

## UV/O<sub>3</sub> 표면처리에 따른 OLEDs 효율 향상에 관한 연구

장윤기, 김병상, 권오관, 권영수\*  
동아대 전기공학과 & CIIMPS

### Study on Efficiency improvement of OLEDs by surface treatment of UV/O<sub>3</sub>

Yoon-Ki Jang, Byoung-Sang Kim, Oh-Kwan Kwon and Young-Soo Kwon  
Department of Electrical Engineering&CIIMPS, Dong-A University

**Abstract** - Main purpose of this study is a improved efficiency of Organic light emitting diodes(OLEDs) concerning UV/O<sub>3</sub> treatment. We investigated the efficiency of OLEDs by UV/O<sub>3</sub> treatment of ITO surface. We measured current density-voltage, luminance-voltage characteristics in different UV/O<sub>3</sub> treatment time and observed ITO surface roughness by using AFM(Atomic Force Microscope). The fundamental structure of the OLEDs was ITO/NPB/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al. We performed UV/O<sub>3</sub> treatment and found that UV/O<sub>3</sub> treatment enhanced the performance of OLEDs. We also found that change of surface roughness according to difference time a UV/O<sub>3</sub> treatment

알려진 물질 중 가장 발광 특성이 우수한 녹색 저분자물 질인 Tris-(8-hydroxy-quinoline)-aluminium (Alq<sub>3</sub>)을 사용하였다.

#### 2.1 ITO 표면처리 및 소자 제작

본 실험에서는 ITO를 양극으로 사용하고 Al을 음극으로 각각 사용하였다. 소자제작에 사용되는 ITO 기판은 0.7 T 두께이고, 유리 기판 위에 형성된 ITO 전극의 평균 두께는 1500 Å 이었으며 표면 저항은 15 Ω/□ 이었다. 소자 제작에 이용된 ITO 전극은 3mm의 선두께로 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 기판의 세척은 증류수, Trichloro-ethylene, Aceton, Iso-propyl alcohol, 증류수 순서로 10분간 초음파 세척을 하였다.

#### 1. 서 론

새로운 평판 디스플레이 중 하나인 OLEDs(Organic Light Emitting Diodes)는 자체발광형이므로 LCD에 비해서 넓은 시야각, 대조비, 밝기 등이 우수하며 백라이트가 필요하지 않기 때문에 경량박형이 가능하고, 소비전력 측면에서도 유리하다[1]. 또한 종이처럼 말거나 접을 수 있는 Flexible 디스플레이로도 응용이 가능하다[2]. 이러한 여러 장점으로 인해 최근 여러 나라에서 OLEDs의 실용화에 박차를 가하고 있으며 집중적인 연구개발 투자가 이루어지고 있다.

현재 OLEDs의 효율을 향상시키고자 하는 노력은 다방면에서 진행되고 있다. 이러한 노력의 한가지로서 OLEDs에 사용되는 ITO 기판의 표면처리가 있다. ITO 기판의 경우, 다양한 표면처리 방법에 의해서도 소자의 성능을 향상시킬 수 있다[3]. ITO 기판의 표면처리 방법에는 화학적 표면처리 방법인 RCA, Aqua regia와 O<sub>2</sub> Plasma, UV/O<sub>3</sub>등의 표면처리 방법이 있다. 다양한 ITO 표면처리로 소자의 특성 향상과 유기물/전극 계면간의 계면현상에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다[4~7].

본 연구의 목적은 ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간을 1분, 5분, 10분으로 변화시켜 OLEDs 발광 특성 및 효율 향상에 관한 연구를 하였고, 표면처리 시간에 따른 ITO 기판 표면 거칠기를 분석하여 최적의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간을 확립하고자 하였다.

#### 2. 실험 및 방법

##### 2.1 시료

본 실험에서 사용된 물질은 정공 수송층(hole transporting layer)으로 사용되는 대표적인물질인 N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine(NPB)를 사용하였다. 그리고 발광층(emitting layer)으로 사용된 물질은 일반적으로 널리

ITO 기판 표면처리 방법은 UV/O<sub>3</sub> 처리를 하였다. UV/O<sub>3</sub> 처리는 Jeligh Company Inc. UV/O<sub>3</sub>-CLEANER(Model No. 42-220)를 사용하여 유기물을 증착하기 전에 ITO 기판을 1분, 5분, 10분 동안 처리를 하여 비교하였다. ITO 표면의 거칠기 측정은 Digital Instrument Inc. 의 Nanoscope II AFM Mode를 사용하였다.

