

발광층(Alq₃)의 두께 변화에 따른 OLED의 효율 특성 연구

박준우, 최규채, 김동은, 김병상, 권영수
 동아대학교 전기공학과

Efficiency Properties of OLED Depending on Thickness Variation of Emission Layer(Alq₃)

Jun-Woo Park, Gyu-Chae Choi, Dong-Eun Kim, Byoung-Sang Kim and Young-Soo Kwon
 Department of Electrical Engineering, Dong-A University.

Abstract - Organic light emitting diode (OLED) is currently the focus of intense interest in the field of photonics. It is attractive for the in low-operating voltage, low power consumption, easy fabrication and low cost. A typical OLED consists of one or more organic layers sandwiched between a high work function anode, such as indium tin oxide (ITO), and a low work function cathode such as Ca, Mg:Ag, and Al. Tris-(8-hydroxy)quinolinealuminum (Alq₃) has taken a prominent position in the development of OLED due to its relative stability as an electron transporting and emitting material. We investigated an efficiency improvement of the OLED depending on thickness variation of Alq₃.

1. 서 론

OLED (Organic Light-Emitting Diode)는 디스플레이 소자로써 안정적인 동작 파라미터와 고휘도, 고효율이 요구되는데 이러한 요소를 만족시키기 위해서 OLED 소자의 캐리어의 주입과 수송 및 발광에 대한 메커니즘, 음극 물질, ITO의 roughness에 대한 연구, 전극과 유기박막 사이의 계면 접촉과 buffer 층에 관한 연구, 고효율을 갖는 유기 발광재료에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [1, 2]. OLED는 양전극과 음전극에서 주입되는 정공과 전자들이 발광층에서 재결합하여 여기자를 형성하고, 이때 들뜬상태의 여기자가 바닥상태로 전이되면서 그 에너지 차이만큼 빛으로 방출된다. 주입되는 전하의 절대량이 늘어나면 캐리어 재결합 (recombination)의 기회가 늘어나게 되어 발광효율이 증가하지만, 문제는 외부에서 가해지는 에너지에 대하여 얼마나 많은 캐리어가 재결합을 할 수 있는냐 하는 것이다 [3, 4]. 정공과 전자의 이동도는 서로 다르기 때문에 재결합의 비율을 높이기 위해서는 정공의 이동도와 전자의 이동도의 균형을 맞추어 주어야 하는데 정공수송층과 전자수송층의 두께를 조절함으로써 이동도를 변화시킬 수 있다. 본 연구에서는 발광층 및 전자수송층으로써의 기능을 갖는 Alq₃의 두께를 조절하여 캐리어의 이동도를 제어함으로써 전기적·광학적 특성 및 발광효율의 향상에 관하여 연구하였다.

2. 실 험

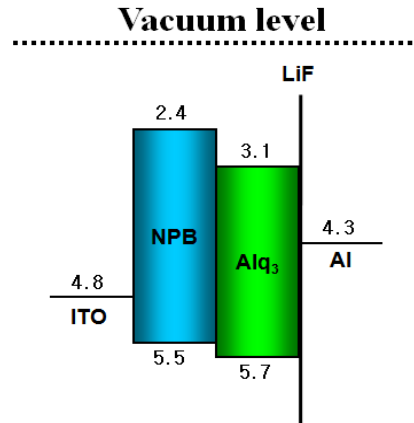
본 실험에서는 ITO를 양전극, Al을 음전극으로 각각 사용하였다. 소자제작에 사용한 ITO 기판은 0.7 T 두께이고 유리 기판 위에 형성된 ITO 박막의 평균 두께는 120 nm이었으며 표면 저항은 10 Ω/□이었다. 소자를 제작하기 전에 ITO 기판을 1분 동안 UV-ozone 표면처리 하였으며 UV-ozone 표면처리는 ITO 표면에 잔존해 있는 불순물을 제거하여 OLED의 특성을 향상 시킨다 [5]. 정공수송층으로는 NPB를, 발광층으로는 Alq₃를 이용하여 ITO / NPB (40 nm) / Alq₃ / LiF (0.5 nm) / Al (100 nm)의 구조로 소자를 구성하였다. 발광층으로 사용된 Alq₃의 두께에 따른 소자의 특성을 알아보기 위하여 Alq₃의 두께를 각각 40 nm, 50 nm, 60 nm, 70 nm로 변화시켜 소자를 제작하였다. 유기물과 금속은 5×10⁻⁶ torr의 진공도에서 각각 0.1 nm/s, 1 nm/s의 속도로 증착하였다. 표 1은 실험에 사용된 소자 구조를 나타내었다.

