

## ITO 박막의 표면 거칠기에 따른 OLED 소자의 특성

이봉근 · 이규만<sup>†</sup>

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 신소재공학과

### Effect of the Surface Roughness of ITO Thin Films on the Characteristics of OLED Device

Bong Kun Lee and Kyu Mann Lee<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Dept. of Materials Engineering, Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

We have investigated the effect of the surface roughness of TCO substrate on the characteristics of OLED (organic light emitting diodes) devices. In order to control the surface roughness of ITO thin films, we have processed photolithography and reactive ion etching. The micro-size patterned mask was used, and the etching depth was controlled by changing etching time. The surface morphology of the ITO thin film was observed by FESEM and atomic force microscopy (AFM). And then, organic materials and cathode electrode were sequentially deposited on the ITO thin films. Device structure was ITO/ $\alpha$ -NPD/DPVB/Alq3/LiF/Al. The DPVB was used as a blue emitting material. The electrical characteristics such as current density vs. voltage and luminescence vs. voltage of OLED devices were measured by using spectrometer (minolta CS-1000A). The current vs. voltage and luminance vs. voltage characteristics were systematically degraded with increasing surface roughness. Furthermore, the retention test clearly presented that the reliability of OLED devices was directly influenced with the surface roughness, which could be interpreted in terms of the concentration of the electric field on the weak and thin organic layers caused by the poor step coverage.

**Key Words** : ITO thin film, surface roughness, current density, luminance, OLED devices

#### 1. 서 론

ITO (Indium Tin Oxide) 박막은 n-type의 전도 특성을 갖는 산화물 반도체로서 넓은 밴드갭과 함께 가시광 영역에서의 높은 투과율과 전기 전도성을 나타내기 때문에 박막형 디스플레이 분야에 널리 사용되어지고 있다[1]. 특히 ITO 박막은 OLED 디바이스의 양극(anode) 용 투명전극 재료로서 사용되어 ITO 박막에 대한 연구가 활발히 진행중이다[2-3]. 이러한 ITO 박막의 증착 방법으로는 thermal evaporation, magnetron sputtering, electron beam sputtering, chemical vapor deposition(CVD) 등이 있으며 이들 방법 중 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 ITO 박막은 높은 전기전도성

과 함께 상용화를 위한 대면적 증착이 가능하고 균일도가 우수하여 가장 보편적으로 사용되어지고 있는 방법이다[4-6].

OLED의 효율을 향상시키기 위해서는 전극물질의 개발 및 전극의 표면처리, 전자와 정공이 수적인 균형을 이루며 효율적으로 재결합 할 수 있는 소자의 구조 및 발광효율이 큰 물질의 개발 등이 요구된다. 특히 ITO 기판의 경우, 다양한 표면처리 방법에 의해서도 소자의 성능을 향상 시킬 수 있다. ITO 기판의 표면처리 방법에는 O<sub>2</sub> plasma, UV/O<sub>3</sub> 등이 있으며, 또한 ITO 기판의 표면 처리에 의하여 소자의 특성이 향상된다는 보고도 있다[7-9].

본 연구에서는 ITO 박막의 표면거칠기에 따라서 OLED 소자의 전기적 및 광학적 특성이 어떠한 영향을 받는지를 조사하였다. 표면 거칠기를 인위적으로 조절하기 위하여 반도체 공정인 노광 및 에칭 공정을 이용

