

에너지전달을 이용한 가시광 Light Source의 발광특성에 관한 연구

구활본, 김주승

전남대학교 전기공학과

Study on the Emission Properties of Visible Light Source using Energy Transfer

Hal-Bon Gu and Ju-Seung Kim

Electrical Eng., Chonnam National University

Abstract

Red organic electroluminescent(EL) devices based on poly(N-vinylcarbazole)(PVK) and tris(8-hydroxyquinorine aluminum)(Alq₃) doped with red emissive material, 4-(dicyanomethylene)-2-t-butyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)4H-pyran(DCJTb), poly(3-hexylthiophene)(P3HT), Rubrene and 4-dicyanomethylene-2-methyl-6[2-(2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H-benzo-[i,j]quinolizin-8yl)vinyl]-4H-pyran(DCM2) were fabricated. We examine the energy transfer from Alq₃ to DCJTb, P3HT, Rubrene and DCM2 by comparing between the PL and EL spectrum. The maximum peak PL intensities were achieved when the doping concentration of DCJTb, DCM2, P3HT and Rubrene has 5, 1, 0.5, 2wt%, respectively. The maximum luminance of device using DCJTb showed 594 cd/m² at 15V.

Key Words : Energy transfer, Visible light source, Organic EL

1. 서론

유기 EL 소자는 1987년 Tang[1]등이 발광층으로 사용한 diamine유도체에 정공을 주입하는 정공 운송층을 도입하여, 낮은 전압에서 고휘도의 발광을 얻을 수 있다고 보고하면서 관심이 집중되었다. 이들은 정공 운송층을 포함한 이층의 구조로 소자를 형성하여, 10V 이하의 낮은 구동전압에서 1000 cd/m²의 높은 발광을 얻었다. 이후 각층에 정공운송, 발광, 전자운송 등의 기능성을 부여하여 제작하는 다층구조의 발광소자는 구동전압을 낮추고 휘도를 향상시키기 위한 소자구조의 일반적인 형태로 적용되고 있다.

소자의 휘도와 효율을 향상시키기 위한 또다른 방법은 발광층내에서 전하의 전달에 의한 에너지 전달 현상을 이용하는 것이다. Ohmori등은 Alq₃,

TPP 및 DCM을 공중착한 소자를 제작하여 에너지 전달을 이용한 소자의 효율 향상에 대해 보고하였다.[2]

최근 유기 EL 소자는 고휘도, 고효율, 저전압 구동등의 장점이 부각되면서 TFT-LCD를 이을 차세대 평판 디스플레이로 대표되고 있다. 또한, 유기 EL을 후면광원이나 조명용 광원으로 사용하기 위한 백색발광 유기 EL에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 유기 EL을 적색 광원으로 사용하기 위하여 고효율의 저분자 및 고분자 발광재료인 DCJTb, Rubrene, DCM2 및 P3HT을 이용한 소자를 제작하였다. 소자의 발광휘도와 효율을 향상시키기 위해 발광층내에서 에너지 전달을 발생시키는 호스트 물질로 Alq₃를 사용하고, 제작한 소자의 광학적, 전기적 특성을 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서 고분자 매트릭스 및 발광재료로 사용한 PVK, DCJTb, Rubrene, DCM2는 정제하여 사용하였고, P3HT는 산화제로 $FeCl_3$ 를 사용하여 합성하였다[3].

분광광도계(U-3000, Hitach)를 이용하여 300-700nm 영역의 광을 조사하여 클로로포름에 용해한 발광재료의 흡광도를 측정하였다.

Alq_3 로부터 발광재료로의 에너지 전달 현상을 이용한 PL 스펙트럼은 Alq_3 를 클로로포름에 용해후 도핑 농도별로 발광재료를 첨가하여 용액상태에서 측정하였다. Xe 램프(500W) 여기광원으로 부터 발생하는 300nm의 파장을 여기파장으로 사용하였다.

