

## 정공 수송층(TPD) 증착 속도에 따른 유기 발광 소자의 전기적 특성

김원중, 이영환, 이상교\*, 박희두\*, 조경순, 김태완\*\*, 홍진웅  
 광운대학교, \*강원대학교, \*\*홍익대학교

### Electrical Characteristics of OLEDs depending on the Deposition Rate of Hole Transport Layer(TPD)

Weon-Jong Kim, Young-Hwan Lee, Sang-Kyo Lee\*, Hee-Doo Park, Kyung-soon Cho, Tae-Wan Kim\*\*, Jin-Woong Hong  
 Kwangwoon Univ. \*Kangwon Univ. \*\*Hongik Univ.

**Abstract** : In the structure of ITO/N,N'-diphenyl-N,N' bis (3-methylphenyl)-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine(TPD)/tris (8-hydroxyquinoline)aluminum(Alq<sub>3</sub>)/Al device, we studied the efficiency improvement of organic light-emitting diodes due to variation of deposition rate of TPD materials. The thickness of TPD and Alq<sub>3</sub> was manufactured 40 nm, 60 nm, respectively under a base pressure of 5×10<sup>-6</sup>Torr using a thermal evaporation. The Alq<sub>3</sub> used for an electron-transport and emissive layer were evaporated to be at a deposition rate of 2.5 Å/s. When the deposition rate of TPD increased from 1.5 to 3.0 Å/s, we found that the average roughness is rather smoother, external quantum efficiency is superior to the others when the deposition rate of TPD is 2.5 Å/s. Compared to the ones from the devices made with the deposition rate of TPD 3.0 Å/s, the external quantum efficiency was improved by a factor of eight.

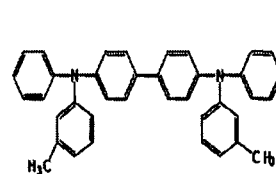
**Key Words** : Deposition rate of TPD, Average roughness, Luminance efficiency, External quantum efficiency

#### 1. 서론

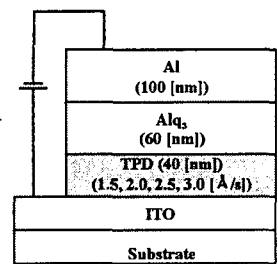
현대 사회의 요구는 무겁고 두꺼운 CRT로부터 유효한 공간에 편리성과 휴대성이 뛰어난 평판 디스플레이로 바뀌는 경향이 있다[1]. 이러한 평판 디스플레이 중 특별히 LCD는 경량, 박형에 전력소모가 작은 장점이 있어 CRT를 대체할 평판 디스플레이로써 적용분야를 넓혀가고 있으며 앞으로도 지속적으로 시장에서의 강세를 유지하면서 성장할 것으로 예상된다. 그러나, LCD는 자체 발광소자가 아니라 별도의 광원을 필요로 하는 수광 소자이며 밝기, 대비(contrast), 시야각(viewing angle), 그리고 대면적화 등에 기술적 한계가 있기 때문에 이러한 단점을 극복할 수 있는 새로운 디스플레이를 개발하려는 노력이 전 세계적으로 활발하게 전개되고 있다[2]. 이러한 문제를 해결하는 값싸고 고화질의 새로운 평판표시 소자를 개발하려는 노력이 활발히 진행중인데 그 중에서 차세대 디스플레이로 각광을 받기 시작한 것이 유기 발광 다이오드(OLEDs: organic light-emitting diodes)이다.

OLEDs 디스플레이는 저 전압 구동, 높은 발광 효율, 넓은 시야각, 그리고 빠른 응답속도 등의 장점을 가지고 있다. OLEDs는 양극과 음극 사이에 놓여 있는 유기 재료에 전계를 가하여 전기 에너지를 빛으로 바꾸는 소자이기 때문에 소자의 전하 주입과 수송 및 발광에 대한 메커니즘, 음 전극 물질, ITO의 roughness에 대한 연구, 전극과 유기 박막사이의 계면 접촉과 buffer 층에 관한 연구, 높은 효율을 갖는 유기 발광재료에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[3]. 본 논문에서는 OLEDs의 연구 분야에서 정공 주입 물질인 TPD를 이용하여 증착속도에 따른 유기발광 다이오드에 대한 효율 향상에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 전기적 특성에 대한 연구 결과를 소개한다.

#### 2. 실험



(a) TPD



(b) Structure of OLEDs

그림 1. TPD 분자구조(a)와 OLEDs 소자 구조(b)

본 실험에서 사용한 정공 수송 물질 인 N,N'- diphenyl-N,N' bis (3-methylphenyl)-1,1'-biphenyl-4, 4'-diamine(TPD)를 그림 1(a)에 나타내었고, 소자의 기본 구조는 ITO/TPD/Alq<sub>3</sub>/Al로 그림 1(b)에 나타내었다. TPD와 Alq<sub>3</sub>의 두께는 각각 40, 60 [nm]로 고정시키고 TPD 증착속도를 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 [Å/s] 각각 증착하였으며 이에 대하여 TPD의 표면 거칠기에 따른 전기적 특성을 관찰하였다. 음전극도 5×10<sup>-6</sup> [Torr]정도의 진공도에서 두께 100 [nm]를 연속적으로 증착하였다. 또한, 발광 면적은 마스크를 이용하여 3×5 [mm<sup>2</sup>]의 크기로 제작하였다. 측정 장비는 Keithley 2000 multimeter, 6517 electrometer, Si-photodiode를 사용하여 측정하였다. 모든 기기의 제어 프로그램은 Lab-view 소프트웨어를 이용하여 시료를 측정하였다.