<sup>†</sup>E-mail : kmlee@kut.ac.kr

하였다. 이렇게 준비된 서로 다른 표면 거칠기를 가지는 ITO 기판 위에 -NPB, Alq3, LiF, Al 의 순서로 진공증착하여 OLED 디바이스를 제작하고 전기적 및 광학적 특성을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에는 현재 TFT-LCD 양산에 사용되고 있는 2000 Å 두께의 ITO 가 증착된 glass(corning 7059)를 기판으로 사용하였다 (면저항 ;  $R_s < 10 \Omega/\square$ ). ITO 를 부분적으로 식각하기 위하여 ITO-coated glass 위에 스펀 코팅법으로 PR (photo resistor)을 도포하고 100초 동안 소프트 베이킹을 행하였다. 그리고 제작된 노광마스크를 사용하여 4초간 노광(model Q-4000, QUINTEL TECH, USA)을 실시하였고 현상 후 5분간 하드베이크를 실시하여 표면에 PR을 선택적으로 도포하였다. PR의 간격은 2  $\mu\text{m}$ 이며 너비 또한 2  $\mu\text{m}$ 로 일정한 패턴을 유지하였다. PR이 도포된 ITO-coated glass 는 HCl로 각각 2, 3, 4분 동안 식각하였다. 시간별로 ITO-coated glass 를 식각하여  $\alpha$ -step (model P-2, TECOR, USA)으로 두께를 측정하였다. 에칭 후 PR제거와 표면의 세척을 위해 아세톤/알코올/증류수에 각 30분씩 초음파 세척과 질소 가스로 송풍 건조하였다. Fig. 1은 상기의 방법으로 제조된 기판의 3D laser scanning 현미경(model VK-9700, KEYENCE) 사진을 보여준다. Etching rate 은 분당 120 nm 였으며, 원하는 대로 patterning 되었음을 확인할 수 있다.

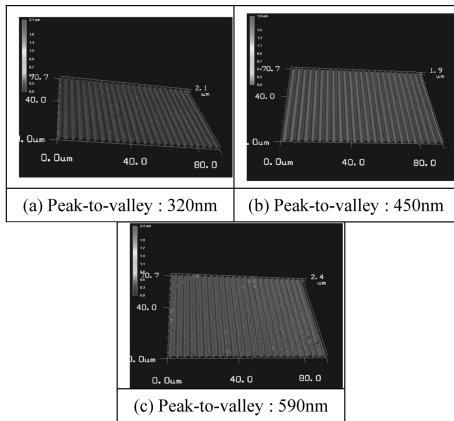


Fig. 1. 3D Laser Scanning microscope images of Patterned ITO-coated glass substrate.

이렇게 제조된 기판 위에 OLED 소자를 제작하기 위해서 rf-power 150W에서 3분간 산소 플라즈마를 이

용하여 전처리를 한 후, 진공도  $10^{-6}$  torr에서  $\alpha$ -NPB, DPVB, Alq3, LiF, Al 의 순서로 각각 진공에서 증착하였다.  $\alpha$ -NPB, Alq3는 1~1.5 Å/s의 증착속도로 각각 400 Å, 400 Å을 증착하였고, LiF와Al은 증착속도를 2 Å/s 이상으로 하여 각각 5 Å과 1000 Å 일정하게 증착하였다. DPVB 는 1~1.5 Å/s의 속도로 400~600Å 범위에서 두께를 변화시켰다.

Spectrometer ((model CS-1000A, KONICA MINOLTA SENSING INT, JPN))를 이용하여 제작된 OLED 소자의 전류밀도-전압 (I-V), 휘도-전압 (L-V) 특성을 측정하였다. 소자의 안정적인 측정을 위하여 0~10 V 범위에서 측정하였다. 또한 소자의 신뢰성 및 수명도를 측정하기 위해서 각각 2, 3, 및 4분 동안 화학적 식각된 ITO-coated glass 기판 위에 유기물을 400 Å 증착하여 OLED 소자를 제작하고 90분간 소자에 7V의 전압을 계속 인가한 후 I-V-L을 재측정하여 처음 데이터와 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 2 는 패터닝을 하지않은 flat한 ITO 기판위에 유기물 두께를 달리 증착한 후에 OLED 소자를 형성하여 I-V 및 L-V 특성을 측정한 그래프이다. 유기물 두