발광소자는 전극이 패터닝된 ITO(indium-tin-oxide)를 세척제(Deconex 12PF, Borer Cehemie), 증류수, 아세톤의 순서로 초음파 세척기에서 세척하고, 클로로포름을 용매로 PVK 10mg/ml, Alq_3 10mg/ml를 녹인 용액에 DCJTb 5wt%, DCM2 1wt%, P3HT 0.5wt% 및 Rubrene 2wt% 비율로 각각 첨가하여 약 100nm 두께의 발광층을 스펀코팅하였다. 금속전극으로 사용한 Al의 일함수를 낮추기 위해 lithium fluoride(LiF)를 1.4nm 증착후, Al을 10Å/s의 속도로 200nm 진공증착하였다. 유기물과 금속전극의 진공증착시 진공도는 1×10^{-6} Torr 였으며, 기관의 온도는 상온을 유지하였다.

소자의 전압-전류와 전압-휘도 특성은 소스미터(Keithely 2400)와 와트미터(Newport 1830-c)로 전압-전류-휘도 측정장치를 구성하여 상온, 공기중에서 측정하였다. 전압원(Keithely 230)과 복사계(Princeton instrument)를 이용하여 인가전압에 대한 소자의 electroluminescence(EL) 스펙트럼을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 분광광도계를 이용하여 상온에서 측정한 발광재료의 UV/Vis 흡수스펙트럼과 에너지 전달의 호스트로 사용된 Alq_3 의 PL 스펙트럼을 나타낸다. 발광재료로 사용된 DCJTb, DCM2, P3HT, Rubrene의 최대 흡수파장은 각각 약 500, 500, 460, 530nm를 나타냈으며, 이들 발광재료가 직접전이 형태를 나타내므로 $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ 의 관계에서 광학적 에너지 밴드갭은 각각 2.22, 2.22, 2.42

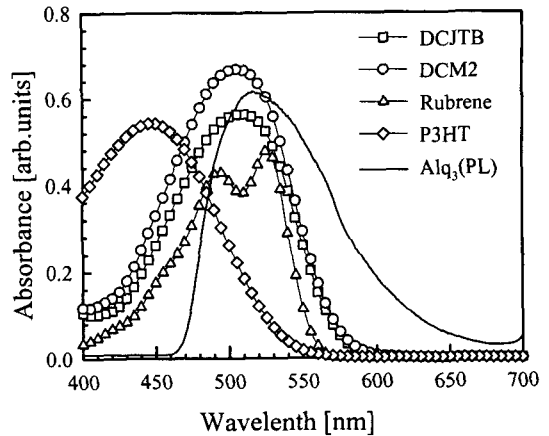


그림 1. 발광재료의 흡수스펙트럼 및 Alq_3 의 PL 스펙트럼.

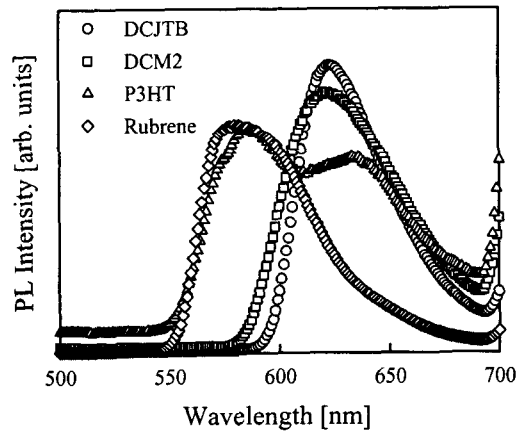


그림 2. 발광재료의 PL 발광 스펙트럼.

2.26 eV로 계산되었다. Alq_3 의 PL 최대 파장은 520nm에서 나타났으며, 발광재료의 흡수스펙트럼과 중첩되는 면적이 넓어 에너지 전달이 효과적으로 나타날 수 있음을 알 수 있다.

그림 2는 적색발광재료인 DCJTb, DCM2, P3HT, Rubrene과 호스트로 사용된 Alq_3 를 클로로포름에 녹여 300nm의 여기파장을 이용하여 측정된 PL 스펙트럼을 나타낸다. DCJTb, DCM2, P3HT, Rubrene은 각각 620, 620, 585, 585nm에서 최대피크 파장을 나타냄을 알 수 있다. 측정된 PL 스펙트럼 결과에서 520nm에서 녹색 발광하는 Alq_3 의 PL 스펙트럼은 관찰되지 않았으며, 이 결과는

