

## 유기층 증착속도에 따른 OLEDs 의 전기적, 광학적 특성

이영환, 김귀열\*, 홍진웅

광운대학교, \*한국기술교육대학교

### 초록

OLEDs are attractive because of possible application in display with low operating voltage, low power consumption, self-emission and capability of multicolor emission by the selection of emissive material. We investigated the effects of deposition rate on the electrical characteristics, physical characteristics and optical characteristics of OLEDs in the ITO(indium-tin-oxide)/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 measured current density, luminous flux and luminance characteristics of devices with varying deposition rates of TPD and Alq<sub>3</sub>. It has been found that optimal deposition rate of TPD and Alq<sub>3</sub> were respectively 1.5Å/s from the device structure. An AFM measurement results, surface roughness of the deposited film was the lowest when deposition rate was 1.5 Å/s.

### 1. 서론

유기발광 소자는 ITO 를 양극으로 Al 이나 Mg, Ag 같은 일함수가 낮은 금속을 음극으로 사용하고 그 사이에는 유기물을 삽입한 구조로 되어있다. 발광 메커니즘은 양극과 음극으로부터 전자와 정공이 발광층으로 주입되고 이들이 여기상태를 거쳐 재결합 하는 것에 의해 발광되는 것이다. 정공의 이동속도가 전자의 이동속도보다 빠르기 때문에 발광층으로 전자와 정공의 주입이 원활히 이루어지도록 각각의 유기물과 금속의 일함수를 완만한 계단형으로 만들어준다.

유기발광 다이오드는 구동 전압이 낮고, 박막으로 형성되어 가볍고, 응답속도가 빠르고, 낮은 소비전력과 자체 발광, 넓은 시야각, 다양한 색상의 구현이 가능하여 많은 관심을 받고 있다[1,2]. OLED 에 관한 최초의 보고서는 1963 년에 안트라센이라는 단결정을 가지고 Pope 등에 의해서 발표되었다[3]. 그 후 1987 년에 Kodak 사의 Tang 박사와 VanSlyke 는 다층 구조로 적층한 소자를 보고하여 OLED 의 연구에 획기적인 장을 열게 되었다[4]. 그리고 1990 년에 Cambridge 대학의 Friend 등은 고분자화합물을 이용한 연구를 하였다[5]. 이후 각 분야에서 저분자 및 고분자를 이용한 많은 연구가 진행되고 있다[6-8].

하지만 증착 속도에 대한 연구는 미흡한 실정이기 때문에 본 논문에서는 증착 속도 변화에 따라 보다 효율적인 특성을 얻기 위하여 발광층과 정공 수송층의 증착속도를 변화시켜서 시료를 제작하고 이들의 물리적 특성과 전기적 특성 및 광학적 특성에 대해 조사하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 양(+)극으로는 표면저항이 약 15 [ $\Omega/\text{cm}^2$ ]이고, 두께가 약 170 [nm]인 ITO 기판을 사용하였다. 시료의 양극은 염산(HCl)과 질산( $\text{HNO}_3$ )을 3:1 의 부피 비율로 혼합하여 5 [mm]의 active area 를 제외한 부분을 식각하여 사용하였다. 그 후 ITO 를 클로로포름으로 세척하고 과산화수소, 암모니아, 증류수를 1:1:5 의 비율로 섞은 용액 속에 기판을 넣고 70~80 [ $^{\circ}\text{C}$ ]의 온도에서 1 시간 동안 가열한 후 다시 클로로포름, 메틸알코올, 증류수의 순서로 약 50 [ $^{\circ}\text{C}$ ]의 온도에서 20 분 동안 초음파세척을 하였다. 실험에는 정공 수송층으로는 TPD, 전자수송 및 발광층은  $\text{Alq}_3$ 를 각각 사용하였다.

Chamber 의 진공도를  $5 \times 10^{-6}$  [Torr] 이하로 유지하고 유기물의 증착속도를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 [A/s]로 변화시키며 증착하였고, Al 은 5 [A/s]-10 [A/s]의 속도로 증착시켜 시료를 제작하였다. 제작된 소자는 LabView 프로그램을 이용하여 Keithley 2750 과 Keithley 6517 electro-meter 로 전류 및 휘도를 측정 하였다. 또한, 표면 상태는 원자현미경(AFM: Atomic Forced Microscope)을 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

$\text{Alq}_3$  의 증착속도 변화에 따라 제작된 소자의 표면 거칠기(roughness)를 측정한 결과  $\text{Alq}_3$  의 증착속도가 1.5 [A/s]일 때 거칠기가 가장 작게 나타났다. TPD 의 경우에도 증착속도가 1.5 [A/s]일 때 거칠기는 작게 나타났다. TPD 와  $\text{Alq}_3$  의 증착속도가 각각 1.5 [A/s]일 때 거칠기가 작아져서 균일한 증착이 이루어지고, 전자와 정공의 이동에 필요한 공간도 균일하게 나타나는 것으로 사료된다.