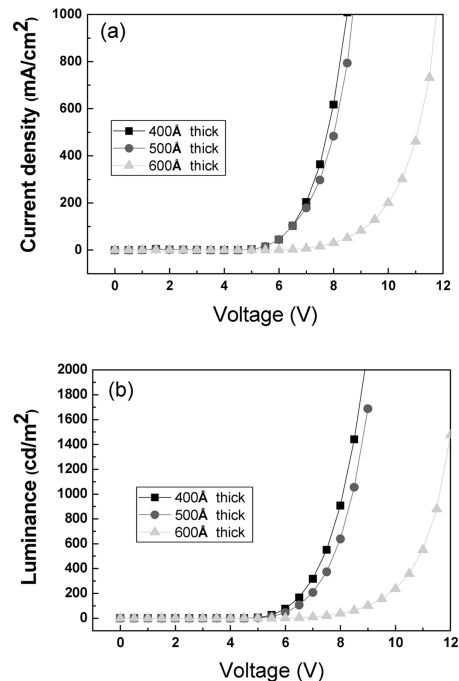


Fig. 2. (a) I-V and (b) L-V characteristics of the OLED devices with various organic thickness.

께가 증가할수록 turn on voltage 가 증가하고 I-V-L 특성도 감소함을 알 수 있다. 다만, 400Å와 500Å의 경우에는 전류밀도와 휘도의 특성이 큰 차이를 보이지 않는 반면에, 600Å의 경우에 turn on voltage 가 크게 증가하였다. 유기물 두께 증가에 따른 I-V-L 특성의 감소는 유기물 단위 두께에 인가되는 전압, 즉 전계 (electric field)의 감소 때문이라고 판단된다.

Fig. 3 은 ITO film의 표면 거칠기를 변화시키기 위해서 ITO film을 각각 2분과 4분씩 화학적 식각한 후에 유기물 두께를 달리 증착한 후에 OLED 소자를 형성하여 I-V 및 L-V 특성을 측정한 그래프이다. 식각 시간, 즉 표면 거칠기와 상관없이 유기물 두께가 증가할수록 turn on voltage 가 크게 증가하고 I-V-L특성이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이 결과는 상기의 Fig. 2의 결과와도 잘 일치한다. 또한, 표면 거칠기가 증가할수록 turn on voltage 가 증가하고 I-V-L 특성이 역시 감소함을 알 수 있다. 하지만, 표면 거칠기 증가에 따른 I-V-L 특성의 감소 효과는 유기물 두께의 효과에 비해서는 상당히 작음을 알 수 있다. 앞서 기술한 바와 같이 유기물 두께에 따른 I-V-L 특성의 차이가 전계 때문이라고 한다면, 표면 거칠기에 의해서는 전계의 차이가 그리 크지 않다는 것을 시사한다.

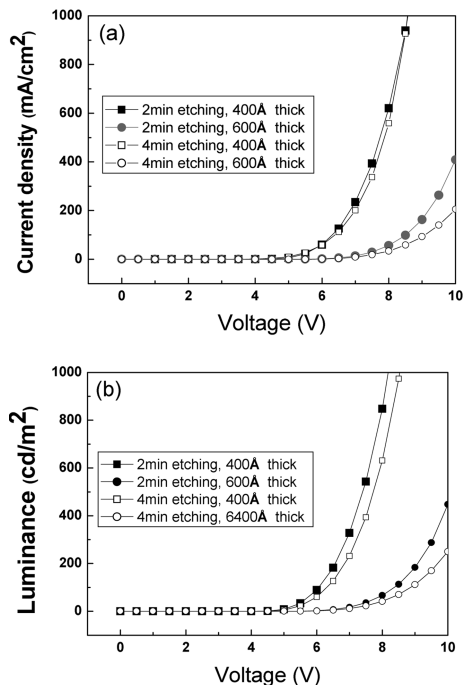


Fig. 3. (a) I-V and (b) L-V characteristics of the OLED devices with various etching time and organic thickness.

