

정공 주입 물질 두께 변화에 따른 유기 발광 다이오드 효율 향상

김원중, 이영환, 차기호, 이상교¹, 김태원², 홍진웅
 광운대학교, ¹강원대학교, ²홍익대학교

Efficiency Improvement of the Organic Light-Emitting Diodes depending on Thickness Variation of Hole-Injection Materials

Weon-Jong Kim, Young-Hwan Lee, Ki-Ho Cha, Sang-Kyo Lee¹, Tae-Wan Kim², Jin-Woong Hong
 Kwangwoon University, ¹Kangwon National University, ²Hongik University

Abstract - In the structure of ITO/HIL/Alq₃/Al device, we investigated an efficiency improvement of the Organic Light-Emitting Diodes depending on thickness variation of hole-injection layer. Using the thermal evaporation in a base vacuum 5×10⁻⁵ [Torr], we have measured efficiency after the Alq₃ was evaporated to 100 [nm] as a deposition rate 1.5 [Å/s]. In optimal condition, when PTFE thickness increased from 0 to 3.0 [nm], we have obtained that an optimal thickness of PTFE was 2.5 [nm]. And using the PTFE, luminance efficiency and external quantum efficiency of the device were improved by 12.8 times and 11.1 times, respectively.

광 면적은 마스크를 이용하여 3×5 [mm²]의 크기로 제작하였다. 측정 장비는 Keithley 2000 multimeter, 6517 electrometer, Si-potodiode를 사용하여 측정하였다. 모든 기기의 제어 프로그램은 Lab-view 소프트웨어를 사용하여 자료를 사용하였다.

1. 서 론

21세기에 들어오면서 정보통신의 발달로 다양화되는 정보화가 가속화 되면서 디스플레이의 비중이 점차로 평판 디스플레이로 옮겨가고 있는 추세이다. 그 중에서도 LCD는 가볍고 전력소모가 작은 장점이 가지고 있어 평판 디스플레이로서 현재 가장 널리 사용되고 있으며 앞으로도 수용측면에서 강세를 유지할 것으로 예상된다. 그러나 LCD는 자체 발광이 아니라 수광 소자이기 때문에 대면적화, 명암, 밝기, 시야각등 여러 가지 문제점이 가지고 있어 새로운 평판 디스플레이를 개발하려는 노력이 활발하게 진행되고 있다[1]. 이에 부응하는 새로운 디스플레이 중의 하나가 OLEDs (Organic Light-Emitting Diodes)이다. OLEDs 소자는 디스플레이 소자로서 안정적인 동작파라미터와 고 휘도, 높은 효율이 요구되는데 이러한 요소를 만족시키기 위해서 OLEDs 소자의 전하의 주입과 수송 및 발광에 대한 메커니즘, 음 전극 물질, ITO의 roughness에 대한 연구, 전극과 유기박막의 사이의 계면 접촉과 buffer 층에 관한 연구, 높은 효율을 갖는 유기 발광재료에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.[2] 본 논문에서는 OLEDs의 연구 분야에서 단층 발광물질인 Alq₃에 정공 주입 물질이 유기 발광 다이오드에 대한 효율 향상에 대한 미치는 영향을 고찰하기 위하여 정공 주입층 재료인 polytetrafluor ethylene (PTFE)[3]의 두께 의존성에 대해서 전기적 특성과 광학적 특성에 관하여 연구한 결과를 소개한다.

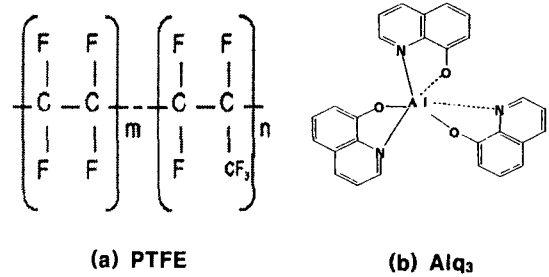


그림 1. 정공주입물질(PTFE)과 발광물질(Alq₃)의 분자구조
 Fig. 1 Molecular structure of hole injection material (PTFE) and emitting material (Alq₃)