유기물 박막을 제작 방법으로는 JBS Inc. 의 Multi-Evaporation System 사용하여 진공 열 증착법(Thermal evaporation)으로 소자를 제작하였다. 소자의 구조는 ITO/NPB(400Å)/Alq<sub>3</sub>(600Å)/LiF(5Å) /Al(1000Å)으로 구성하였다. 정공 수송층인 NPB의 박막 두께는 400 Å로 일정하게 하고, 발광층으로 사용된 Alq<sub>3</sub>는 600 Å 두께로 약 1.0 Å/s의 증착속도로 5×10<sup>-6</sup> Torr의 진공도에서 연속적으로 증착 하였다. 음극으로 사용된 LiF와 Al은 5 Å, 1000 Å 두께로 5×10<sup>-6</sup> Torr 진공도에서 0.1 Å/s, 10 Å/s의 각각 증착 하였다. 발광면적은 3×3 mm<sup>2</sup>의 크기로 하였다. 모든 측정은 DC 전압에서 측정하였다. 본 실험에서 소자의 전압-전류밀도 특성과 전압-휘도 특성은 상온에서 측정하였다.

#### 3. 실험 결과 및 고찰

##### 3.1 전기적 특성

UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 OLEDs의 전압-전류밀도 특성을 그림 1에 나타내었다. ITO 기판을 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시, UV/O<sub>3</sub> 처리하지 않은 경우보다 구동전압이 감소하고, 전류밀도가 증가하였다. 즉, ITO기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리로 양자효율(quantum efficiency)의 증가 및 ITO 표면에 존재하는 탄소분수물을 제거로 일함수의 상승과 ITO와 유기물 계면간의 정공주입의 개선으로 정공의 주입이 증가하여 구동전압의 감소와 turn-on 전

압이 낮아졌다[7,8].

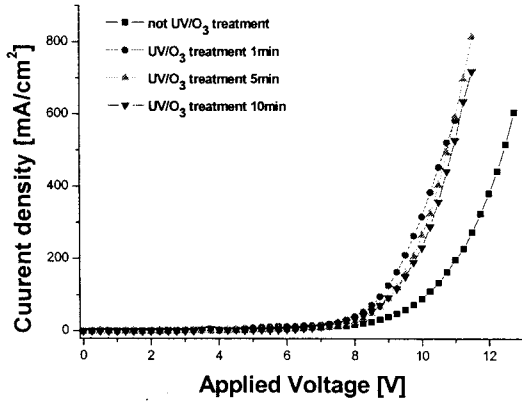


그림 1. UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 전압-전류밀도 특성

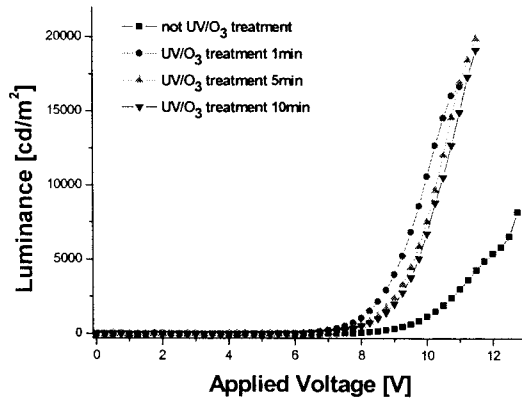


그림 2. UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 전압-휘도 특성

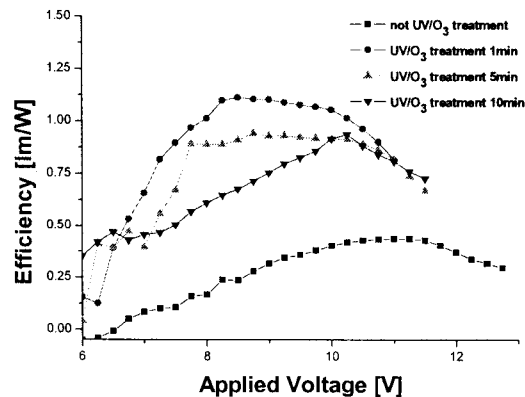


그림 3. UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 시간에 따른 전압-효율 특성

그림 2는 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 전압-휘도 특성을 나타내었다. ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리를 하였을 때 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 하지 않은 소자보다 휘도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그리고 10 V의 전압을 기준