Fig. 4 는 유기물 두께를 500Å으로 유지하고 식각 시간, 즉 표면 거칠기를 달리한 후에 유기물 두께를 달리 증착한 후에 OLED 소자를 형성하여 I-V 및 L-V 특성을 측정한 그래프이다. 표면 거칠기가 증가할수록 turn on voltage 가 증가하며 전류밀도 및 휘도 특성이 지속적으로 감소함을 알 수 있다. 상기한 바와 같이 비록 표면 거칠기에 따라서 전계의 차이가 그리 크진 않지만, 이 실험 결과부터 표면 거칠기는 분명히 OLED 소자의 I-V-L 특성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

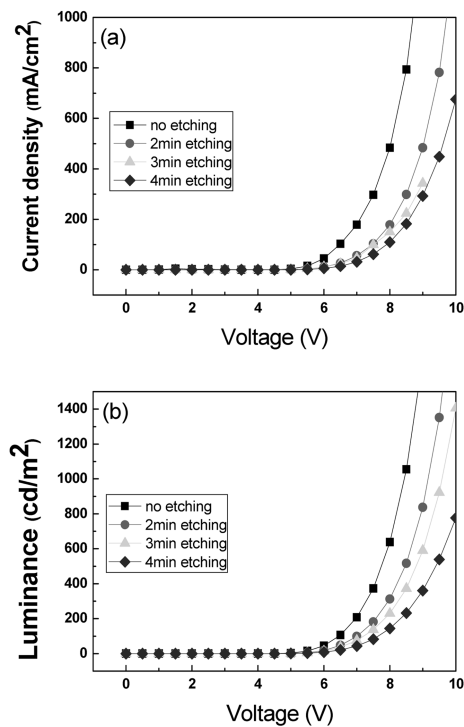


Fig. 4. (a) I-V and (b) L-V characteristics of the OLED devices with various etching time. The organic thickness was 500Å.

표면 거칠기가 OLED 소자의 I-V-L 특성에 영향을 미치지만, 특히 중점적으로 문제가 되는 부분을 파악하기 위하여 가혹 실험인 retention 실험을 행하였다. Fig. 5 는 OLED 소자 제작 후 바로 측정된 휘도와 90분동안 7V의 전압을 계속 인가한 후 다시 측정된 휘도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 이는 소자의 신뢰성 및 수명을 측정하기 위한 것이다. 90분간 7V를 인가한 후 측정된 휘도는 소자 제작 후 바로 측정된 휘도에 비해 상당히 감소한 것으로 측정되었다. 또한, 식각 시간이 증가함에 따라서 휘도의 감소량도 증가함을 알 수 있다. 예를 들면 2분

식각한 OLED 소자의 8 V에서 측정된 처음 휘도와 90분 인가한 후의 휘도 차이는  $236 \text{ cd/m}^2$  이었으며, 4분 식각한 경우의 휘도 차는  $317 \text{ cd/m}^2$  로 나타났다. 식각시간이 증가 할수록 휘도의 차가 증가하는 양상을 보였다.

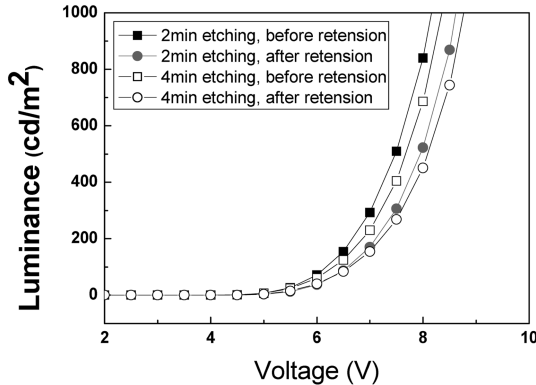


Fig. 5. Luminance vs. voltage characteristics of OLED devices with retention test (initial state vs. 90 min retained state).