#### 3. 결과 및 검토

사진 1은 TPD 증착속도에 따른 AFM 사진들을 나타낸 것이다. 사진에서 보면 거칠기 표면의 분포가 매우 불규칙적이고 일부분에서 요철이 증가함을 알 수 있었다. TPD 증착속도에 따른 평균 거칠기를 정리하면 표 1과 같다. TPD의 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 다른 시료들에 비해 평균 거칠기가 평탄한 것을 알 수 있다. 결국 TPD의 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 규칙적인 표면을 만들 수 있

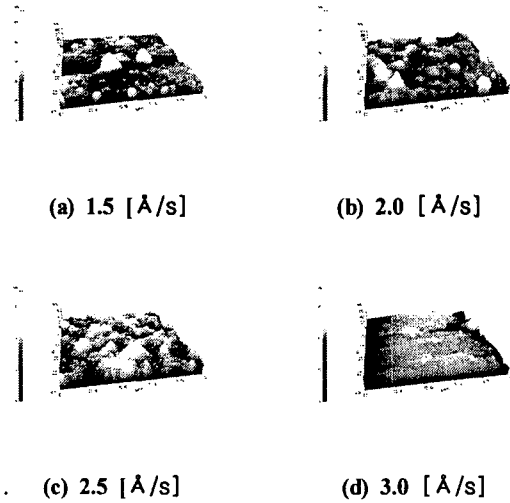
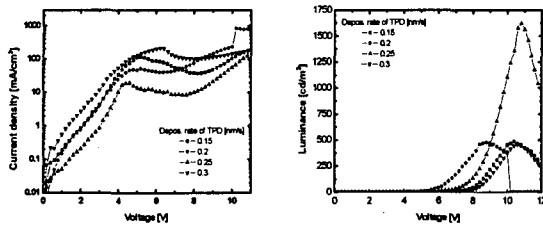


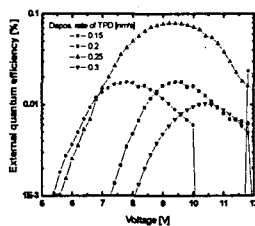
사진 1. TPD의 증착속도에 따른 AFM

표 1. TPD 증착속도에 따른 평균 거칠기.

Deposition rate of TPD [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]	Average roughness [nm]
1.5	3.368
2.0	4.079
2.5	0.701
3.0	5.273



(a) 전압-전류밀도 (b) 전압-휘도 효율



(c) 전압-외부양자효율

그림 2. TPD의 증착속도에 따른 전기적 특성

고, 요철의 분포가 고르게 나타남을 확인 할 수 있다. 표 1에서와 같이 TPD의 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 평균 거칠기가 0.701 [nm]임을 알 수 있었고, 이때가 균일한 표면 거칠기가 가지고 있으므로 효과적인 정공수송이 용이해 발광층에서 재결합하여 전반적인 효율 향상되는 것으로 생각되어진다. 그림 2 (a) TPD 증착속도에 따른 전압과 전류밀도 특성을 나타낸 그림인데, TPD 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 전류밀도가 가장 적게 나타남을 확인할 수 있었다. 그림 2 (b)는 TPD의 증착속도에 따른 전압과 휘도특성이 나타낸 그림이다. TPD 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 최고 휘도 1620 [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]를 나타남을 확인하였다. 그러나 TPD의 증착속도가 3.0 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]이상으로 증가하면 휘도는 점차로 감소하는데 이것은 표면 거칠기에 따라 물성이 변화되어서 발광층에서 정공과 전자들이 재결합하는 비율이 점차로 적어지기 때문으로 생각되어진다. 그림 2 (c)는 TPD 증착속도에 따른 외부 양자효율을 나타낸 그림이다. TPD 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 0.08 [%] 최고 양자 효율값을 나타내고 3.0 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때와 비교했을 때 약 8배 효율 향상값을 가져 왔었다. 그러나 그 이상의 TPD의 증착속도가 증가하면 양자 효율 값이 감소하였다. 이것은 TPD의 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 양극과 음극에서 주입된 정공과 전자를 발광층으로 비교적 잘 전달하기 때문에 다른 소자보다 높은 효율값을 갖는 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

정공 수송층(TPD) 증착속도에 따른 유기 발광 다이오드의 전기적 특성에 관하여 연구한 결과, TPD의 증착속도가 2.5 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때가 평균 거칠기가 가장 평탄함을 확인할 수 있었고, 또한 전류밀도값도 가장 낮아짐을 확인하였다. 또한, 외부양자효율값도 가장 우수하였으며 TPD의 증착속도가 3.0 [ $\text{\AA}/\text{s}$ ]일 때와 비교했을 때 약 8배 효율 향상값을 가져 왔었다. 따라서 적절한 정공 수송층(TPD) 증착속도만이 유기발광다이오드 효율 향상됨을 확인하였다.

#### 참고 문헌

[1] G. B. Blanchet, Y. L. Loo, J. A. Rogers, F. Gao, C. R. Fincher, "Large area, high resolution, dry printing of conducting polymers for organic electronics", Applied Physics Letters, Vol. 82, No. 3, pp. 463~465, 2003.

[2] Y. H. Lee, W. J. Kim, T. Y. Kim, J. Jung, J. Y. Lee, H. D. Park, T. W. Kim and J. W. Hong, "Electrical characteristics and efficiency of organic light-emitting diodes depending on hole-injection layer", Current Applied Physics, Vol. 7, pp. 409~412, 2007.

[3] W. J. Kim, Y. H. Lee, T. Y. Kim, T. W. Kim, and J. W. Hong, "Dependence of Efficiency Improvement and Operating-Voltage Reduction of OLEDs on Thickness Variation in the PTFE Hole-Injection Layer", J. Korea Phys. Soc. Vol. 51, No. 3, pp. 1007~1010, 2007.