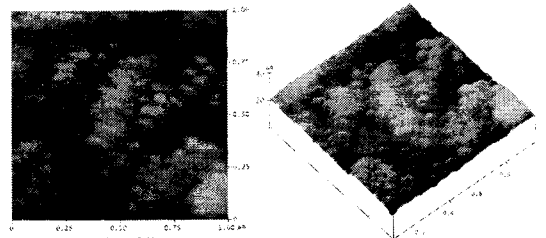
으로 해서 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 하지 않을 때는 휘도가 1150 cd/m<sup>2</sup> 이고, UV/O<sub>3</sub> 표면처리를 1분으로 하였을 때 10609 cd/m<sup>2</sup> 로 9.2배 증가한 것을 알 수 있었다.

그림 3은 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 전압-효율 특성을 나타내었다. 전압-효율 특성에서 UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 하기 전에 최대 효율은 8-12 V에서 0.43 lm/W로 나타났지만, UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간이 1분일 경우 최대 효율은 8-12 V에서 1.1 lm/W로 약 2.5배의 효율 변화를 나타내고 있다. 그리고 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간 5분, 10분 일 때 최대 효율은 8-12 V에서 각각 0.94 lm/W, 0.93 lm/W 로 나타났다. 그림 3에서 UV/O<sub>3</sub> 처리시간이 1분 일 때 소자의 특성이 가장 좋음을 알 수 있었고, ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리로 소자의 특성이 개선되었음을 확인 할 수 있다.

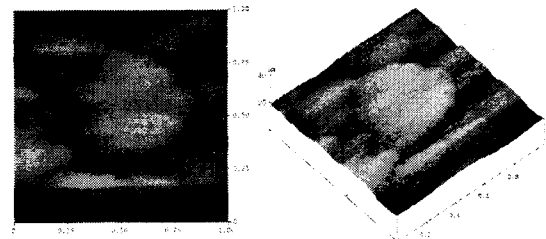
### 3. 2 ITO 박막의 표면 거칠기 분석

그림 4는 UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 전, 후의 ITO 박막의 표면 이미지를 Digital Instrument Inc. 의 Nanoscope IV AFM Mode로 측정 한 이미지이다. UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시 표면처리 하지 않았을 때 보다 ITO 박막의 거칠기가 감소하는 것을 알 수 있었고, UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간이 증가함에 따라 ITO 표면 거칠기가 평탄해 지는 것을 확인할 수 있다. 표 1은 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 ITO 박막의 표면 거칠기 변화를 나타내었다. 이러한 결과는 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시 발생하는 오존(O<sub>3</sub>)과 ITO 표면의 탄소불순물이 반응하면서 표면에 흡착되어 있던 탄소를 제거하여 표면 거칠기가 낮아지는 것으로 판단된다[7].

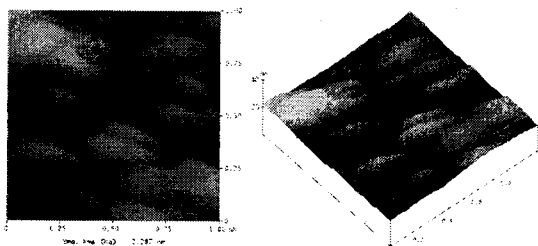
ITO 박막의 표면 거칠기가 클 경우 돌출된 부분에 전류가 집중되어 OLEDs 소자의 흑점 현상(dark spot)이 생길 확률이 커져 소자 특성에 영향을 미치게 된다[9]. 또한, 두께가 매우 얇은 박막의 경우 표면 거칠기는 캐리어의 산란현상을 유발시키므로 전기 전도에도 영향을 미칠 수 있다[10].