이상의 결과들로부터 표면 거칠기에 의해서 OLED 소자의 전기적 및 광학적 특성은 분명히 영향을 받고 있으며, 특히 소자를 지속적으로 사용하게 되면서 소자 특성의 열화 (degradation) 정도의 차이가 표면 거칠기에 매우 크게 의존함을 알 수 있다. 이러한 현상은 PVD (physical vapor deposition) 법인 evaporation 의 고유한 특성이면서 문제점인 step coverage 에 기인하기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

1) 유기물 두께 증가에 따른 OLED 소자의 I-V-L 특성의 감소는 유기물 단위 두께에 인가되는 전압, 즉 전계 (electric field)의 감소 때문이라고 판단된다.

2) 표면 거칠기가 증가할수록 turn on voltage 가 증가하고 I-V-L 특성이 감소함을 알 수 있다. 하지만, 표면 거칠기 증가에 따른 I-V-L 특성의 감소 효과는 유기물 두께의 효과에 비해서는 상당히 작다

3) 90분간 7 V를 인가한 후 측정된 OLED 소자의 휘도는 소자 제작 후 바로 측정된 휘도에 비해 상당히 감소하였다. 또한, 식각 시간이 증가함에 따라서 휘도의 감소량도 증가함을 알 수 있다.

4) ITO 박막의 표면 거칠기가 거칠수록 OLED 소자의 수명이 짧아진다. 이는 표면 거칠기가 커짐으로 인하여 그 위에 증착되는 유기물 및 음극 물질의 열악한 step coverage 때문으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지역혁신사업 (RIC) 및 지방기술혁신사업 (RTI04-01-02)의 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. B. J. Choi and K. W. Kim, "Fabrication and Characteristics of ITO Transparent Conducting Films," J. of IEEK (in Korean), Vol. 15, No. 1, pp. 92-96, 1992.
2. Y. H. Tak, K. B. Kim, H. G. Park, K. H. Lee, and J. R. Lee, "Criteria for ITO(indium-tin-oxide) Thin Film as the Bottom Electrode of an Organic Light Emitting Diode," Thin Solid Films, Vol. 411, pp. 12-16, 2006.
3. S. C. Gong, I. J. Back, J. H. Yoo, H. S. Shin, G. K. Chang, and H. J. Chang, "Dependence of O<sub>2</sub> Plasma Treatment of ITO Electrode on Electrical and Optical Properties of Polymer Light Emitting Diodes," J. Kor. Inst. Surf. Eng., Vol. 39, No. 3, pp. 93-97, 2006.
4. K. H. Cho, Y. J. Kim, S. J. Kim, K. M. Moon, and M. H. Lee, "A Study on the Fabrication and Characteristics of ITO Thin Film Deposited," Journal of the Korean Society of Marine Engineering (in Korean), Vol. 24, No. 65, pp. 733-741, 2000.
5. Y. G. Han, J. S. Cho, S. K. Koh and D. H. Kim, "The Electrical Properties and Microstructure of ITO Films Deposited by Ion Beam Sputtering," Solar Energy Mat, Vol. 20, No. 2, pp. 55-65, 2000.
6. H. M. Kim, and J. J. Kim, "Heat Treatment Effects on the Electrical Properties of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO Films Prepared by RF-magnetron Sputtering Method," J. Kor. Vac. Soc., Vol. 14, No. 4, pp. 238-244, 2005.
7. D. S. Kim, Y. K. Jang, and Y.S Kwan, "Study on Characteristic by ITO Surface Treatment and Cathode Change of Organic Light Emitting Diodes," J. of KIEEME (in Korean), Vol. 18, No. 12, pp. 1143-1147, December 2005.
8. C. H. Jonda, A. B. R. Mayer, and U. Stolz, "Surface Roughness Effects and Their Influence on the Degradation of Organic Light Emitting Devices," J. Mat. Sci., Vol. 35, pp. 5645-5651, 2000.
9. F. Zhu, K. Zhang, B. L. Low, S. F. Lim, and S. J. Chua. "Morphological and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Films Prepared at Low Processing Temperature for Flexible Organic Light-emitting Devices," Mat. Sci. Eng., Vol. B85, pp. 114-117, 2001.

접수일: 2009년 11월 20일, 심사일: 2009년 12월 3일  
게재확정일: 2009년 12월 15일