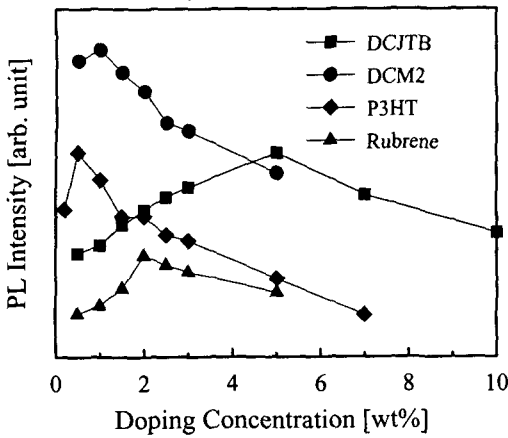


그림 3. 도핑비율에 따른 PL 발광강도.

호스트로 사용된 Alq₃로부터 도핑된 적색 발광재료로 에너지 전달이 발생하였음을 의미한다.[4] 발광재료의 PL 스펙트럼은 최대 흡수파장과 비교하여 장파장쪽으로 약 50-120nm정도 이동하였고, 이 결과는 Frank-Condon 전이 때문에 발생하는 것으로 알려져 있다. Frank-Condon에 의한 장파장으로 이동은 최대 1 eV까지 나타난다.[5]

그림 3은 Alq₃에 대한 발광재료들의 질량비별 PL 강도를 나타낸다. DCJTb는 5wt%, DCM2는 1wt%, P3HT은 0.5wt%, Rubrene은 2wt%에서 PL 강도가 최대를 나타냈다. 이는 에너지 전달 현상을 나타내는 호스트-게스트 시스템에서 도핑되는 발광 재료의 도핑비율이 10wt% 이하로 나타나는 것과 동일한 결과이다.

그림 4는 ITO/발광층/LiF/Al 소자의 전압-전류 특성과 전압-휘도 특성을 나타낸다. 전압-전류 관계에서 모든 소자는 5V부근에서 턴온하는 것을 알 수 있다. 인가 전압이 상승함에 따라 소자내에 존재하는 트랩의 깊이가 낮아 전류가 $J \propto V^3$ 에 비례하는 부분과 소자내 존재하던 트랩이 채워지면서 전류가 증가하여 $J \propto V^{7-8}$ 의 관계를 나타내는 TCLC전도를 나타내었다. 이 결과는 공간전하 제한 전류를 따르는 단층형 유기 EL 소자들에서 나타나는 결과와도 잘 일치함을 알 수 있다.[6] 따라서, ITO/발광층/LiF/Al 소자의 전압-전류 특성에서 소자내로의 전하주입은 공간전하 제한전류 모델을 따르는 것으로 판단된다. 전압-휘도 특성에서 전압 증가하면서 소자의 발광도 지수함수적으로

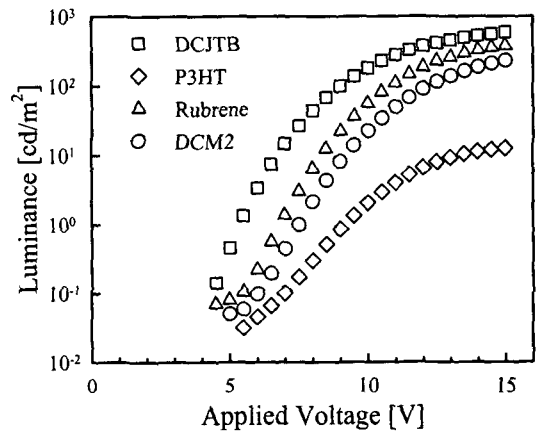
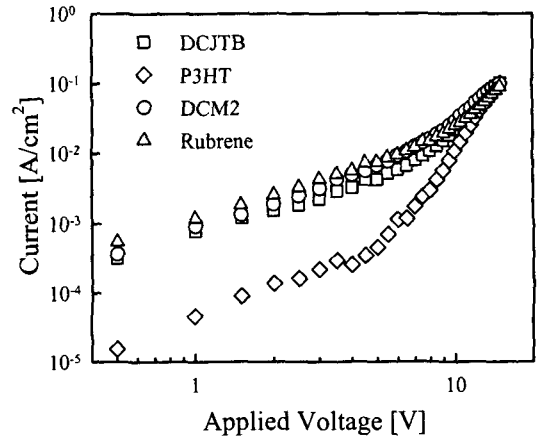


그림 4. ITO/발광층/LiF/Al 소자의 (a) 전압-전류 특성과 (b) 전압-휘도 특성.