2. 실험

본 실험에서 사용한 유기 발광 소자는 정공 주입 버퍼 물질로 사용한 PTFE 그림 1(a)와 그리고 전자 수송과 발광 물질로서 tris (8-hydroxyquinolinato) aluminum (Alq₃)를 그림 1(b)를 나타내었다. 양(+) 전극으로는 SC사의 ~15[Ω/□]의 표면 저항과 170 [nm] 두께의 인듐-주석-산화물(Indium-Tin -Oxide : ITO) 기판을 다음과 같이 patterning하여 사용하였다. 폭이 5 [mm]인 ITO 전극은 실온에서 염산(HCl)과 질산(HNO₃)을 3:1의 부피비로 섞은 용액의 증기에 약 10~20 [min] 정도 노출시켜 삭판한다. 이때, ITO와 용액과의 거리는 약 2 [cm]이며, patterning된 ITO를 흐르는 물에서 세척한다. 그 후 ITO 기판의 세척 과정은 다음과 같다. 먼저 아세톤이나 클로로포름으로 50 [°C]에서 약 20 [min] 정도 초음파 세척하고, 그런 후에 과산화수소수(hydrogen peroxide):암모니아(ammonia):2차 증류수(de-ionized water)를 부피비 1:1:5의 비율로 섞은 용액 속에 기판을 넣고 약 80 [°C]의 온도에서 1[h]정도 가열하고, 다시 아세톤이나 클로로포름에 기판을 넣고 50 [°C]에서 약 20 [min]간 초음파 세척을 한다. 그리고 마지막으로 알코올(alcohol)과 1차 증류수에서 각각 약 20 [min] 정도 초음파 세척을 한 후, 질소 가스로 건조시킨다. 소자의 구조는 ITO/Alq₃/Al로 하여 Alq₃의 두께를 100 [nm]로 고정시키고 증착속도를 1.5 [Å/s] 속도로 증착하였으며 그에 따른 특성을 관찰하였다. 그림 2는 정공 주입 버퍼 물질의 영향을 조사하기 위하여 ITO/PTFE/Alq₃/Al 소자 구조로 제작하였다. 정공 주입 물질로 사용한 PTFE의 박막 두께는 5×10⁻⁶ [Torr]진공도에서 PTFE의 효과를 조사하기 위해 0.5 [nm], 1.0 [nm], 2.0 [nm], 2.5 [nm], 3.0 [nm]를 각각 ITO 위에 증착하였다. 음전극도 5×10⁻⁶ [Torr] 정도의 진공도에서 두께 100 [nm]를 연속적으로 증착하였다. 또한, 발