〈표 1〉 소자 구조

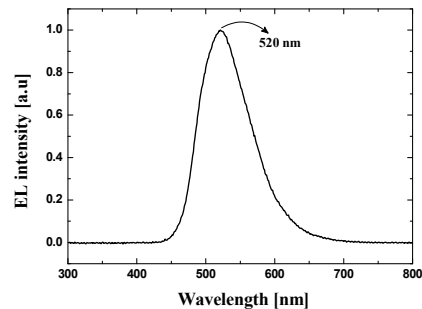
Device	Structure
Device 1	ITO/NPB(40 nm)/Alq ₃ (40 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm)
Device 2	ITO/NPB(40 nm)/Alq ₃ (50 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm)
Device 3	ITO/NPB(40 nm)/Alq ₃ (60 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm)
Device 4	ITO/NPB(40 nm)/Alq ₃ (70 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm)

3. 결과 및 고찰

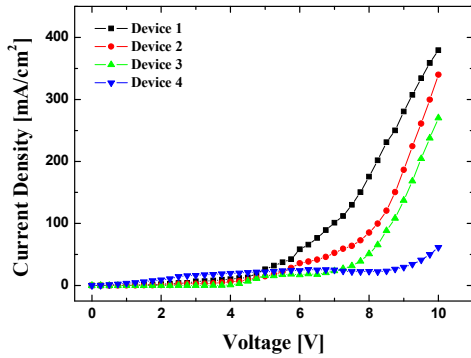
그림 1에는 본 연구에서 사용한 소자의 energy level diagram을 나타내었고, 그림 2에는 Alq₃의 EL 스펙트럼을 나타내었다. Alq₃는 피크 파장이 520 nm로써 대표적인 녹색 발광 물질이며 Alq₃의 Highest occupied molecular orbital (HOMO) 값은 5.7eV, Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) 값은 3.1eV이다. Alq₃는 주로 발광층으로 많이 사용되지만 전자수송층으로도 사용이 되며 본 연구에서는 발광층 및 전자수송층의 기능을 모두 수행하였다.



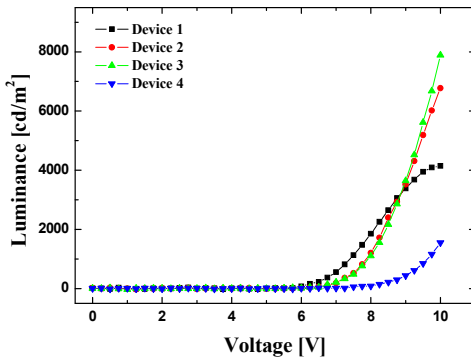
〈그림 1〉 Energy level diagram



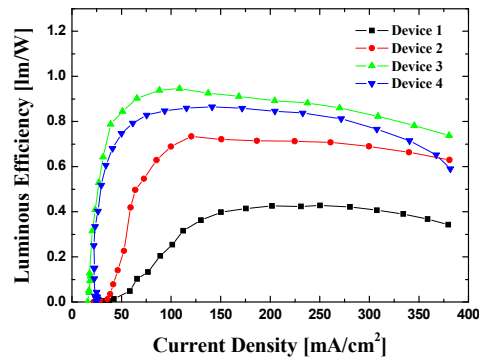
〈그림 2〉 Alq₃의 EL 스펙트럼



〈그림 3〉 전압-전류밀도 특성



〈그림 4〉 전압-휘도 특성



〈그림 5〉 전류밀도-발광효율 특성

그림 3과 그림 4는 Alq₃의 두께 변화에 따른 전압-전류밀도, 전압-휘도 특성을 나타내었다. 그림 3에서는 인가전압이 10 V일 때 최대 전류밀도는 device 1, 2, 3, 4 각각 379 mA/cm², 339 mA/cm², 270 mA/cm², 61 mA/cm²로 Alq₃의 두께가 증가 할수록 전류밀도가 감소하는 경향을 보였으며, 그림 4에서는 인가전압이 10 V일 때 최대 휘도가 device 1, 2, 3, 4 각각 4144 cd/m², 6774 cd/m², 7892 cd/m², 1549 cd/m²로 나타났다. 특히, Alq₃의 두께가 60 nm일 때 휘도가 7892 cd/m²로 가장 높게 나타나는 것을 확인하였다.