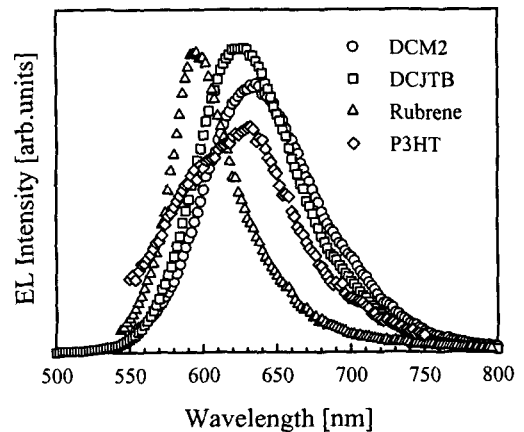


그림 5. ITO/발광층/LiF/Al 소자의 EL 스펙트럼.

Table 1 발광재료 및 유기 EL 소자의 광학적 특성.

Emissive material	DCJTB	DCM2	P3HT	Rubrene
Absorption spectrum (nm)	500	500	460	530
Energy bandgap (eV)	2.22	2.22	2.42	2.26
PL spectrum (nm)	620	620	585	585
EL spectrum (nm)	620	640	630	595
Luminance (cd/m ²)	594	229	12.6	379

증가함을 알 수 있었으며, DCJTB, DCM2, P3HT, Rubrene을 발광재료로 사용한 소자의 발광은 15V에서 각각 594, 229, 12.6, 379 cd/m²를 나타내었다.

그림 5는 ITO/발광층/LiF/Al 소자의 EL 발광 스펙트럼을 나타낸다. 모든 소자에서 적색발광을 보였으며, DCJTB, DCM2, P3HT, Rubrene을 발광재료로 사용한 소자의 최대 피크파장은 각각 620, 640, 630, 595nm를 나타내었다. PL 스펙트럼과 같이 매트릭스 고분자로 사용한 PVK와 호스트 물질로 사용한 Alq₃의 발광피크는 관측되지 않아 발광층 내부에서 에너지 전달 현상이 발생하였음을 알 수 있었다. 표1에 발광재료별 발광특성을 정리하여 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 호스트-게스트 시스템내에서 에너지 전달이 발생하도록 적색 발광층을 사용한 유기 EL 소자를 제작하고 발광특성을 연구하였다. Alq₃에 DCJTB, DCM2, P3HT, Rubrene을 각각 도핑하여 측정된 PL 스펙트럼에서 Alq₃의 PL 스펙트럼에 해당하는 520nm에서의 파장이 관측되지 않아 에너지 전달이 발생함을 확인할 수 있었다. 제작된 소자는 Alq₃에 DCJTB를 도핑한 발광층을 사용하여 15V에서 594 cd/m²를 얻었다. 소자의 발광휘도는 정공주입층, 정공수송층 및 전자수송층을 도입한 다층구조를 적용함으로써 향상시킬 수 있

을것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00234)

참고 문헌

- [1] C.W. Tang and S. A. Vanslyke, "Organic Electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol.51, No.12, pp.913-914, 1987.
- [2] Yutaka Ohmori et al, "Enhancement of electroluminescence utilizing confined energy transfer for red emission", Thin Solid Films, Vol.399, p.407-411, 2001.
- [3] 김주승, 구할분, "Poly(3-hexylthiophene)의 PL 발광 메카니즘에 관한 연구", 한국전기전자재료학회지, Vol.14, No.2, P.133-139, 2001.
- [4] 김주승, 김종욱, 구할분, "Exciplex를 이용한 백색 전계발광소자의 발광특성", 한국전기전자재료학회지, Vol.14, No.9, P.762-769, 2001.
- [5] M. Baldo, The electronic and optical properties of amorphous organic semiconductor, Ph. D Thesis, 2001.
- [6] W. Brutting, S. Berleb and A. G. Muckl, "Space-charge limited conduction with a field and temperature dependent mobility in Alq light-emitting devices", Synth. Met., Vol.122, p.99-104, 2001.