

## ITO 기판의 Aquaregia 처리에 의한 녹색발광 OLED의 효율 향상 연구

최규채, 김동은, 김병상, 권영수\*  
 동아대학교 전기공학과

### Efficiency Improvement of Green Emitting OLED by Aquaregia Treatment of ITO Substrate

Gyu-Chae Choi, Dong-Eun Kim, Byoung-Sang Kim, Young-Soo Kwon\*  
 Department of Electrical Engineering and NTRC, Dong-A University

**Abstract** - ITO is widely used as an anode material in OLED, because of its good transparency, low electrical resistivity, high work function, and efficient hole injection properties. The interface between the electrode and the organic layer in the OLED affects the charge injection process and may influence the electrical and the luminance properties. Surface treatment of ITO, such as an Aquaregia treatment has been shown to enhance the efficiency, and luminance characteristics of the OLED. In this study, we investigated the effect of Aquaregia treatment. The fundamental structures of the OLED were ITO/NPB/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al. The current density-voltage-luminance, efficiency, and lifetime characteristics were measured with untreated and Aquaregia-treated ITO substrates. The Aquaregia treatment was found to enhance the performance of OLED. For the Aquaregia treated device, the maximum luminance and efficiency were increased by about 2 times compared to the untreated device. The mechanism of the Aquaregia treatment is discussed based on AFM analyses.

#### 1. 서 론

새로운 평판 디스플레이 중 하나인 OLED는 자체발광형이므로 LCD에 비해서 넓은 시야각, 대조비, 밝기 등이 우수하며 백라이트가 필요하지 않기 때문에 경량박형이 가능하고, 소비전력 측면에서도 유리하다. 또한 종이처럼 말거나 접을 수 있는 Flexible 디스플레이로도 응용이 가능하다. 이러한 여러 장점으로 인해 최근 여러 나라에서 OLED의 실용화에 박차를 가하고 있으며 집중적인 연구개발 투자가 이루어지고 있다 [1].

OLED의 효율을 향상시키기 위해서는 1) 전극 물질의 개발 및 전극의 표면처리, 2) 전자와 정공이 수직인 균형을 이루며 효율적으로 재결합할 수 있는 소자의 구조, 3) 발광효율이 큰 물질의 개발 등이 요구된다 [2]. 첫째, 전극 물질의 개발 및 전극의 표면 처리에 의하여 OLED의 효율 향상이 가능하다. 음극은 일함수가 작은 Ca(2.9eV)를 사용하면 큰 효율을 얻을 수 있지만 대기 중에서 산화되는 단점이 있고, Al(4.3eV)을 사용하면 안정하다는 장점이 있지만 일함수가 커서 전자의 주입이 제한된다. 효율이 좋으면서도 안정한 음극을 형성하기 위한 방법으로 일함수가 낮은 금속과 화학적으로 안정한 금속을 함께 증착하거나(Mg:Ag, Li:Al), 발광층과 음극(Al) 사이에 얇은 절연층(LiF)을 삽입하는 방법이 보고되었다. 한편 ITO기판의 경우, 다양한 표면 처리 방법에 의해서도 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. ITO 기판의 표면처리 방법에는 RCA, Aquaregia, O<sub>2</sub> Plasma, UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 방법 등이 있다 [3].

둘째, 전자와 정공이 소자 내에서 수직인 균형을 이루며 효율적으로 재결합 할 수 있는 소자의 구조로 이종접합구조(heterostructure)가 제시되었다. 이종 접합 구조는 정공수송층을 발광층과 양극사이에 삽입하거나 전자수송층을 발광층과 음극사이에 삽입하는 것이다. 이러한 운반자 수송층은 각각의 운반자를 발광 물질 쪽으로 효율적으로 수송시켜주는 역할과 발광층과 계면에 형성된 에너지 장벽에 의하여 운반자를 제한시킴으로써 여기자 형성 효율을 증가 시키거나, 운반자의 수직 균형을 맞추어 소자의 효율을 증가시키는 것이다 [4].

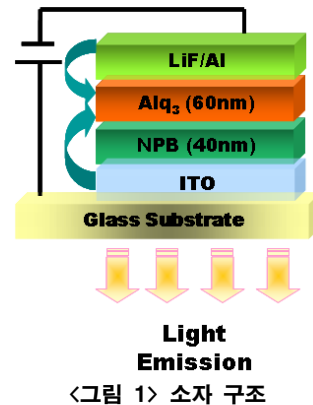
셋째, 발광 효율이 큰 물질의 개발에 관한 연구도 현재까지도 계속 진행되고 있으며 주사슬에 공액 부분과 비공액 부분을 함께 가지는 고분자를 사용하거나 두 가지 고분자를 혼합하여 발광효율을 향상시키는 방법도 보고되고 있다. 또한 삼중항 여기자로부터 발생하는 인광(phosphorescence)을 이용하여 발광 효율을 증가시키는 연구도 진행되고 있다 [5].

본 논문에서는 OLED 효율을 향상시키기 위한 방법으로 ITO 기판을 시간에 따른 Aquaregia 표면 처리하여 특성을 비교하였다.