그림 1 (a)는 ITO 위에 TPD 를 증착 속도 1.5 [A/s]로 제작한 표면을 AFM 으로 조사한 사진이다. 시료의 거칠기가 다른 시료에 비해 요철의 분포가 고르고 거칠기가 0.580627 [nm] 작게 나타남을 확인할 수 있었다. 그림 1 (b)는  $\text{Alq}_3$  의 증착 속도 1.5 [A/s]로 제작한 시료의 표면 상태를 조사한 사진으로 규칙적인 요철이 존재하지만 거칠기가 1.18535 [nm]로 첨예도(sharpness)가 낮았고 요철의 분포가 고르게 증착 되었음을 확인할 수 있었다.

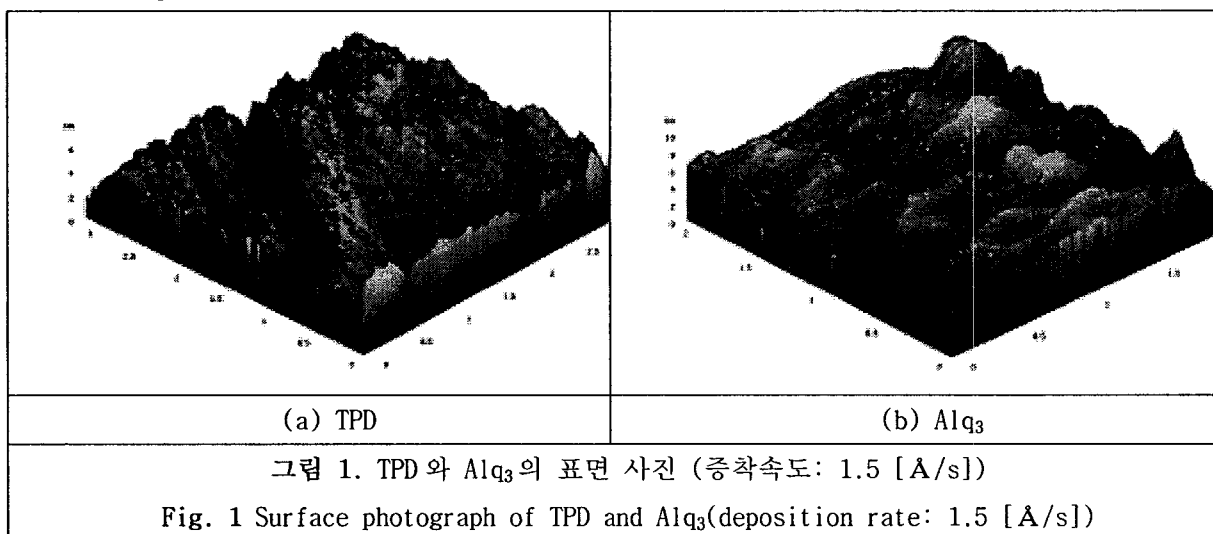


그림 2 에는 TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도 변화에 따른 전류밀도를 나타냈다. 인가전압의 증가에 따라 전압이 약 2 [V]에서 전류밀도가 증가하다가 다시 감소하였으며, 6[V] 이상에서는 매우 크게 증가하였다. 또한, 같은 전압에서는 TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도가 각각 1.5 [Å/s]일 때 높은 전류밀도 값을 가짐을 알 수 있었다. 이것은 증착속도가 1.5 [Å/s]일 때 첨예도가 낮아져서 정공수송층과 발광층으로 정공 및 전자 수송이 원활하게 이동하여 전류가 상승되기 때문이라고 생각된다.

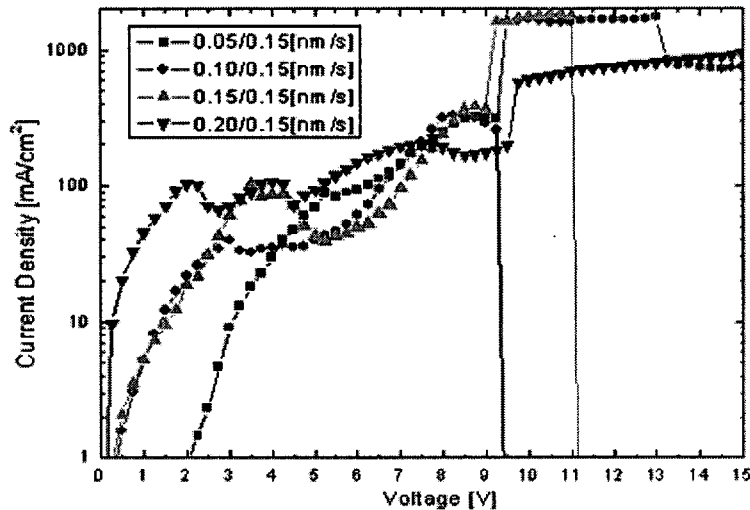


그림 2. TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도에 따른 전류밀도 특성

Fig. 2 Current density characteristics with the variation of TPD and Alq<sub>3</sub> deposition rate