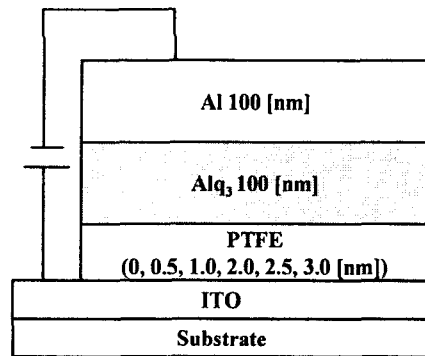


그림 2. 유기 발광 소자의 구조
 Fig. 2 Structure of OLEDs device

3. 결과 및 고찰

그림 3은 PTFE의 두께에 따른 유기발광 다이오드의 전류밀도 특성을 나타낸 것으로 전압이 증가함에 따라 전류밀도는 약 4[V]까지 급격히 증가함을 알 수 있었고, 특히 PTFE가 2.0 [nm]일 때 발광 영역에서 가장 큰 전류밀도 값을 확인하였다. 그러나, PTFE가 2.5 [nm]이상으로 증가하면 전류밀도 값은 감소함을 확인하였다. 이것은 순수한 PTFE는 아주 높은 10¹⁸ [Ω·cm]저항률 값을 가진 절연성 물질이기 때문에 PTFE가 2.5 [nm]이상으로 증가하면 전류밀도가 감소하는 것으로 생각된다. 따라서 적절한 두께만이 가장 좋은 전류밀도 값을 확인할 수 있다. 그림 4는 PTFE 두께 변화에 따른 휘도특성을 나타내고 있다. PTFE가 없는 소자에서는 최대 휘도 값은 약 10 [cd/m²]보인 반면에 PTFE를 2.0 [nm]으로 하면 최대 휘도 값은 약 140 [cd/m²]를 나타내었다. 또한, PTFE두께가 증가할 수록 전반적으로 발광 전압 값들이 낮아짐을 확인하였다. 그러나 PTFE 두께가 2.5 [nm]이상으로 증가하면 발광전압은 다시 증가하고 최대 휘도 값은 약 127 [cd/m²]으로 줄어들음을 확인하였다. 이것은 PTFE의 증가로 정공주입을 방해하기 때문에 정공과 전자들의 재결합을 어렵게 하는 것으로 생각되어진다. 소자의 발광 효율은 [lm/W]이용하여 그림 5에 나타내었다. 여기서 L은 발광면에서 수직으로 나오는 빛의 휘도 [cd/m²], J는 전류밀도 [mA/cm²], V는

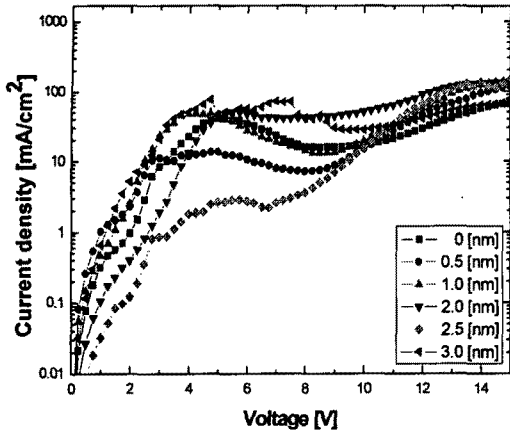


그림 3. PTFE의 두께변화에 따른 전류밀도 특성
Fig. 3 Current density characteristics with the thickness variation of PTFE

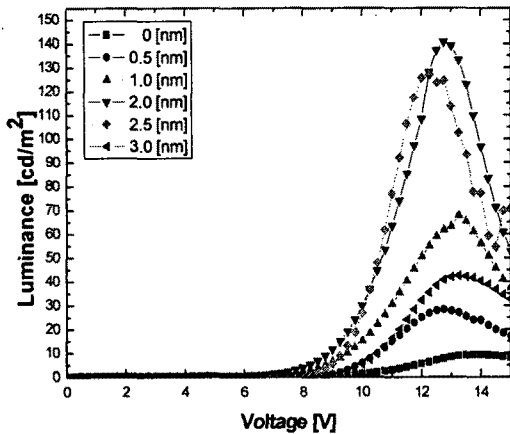


그림 4. PTFE의 두께변화에 따른 휘도 특성
Fig. 4 Luminance characteristics with the thickness variation of PTFE

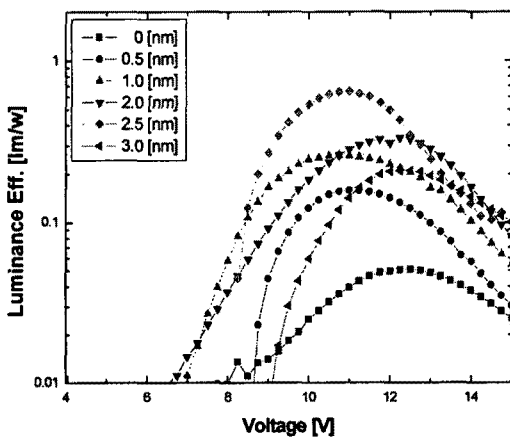


그림 5. PTFE의 두께변화에 따른 휘도 효율 특성
Fig. 5 Luminance Efficiency characteristics with the thickness variation of PTFE