#### 2. 실 험

본 실험에서 사용한 ITO 기판은 0.7 T 두께이고 유리 기판 위에 형성된 ITO 박막의 평균 두께는 150 nm 였으며 표면 처리 이전의 표면 저항은 15 Ω/cm<sup>2</sup>이었다. 소자 제작에 이용된 ITO 전극은 3 mm × 3 mm의 선두계로 직접 patterning 하였다. ITO patterning 방법은 염산과 질산을 3 : 1의 부피 비로 혼합하여 발생하는 증기를 이용하여 원하는 부분을 제외한 나머지 ITO를 식각하였다. 식각시간은 15분으로 하였다. 식각 과정이 끝난 ITO 기판은 증류수, Trichloroethylene, Aceton, Isopropyl alcohol, 증류수 순서로 10분간 초음파 세척을 하였다.

ITO 기판은 Aquaregia 표면 처리를 하였다. Aquaregia 처리 방법은 산(acid) 용액을 이용하여 처리하는 방법으로써, 질산(HNO<sub>3</sub>), 염산(HCl), 2차 증류수를 1:3:25의 비율로 혼합한 Aquaregia 용액에 ITO기판을 넣고 표면을 처리하는 방법이다. 본 연구에서는 패터닝된 ITO기판을 각각 1분, 5분, 10분, 15분 동안 Aquaregia 용액에 넣고 표면을 처리한 후, ITO/NPB(40nm)/Alq<sub>3</sub>(60nm)/LiF(0.5nm)/Al(120nm) 구조로 소자를 제작하여 전기적·광학적 특성을 Aquaregia 처리에 따른 영향을 살펴보았다 (그림 1). 유기물 박막을 제작하는 방법으로는 JBS Inc.의 Multi-Evaporation System 사용하여 진공 열증착법으로 소자를 제작하였다.



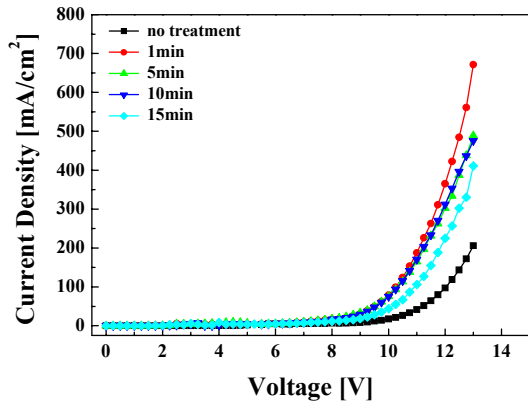
#### 3. 결과 및 검토

그림 2는 본 실험에 사용된 소자의 (a) 전압-전류밀도, (b) 전류밀도-휘도, (c) 휘도-효율 특성을 나타낸 것이다.

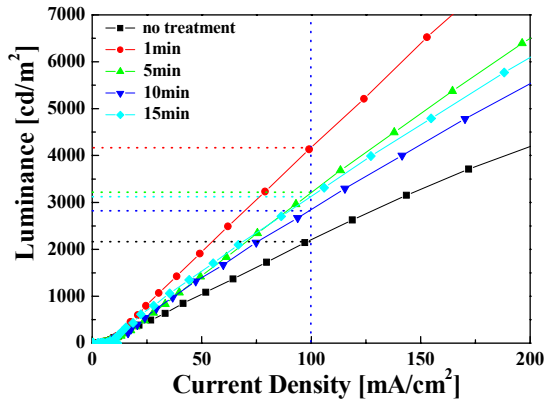
그림 2의 (a)에서 Aquaregia 용액으로 표면을 처리하였을 경우 표면 처리를 하지 않은 경우보다 같은 전압에서 전류밀도가 많이 증가하는 경향을 알 수 있다. 이는 표면처리를 통한 정공 주입 에너지장벽의 감소로 정공이 더 잘 주입되기 때문이다. 그림 2의 (a)를 보면 턴온전압이 Aquaregia 처리 시간 5분, 10분, 15분일 때, 각각 5.83V, 5.93V, 6.4V, 6.7V로 Aquaregia 처리를 하지 않은 경우인 8.25V보다 많이 낮아졌다. 이는 표면처리를 통한 정공 주입 에너지 장벽의 감소 결과이다.

그리고 그림 2의 (b)를 통해 100mA/cm<sup>2</sup>에서의 휘도 특성을 보면, 휘도는 Aquaregia 처리 시간이 1분, 5분, 10분, 15분일 때, 각각 4,170 cd/m<sup>2</sup>, 3,240 cd/m<sup>2</sup>, 2,850 cd/m<sup>2</sup>, 3,120 cd/m<sup>2</sup>으로 Aquaregia 처리를 하지 않은 경우인 2,200 cd/m<sup>2</sup>보다 매우 높아졌다. 여기서 Aquaregia 처리 시간이 1분인 소자가 턴온 전압 및 휘도 특성에서 가장 우수함을 확인하였다.