〈표 2〉 각 소자의 구동전압 및 효율

Device	구동전압 (at 500 cd/m ²)	발광효율 (at 200 mA/m ²)
Device 1	6.3 V	0.42 lm/W
Device 2	6.7 V	0.71 lm/W
Device 3	6.8 V	0.9 lm/W
Device 4	8.1 V	0.85 lm/W

그림 5는 Alq₃의 두께 변화에 따른 전류밀도-발광효율 특성을 나타내었고, 표 2는 각 소자의 구동전압 및 발광효율을 나타내었다. 전류밀도 200 mA/cm²에서의 발광효율은 device 1, 2, 3, 4 각각 0.42 lm/W, 0.71 lm/W, 0.9 lm/W, 0.85 lm/W로 Alq₃의 두께가 60 nm일 때 발광 효율이 최대로 나타났다. 구동전압은 휘도가 500 cd/m²일 때 측정하였으며 device 1, 2, 3, 4 각각 6.3 V, 6.7 V, 6.8 V, 8.1 V로 나타났다. 두께가 증가함에 따라 구동전압은 증가하였으며, Alq₃의 두께가 50 nm일 때와 60 nm일 때의 구동전압의 차이는 0.1 V로 거의 차이가 나지 않았지만, 발광효율은 0.21 lm/W의 차이가 나타났다. 이상의 결과들을 종합해 볼 때 Alq₃의 두께가 60nm일 때 구동전압이 증가하는 단점은 있지만 휘도 및 발광효율 특성이 가장 좋게 나오는 것을 확인하였으며, 이것은 또 캐리어의 재결합 비율이 가장 높다는 의미로 해석되어진다. 이 실험 결과로부터 발광층 (Alq₃)의 두께 변화에 따른 캐리어의 재결합 변화가 OLED에 미치는 영향을 살펴보았다.

4. 결 론

본 연구에서는 발광층 및 전자수송층의 기능을 갖는 Alq₃의 두께를 조절함으로써 캐리어 이동도의 비율을 조절하고, 그 결과 캐리어들이 재결합하는 비율을 증가시킴으로써 발광효율을 향상시키고자 하였다. 정공수송층으로 NPB, 발광층으로 Alq₃를 사용하였으며 소자 구조는 ITO / NPB (40 nm) / Alq₃ / LiF (0.5 nm) / Al (100 nm)로 구성하였다. 각각의 소자는 Alq₃의 두께를 40 nm, 50 nm, 60 nm, 70 nm로 변화시켜 제작하였다. 실험 결과, Alq₃의 두께가 증가할수록 전류밀도는 감소, 구동전압은 증가하였으며, Alq₃의 두께가 60 nm일 때 휘도는 10 V의 전압에서 7892 cd/m², 발광효율은 전류밀도 200 mA/cm²에서 0.9 lm/W로 최대가 됨을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 60 nm의 두께로 Alq₃를 사용할 때 캐리어의 재결합 비율이 가장 높고, 휘도 및 발광효율 특성이 가장 좋게 관측되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, "Electroluminescence of doped organic thin films", Journal of Applied Physics, Vol. 85, No. 9, p. 3610, 1989.
- [2] C. Jiang, W. Yang, J. Peng, S. Xiao and Y. Caoet, "High-Efficiency, Saturated Red-Phosphorescent Polymer Light-Emitting Diodes Based on Conjugated and Non-Conjugated Polymers Doped with an Ir Complex", Advanced Materials, Vol. 16, No. 6, p. 537, 2004.
- [3] 양기성, 김병상, 김두석, 신훈규, 권영수, "ITO 기판의 산소 플라즈마처리에 의한 OLED의 전기적·광학적 특성에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol. 54C, p.8, 2005.
- [4] S. Jung, N. G. Park, M. Y. Kwak, B. O. Kim, K. H. Choi, Y. J. Cho, Y. K. Kim, Y. S. Kim, "Surface treatment effects of indium-tin-oxide in organic light-emitting diodes", Optical Materials, Vol. 21, p. 235, 2002.
- [5] 김두석, 장윤기, 권영수, "ITO 표면 처리와 음전극 변화에 따른 OLED의 특성 연구", 한국전기전자재료학회논문지, Vol. 18, p. 1143, 2005.