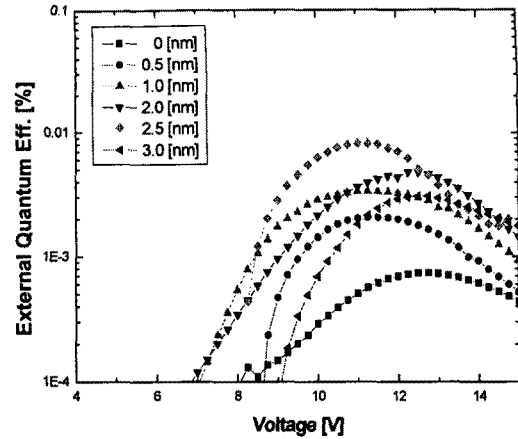


그림 6. PTFE의 두께변화에 따른 외부양자효율 특성
Fig. 6 External quantum efficiency characteristics with the thickness variation of PTFE

인가전압 [V]를 의미한다. 모든 시료는 차이가 있지만 약 5 [V]부터 발광하기 시작하여 약 11~13 [V]부근에서 최대 휘도 효율을 나타내고 있으며 특히 PTFE의 두께가 2.5 [nm]일 때의 최대휘도효율 0.64 [lm/W]를 나타냈다. 이것은 PTFE를 사용하지 않는 경우에 비하여 약 12.8배 휘도 효율 향상과 최대 발광 전압이 약 1.25 [V] 감소를 가져왔다. 그러나 두께가 3.0[nm]으로 증가하면 효율은 감소가 되고 최대 발광 전압은 다시 증가하는데 두께가 증가할수록 정공주입을 방해하기 때문이라고 생각되어진다. 그림 6은 PTFE 두께 변화에 따른 외부양자효율을 나타내고 있다. 시료에 따라 약 5 [V]에서 효율이 상승하기 시작하여 약 11 [V]~13 [V]사이에서 최대 양자 효율 값을 나타내고 있다. 특히 PTFE의 두께가 2.5 [nm]일 때의 최대양자효율 0.008 [%]를 나타내고, 이것은 PTFE를 사용하지 않는 경우에 비하여 약 11.1배 양자 효율 향상을 가져왔다. PTFE의 적절한 두께가 정공 주입으로 ITO의 금속 성분인 인듐이 유기층으로 확산방지 뿐만 아니라[4] 발광층에서 재결합 할 수 있도록 전자의 브로킹(blocking) 역할 하기 때문이라고 생각되어진다. 그러나 PTFE 두께가 3.0 [nm]로 증가하면 효율이 0.003 [%]로 감소되고 최대 발광 전압이 다시 증가하였다. 그러므로 정공주입 물질로 사용한 PTFE는 효율 향상에 도움 줄 수 있다고 생각이 되어진다.

4. 결 론

정공 주입 물질 두께 변화에 따른 유기 발광 다이오드 효율 향상 특성을 연구한 결과 PTFE의 두께가 2.5 [nm]일 때 휘도 효율 값과 외부 양자 효율 값이 가장 우수하였으며 PTFE가 없는 소자와 비교하여 각각 휘도 효율 값 12.8배, 외부양자 효율 값 11.1배 향상과 최대발광 전압은 1.25 [V] 감소하였다. 그러나 PTFE가 3.0 [nm]로 증가하면 휘도 효율 값과 양자 효율 값은 감소하고 최대 발광 전압도 다시 증가하였다. 그러므로 PTFE의 정공 주입층으로 사용은 효율의 향상은 물론 사용 전압의 저 전압화에 크게 이바지 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Kudo, "Organic light emitting transistors", Current Applied Physics, Vol. 5, pp. 337~340, 2005.
- [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, pp. 537~541, 2004.
- [3] Y. Qiu, Y. Gao, Liduo and D. Zhang, "Efficient light emitting diodes with Teflon buffer layer", Synthetic Metals, Vol. 130, pp. 235~237, 2002.
- [4] A. R. Schlattmann, D. Wilms Floet, A. Hilberer, F. Garten, P. J. M. Smulders, T. M. Klapwijk, and G. Hadziioannou, "Indium contamination from the indium-tin-oxide electrode in polymer light-emitting diodes", Applied. Physics. Letters, Vol.69, No. 12, pp.1764~1766, 1996.