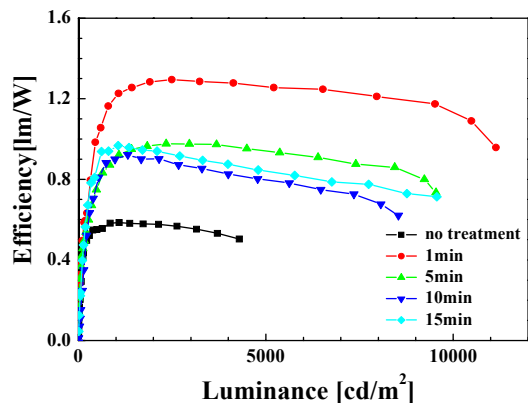
그림 2 (c)에 Aquaregia 처리 시간에 따른 발광효율 특성을 나타내었다. 최대 발광효율도 Aquaregia 처리 시간이 1분, 5분, 10분, 15분일 때, 각각 1.29 lm/W, 0.98 lm/W, 0.92 lm/W, 0.97 lm/W로 표면처리를 하지 않은 경우인 0.58lm/W보다 매우 향상되었다. 특히 Aquaregia 처리 시간이 1분인 소자가 1.29 lm/W로 가장 높은 발광효율을 나타내었다.



(a) 전압-전류밀도 특성



(b) 전류밀도-휘도 특성

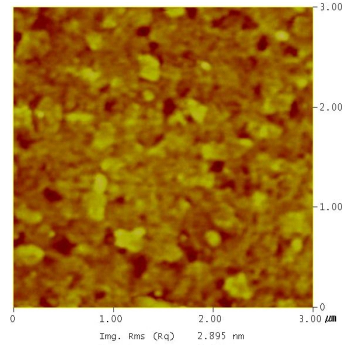


(c) 휘도-효율 특성

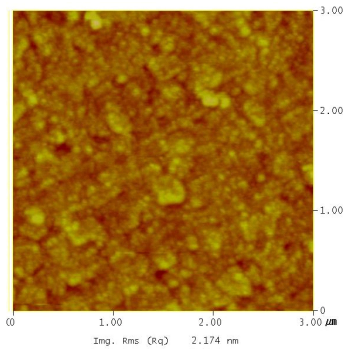
<그림 2> 표면처리에 따른 OLED의 특성

ITO의 표면처리에 따른 표면의 변화와 캐리어 주입의 변화가 OLED에 미치는 영향을 살펴보기 위해 AFM을 사용하여 표면처리에 따른 표면의 거칠기(roughness)의 변화를 관찰 하였다. 그림 3은 (a) 표면처리하지 않은 ITO의 AFM 이미지 (b) Aquaregia 1분 처리한 ITO의 AFM 이미지이다. 표면처리를 하지 않은 ITO 박막의 RMS (root mean

square) 거칠기는 2.895 nm이며, ITO 표면을 Aquaregia 처리를 1분 하였을 경우 ITO 박막의 거칠기는 2.174 nm를 나타내었다. 따라서 Aquaregia 처리는 용액을 구성하고 있는 산에 의해서 ITO 표면의 식각 현상이 일어나 표면의 거칠기가 감소하여 소자의 계면 접촉을 향상시킴으로써 효율을 향상시키는 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 표면처리하지 않은 ITO의 AFM 이미지



(b) Aquaregia 1분 처리한 ITO의 AFM 이미지

<그림 3> ITO 표면의 AFM 이미지 (Scan size : 3 μm)

### 3. 결 론

본 연구에서는 ITO 기판의 Aquaregia 표면 처리 시간에 따른 OLED의 특성을 조사하였다. 이 실험을 통해 Aquaregia 처리를 1분 동안 한 소자가 Aquaregia 처리를 하지 않은 소자에 비해 가장 향상된 특성을 나타내었다. 그리고 Aquaregia 용액이 산성용액이므로 처리시간이 길수록 표면처리에 의한 효과가 떨어짐을 알 수 있었다. Aquaregia 처리를 1분 동안 한 소자는 턴온전압이 5.83 V로 가장 낮았으며, 100 mA/cm<sup>2</sup>에서의 휘도도 4,170 cd/m<sup>2</sup>로 매우 높아졌으며, 최대 발광효율도 1.19 lm/W로 향상되었다. 이는 Aquaregia 처리가 ITO 기판과 정공 수송층 사이의 정공 주입 에너지장벽을 감소시키는데 기여하고 있음을 나타내는 결과로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman and A. Stocking, "Organic Electroluminescent Devices", Science, Vol.273, p.884, 1996.
- [2] S. R. Forrest, "The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic", Nature, Vol.428, p.911, 2004.
- [3] 양기성, 김병상, 김두석, 신훈규, 권영수, "ITO 기판의 산소 플라즈마 표면 처리에 의한 OLED의 전기적, 광학적 특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.54C, p.8, 2005.
- [4] L. S. Hung, C. W. Tang and M. G. Mason, "Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode", Appl. Phys. Lett., Vol.70, p.152, 1997.
- [5] E. I. Haskal, A. Curioni, P. F. Seidler, W. Andreoni, "Lithium-aluminum contacts for organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol.71, p.1151, 1997.