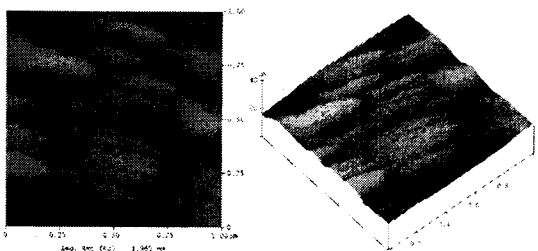
(a) UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 하지 않았을 때



(b) UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 1분



(C) UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 5분



(d) UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 10분

그림 4 UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 시간에 따른 ITO 박막의 표면 AFM 이미지

표 1. UV/O<sub>3</sub> 표면 처리 시간에 따른 ITO 박막의 표면의 거칠기 변화

UV/O <sub>3</sub> 표면 처리 시간	RMS roughness[nm]
No Treatment	2.539
UV/O <sub>3</sub> Treatment [1분]	2.367
UV/O <sub>3</sub> Treatment [5분]	2.287
UV/O <sub>3</sub> Treatment [10분]	1.960

#### 4. 결 론

본 연구에서는 ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 최적의 공정 조건 확립과 표면 처리 시간에 따른 효율 특성을 조사하였다. 그리고 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간에 따른 ITO 기판의 표면 이미지를 측정하였다. ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면 처리에 따라 OLEDs 효율이 향상되는 것은 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시 발생하는 오존(O<sub>3</sub>)과 ITO 표면의 화학결합이 탄소불순물과 반응하면서 표면에 흡착되어 있던 탄소를 제거하여 일함수가 약간 증가하고, ITO 표면에 O<sup>2</sup> 이온의 주입으로 전하밀도가 증가하여 표면의 전도도를 감소시킨다. 이로 인해 정공주입이 증가하여 발광효율이 좋아지기 때문이다[7].

ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면 처리는 OLEDs 구동전압을 낮아지게 하고 발광특성 또한 증가하게 하여, OLEDs 효율을 향상시킨다. 그리고 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간이 증가함에 따라 ITO 표면 거칠기가 평탄해 지는 것을 ITO 박막의 AFM 표면 이미지로 확인 할 수 있었다. ITO 기판의 UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간은 1분 일 때 가장 좋은 특성을 나타내었다. UV/O<sub>3</sub> 표면처리 시간이 1분 일 때, 10 V의 전압에서 휘도가 10609 cd/m<sup>2</sup> 으로서 UV/O<sub>3</sub> 처리 하기 전에 비해 약 9.2배 상승하였고, 최고 발광 효율은

1.1 lm/W 이었다.

이러한 연구는 유기물과 전극계면 현상이 OLEDs의 구동에 있어서 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었으며, 전극/ 유기물 계면의 안정화를 통해 정공 주입이 향상되어진다는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형 통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### [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] E. I. Haskal, A. Curioni, P. F. Seidler, and W. Andreoni, "Lithium-aluminum contacts for organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 71, p. 1151, 1997
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] J. S. Kim, M. Granstrom, R. H. Friend, N. Johansson, W. R. Salaneck, R. Daik, W. J. Feast and F. Cacialli, "Indium-tin oxide treatments for single- and double-layer polymeric light-emitting diodes: The relation between the anode physical, chemical, and morphological properties and the device performance", Journal of Applied Physics, Vol. 84, p.6859, 1998
- [7] Weijie Song, S. K. So, Daoyuan Wang, Yong Qiu, Lili Cao. "Angle dependent X-ray photoemission study on UV-ozone treatment of indium tin oxide", Applied Surface Science, Vol. 177, p.158, 2001
- [8] S. K. So, W. K. Choi, C. H. Cheng, L. M. Leung, C. F. Kwong, "Surface preparation and characterization of indium tin oxide substrates for organic electroluminescent devices", Appl. Phys. A, Vol. 68, p.447, 1999
- [9] Lee-Mi Do, Do-Hoon Hwang, Hye-Yong Chu and Taehyung Zyung, "Progress of Dark Spot and Blister Formation in Polymeric Lighting emitting Diodes", Synthetic Metals, Vol. 102, p.1006, 1999
- [10] Hai-Ning Cui, V. Teixeira, A. Monteiro, "Microstructure study of indium tin oxide thinfilms by optical methods", Vacuum, Vol. 67, p.589, 2002