸 것으로 그림 2의 EL 스펙트럼에서도 볼 수 있었듯이 (0.33,0.42)의 CIE 색좌표도 약 100배의 인가전류 변화에서도 거의 변화가 없었다.

그림 4는 SEL-WOLED의 EL 특성 곡선으로 최대 발광 효율(luminance efficiency; lm/W) 및 발광이득(Luminance Yield ; cd/A)이 6.7 lm/W와

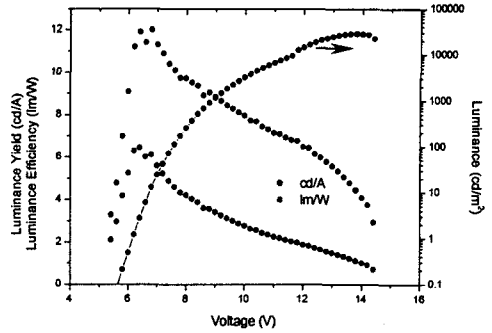


그림 4. SEL-WOLED의 EL 특성 곡선

13 cd/A 이고, 10 mA/cm²의 인가전류에서 외부양자효율 (External quantum efficiency)은 3.7 %, 발광효율은 3.3 lm/W, 발광이득은 9.0 cd/A의 우수한 특성이 관찰되었다. 그러나, 인가전압에 따른 효율의 감소가 빠르게 나타나므로 소자 안정성이 우수하지 못할 것으로 예측된다. 일반적으로 정공주입층으로 PEDOT:PSS가 사용되는 경우에는 OLED 소자의 수명특성이 나빠지는데, 이는 정공주입층과 정공수송층의 계면상의 화학반응 등이 원인으로 생각되어진다. 이는 HIL을 사용하지 않은 소자가 PEDT:PSS를 사용한 소자에 비하여 효율은 약간 떨어지나, 안정성에서 개선된 결과를 얻은 것으로부터도 예측되어진다. 본 연구에서는 새로운 HIL의 도입 및 HIL과 HTL 계면의 제어를 통하여 보다 향상된 특성을 얻기 위한 연구가 계속 수행되고 있다.

그림 5는 PES 기판상에 제작된 SEL-WOLED의 발광 사진이다. PES 기판상에도 유리기판과 유사한 특성을 얻을 수 있었다.



그림 5. 플라스틱 기판상의 SEL-WOLED.

4. 결론

본 연구에서는 단일 발광층 구조로부터 삼파장의 백색 특성을 얻는데 성공하였다. CIE 색좌표가 (0.32, 0.42)이고, 최대 발광효율 및 발광이득이 6.7 lm/W와 13 cd/A의 우수한 특성을 얻었다. 그러나, 여전히 소자 안정성에는 개선이 필요하며, 본 연구에서는 소재의 선정 및 계면개질을 통하여 보다 우수한 SEL-WOLED 특성을 얻기 위한 연구가 진행되고 있다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 연구비로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. Kido, M. Kimura, K. Nagai, "Multilayer White Light-Emitting Organic Electroluminescence Device", *Science*, vol. 267, p. 1332, 1995.
- [2] T. Matsumoto, T. Nakada, J. Endo, K. Mori, N. Kavamura, A. Yokoi, and J. Kido, "Multiphoton Organic EL device having Charge Generation Layer", *SID 03 Digest*, p. 979, 2003.
- [3] P.E. Burrows, V. Khalfin, G. Gu, and S.R. Forrest, "Control of microcavity effects in full color stacked organic light emitting devices", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 4, p. 435, 1998.
- [4] A.R. Duggal, J.J. Shiang, C.M. Heller, and D.F. Foust, "Organic light-emitting devices for illumination quality white light", *Appl.Phys.Lett.*, Vol.80, No.19, p.3470, 2002.
- [5] Y.W. Ko, C.-H. Chung, J.H. Lee, Y.-H. Kim, C.-Y. Sohn, B.-C. Kim, C.-S. Hwang, Y.-H. Song, J. Lim, Y.-J. Ahn, G.-W. Kang, N. Lee, C. Lee, "Efficient white organic light emission by single emitting layer", *Thin Solid Films*, Vol. 426, p.246, 2003.
- [6] H.Y. Chu, J.-I. Lee, L.-M. Do, T.Zyung, B.-J. Jung, and H.-G. Shim, J.Jang,

"Organic white light emitting devices with an RGB stacked multilayer structure", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 405, p.119, 2003.

- [7] V. Bulovic, R. Deshpande, M.E. Thompson, S.R. Forrest, "Tuning the color emission of thin film molecular organic light emitting devices by the solid state solvation effect", *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 308, p.317, 1999
- [8] B.-J. Jung, C.-B Yoon, H.-K. Shim, L.-M. Do, and T. Zyung, "Pure-red dye for organic electroluminescent devices: Bi-condensed DCM derivatives", *Adv. Func. Mater.*, Vol. 11, No.6 p.430, 2001.
- [9] R.S. Deshpande, V. Bulovic, and S.R. Forest, "White-light-emitting organic electroluminescence devices based on interlayer sequential energy transfer", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 75, No. 7, p. 888, 1999.