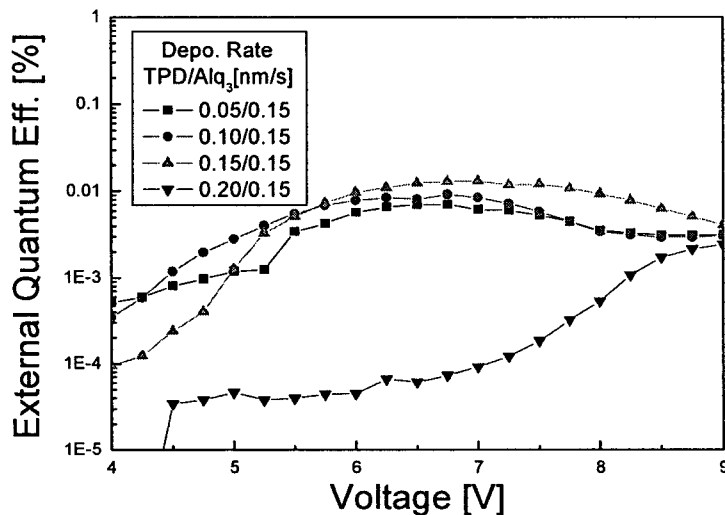


그림 3. TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도에 따른 외부양자효율 특성

Fig. 3 External Quantum Efficiency characteristics with the variation of TPD and Alq<sub>3</sub> deposition rate

그림 3 은 TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도에 따른 외부양자효율 특성을 나타낸 것으로 증착속도와 무관하게 공통적으로 인가전압 5 [V] 이하에서는 발광이 되지 않아 효율이 낮게 나타났으며, 그 후 전압의 증가에 따라 휘도가 증가함에 따라 외부양자 효율도 증가하였다. 그리고 약 6 [V]에서 8 [V] 사이에서 최대치를 나타낸 후 낮아졌다. 증착속도별로 살펴보면 TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도가 각각 1.5 [Å/s]일 때 외부양자 효율이 가장 우수하게 나타남을 확인할 수 있었다. 이것은 계면(interface)에서 거침도의 감소로 접촉 표면(contact surface)의 증가로 인하여 정공주입이 용이하게 되어 전자와 정공의 재결합 확률이 증가되기 때문으로 사료되며 따라서 발광이 잘 이뤄져서 휘도도 높아진 것으로 생각한다.

#### 4. 결론

유기 발광 소자의 정공 수송층과 발광층의 증착속도 변화에 따른 표면상태와 전류밀도, 휘도 특성의 관계를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도가 1.5 [Å/s]일 때 거칠기는 각각 0.580627 [nm], 1.18535 [nm]로 다른 시료에 비해 작았으며, 전자와 정공의 이동에 필요한 통로도 균일하게 나타나는 것으로 사료된다. TPD 와 Alq<sub>3</sub> 의 증착속도 변화에 따른 휘도 특성에서는 증착 속도가 1.5 [Å/s]일 때 약 500 [cd/m<sup>2</sup>]으로 우수함을 확인하였고, 전류밀도 특성도 증착 속도가 각각 1.5 [Å/s]일 때 우수함을 확인하였고 따라서 효율도 증착 속도가 1.5 [Å/s]일 때 가장 우수함을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] G. B. Blanchet, Y. L. Loo, J. A. Rogers, F. Gao, C. R. Fincher, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 463, 2003.
- [2] H.E.A. Huitema, G. H. Gelinck, J. B. P.H. Putten, K. E. Kuijk, K. M. Hart, E. Cantatore, D. M. Leeuw, *Adv. Mater.* **14**, 1201, 2002.
- [3] M. Pope, H. P. Kallmann and P. Magnante, *J. Chem.Phys.*, **38**, 2042, 1963.
- [4] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913, 1987.
- [5] R.H. Friend et. al., *Nature*, **347**, 539, 1990.
- [6] K. Kuro, *Curr. Appl. Phys.*, **5**, 337, 2005.
- [7] C. Jiang, W. Yang, J. Peng, S. Xiao, Y. Cao, *Adv. Mater.* **16**, 537,2004.
- [8] H. S. Lee, W. J. Lee, K. W. Jang, M. K. Choi, S. I. Lee, T. W. Kim, M. Iwamoto, J. U. Lee, *J. of the KIEEME*, **17**, 196, 2004.