

**Nd:YAG 레이저로 표면처리된 ITO를 전극으로 한 유기EL 소자의 특성**

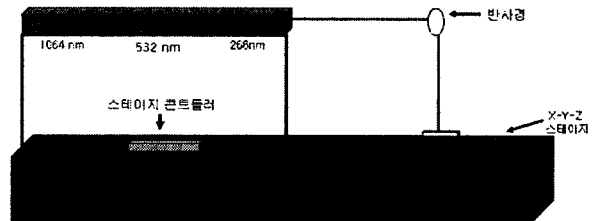
노임준<sup>1</sup>, 신백균<sup>1</sup>, 김형권<sup>2</sup>, 김용운<sup>3</sup>, 임응춘<sup>4</sup>, 박강식<sup>5</sup>, 정무영<sup>6</sup>  
 인하대학교<sup>1</sup>, 한국소방검정공사<sup>2</sup>, 세경대학<sup>3</sup>, 오산대학<sup>4</sup>, 대덕대학<sup>5</sup>, 세원에스아이(주)<sup>6</sup>

**Surface treatment of ITO with Nd:YAG laser and OLED device characteristic**

I.J. No<sup>1</sup>, P.K. Shin<sup>1</sup>, H.K. Kim<sup>2</sup>, Y.W. Kim<sup>3</sup>, Y.C. Lim<sup>4</sup>, K.S. Park<sup>5</sup>, M.Y. Chung<sup>6</sup>  
 Inha Univ.<sup>1</sup>, KFSA<sup>2</sup>, Saekyung Coll<sup>3</sup>, Osan Coll<sup>4</sup>, Daeduck Coll<sup>5</sup>, SEWON SI<sup>6</sup>

**Abstract** - ITO(Indium-Tin-Oxide) was used as anode material for OLED. Characteristics of ITO have great effect on efficiency of OLEDs(Organic light emitting diodes). ITO surface was treated by Nd:YAG laser in order to improve its chemical properties, wettability, adhesive property and to remove the surface contaminants while maintaining its original function. In this study, main purpose was to improve the efficiency of OLEDs by the ITO surface treatment. ITO surface was treated using a Nd:YAG( $\lambda=266$  nm, pulse) with a fixed power of 0.06[w] and various stage scanning velocities. Surface morphology of the ITO was investigated by AFM. Test OLEDs with surface treated ITO were fabricated by deposition of TPD (HTL), Alq3 (ETL/EML) and Al (cathode) thin films. Device performance of the OLEDs such as V-I-L was investigated using Source Measurement Unit (SMU: Keithly, Model 2400) and Luminance Measurement (TOPCON, BM-8).

( $\lambda=266$  nm, pulse)레이저를 이용하여 표면처리를 실시하였다. 레이저를 30분간 예열시킨후 레이저의 출력을 0.06[w]로 고정시켰다. 그리고 세척된 ITO를 X-Y-Z축으로 이동 가능한 스테이지 위에 올려놓은 뒤 ITO를 이동시키며 표면처리하기 위하여 스테이지를 X-Y축으로 속도를 950[ $\mu$ m/s]-1350[ $\mu$ m/s] 범위에서 각각의 ITO를 100[ $\mu$ m/s]씩 변화시키며 표면처리를 실시하였다. 그림 1은 이 실험에 사용된 레이저 실험장치의 개략도이다.



〈그림 1〉 레이저 실험장치의 개략도

**1. 서 론**

21세기에 들어서면서 디스플레이(Display)의 사용범위가 넓어지면서 음극선관(CRT)에 비해 경량, 박형화, 디자인 등의 인간공학적, 환경 친화적이고, 고 기능화 등에 부합할 수 있는 평판 디스플레이로 점차 비중이 옮겨가고 있는 추세이다. 이러한 평판 디스플레이중 하나가 유기EL로서 유기EL은 현재 평판 디스플레이 시장에서 강세를 유지하고 있는 액정 디스플레이(LCD)에 비해 별도의 광원을 필요로 하지 않고 또한 전력소모, 시야각, 신호에 대한 응답속도 등이 뛰어나다. 특히 가장 큰 장점중 하나는 구조가 단순하여 제조공정이 간편하다는 것이다. 또한 진동에 강하고 사용온도의 범위가 넓은 특징을 가지고 있다. 유기EL 소자의 정공 주입 전극으로서 ITO(Indium Tin Oxide)가 널리 사용되고 있다. ITO는 전기전도성이 우수하고, 가시광 영역에서의 투과율이 우수하여 디스플레이분야는 물론 태양전지를 비롯한 여러 가지 형태의 수광 소자나 발광 소자에서 투명 전도체로서 널리 사용되고 있는 물질이다. 유기EL을 제작할 때 양극재료로서 사용되는 ITO의 특성은 유기EL의 성능에 많은 영향을 미친다. 따라서, ITO의 제조과정에서의 변수 및 제조방법 등을 변화시켜 ITO의 전도도, 투과도, 캐리어농도 등 투명전극으로서의 특성을 개선하고자 많은 연구가 진행되고 있다. 그중 ITO표면처리 연구는 여러 가지 방법을 통해 시행되고 있다. 표면처리는 본래의 성질은 유지한 채 표면에 화학적 기능기를 형성시켜 습윤성, 접착성, 화학 반응성을 향상시키는 데 목적이 있다.[1,2] 표면처리의 방법으로는 화학적인 처리 방법과, 광화학적 반응에 의한 처리 방법이 있는데 화학적 반응에 의한 처리 방법은 표면에 손상을 줄 수 있고 정밀한 실험 환경이 필요하다는 단점이 있다. 이에 비해 광화학 반응을 이용한 레이저 표면 처리 방법은 환경 친화적이고, 공정 시간 단축과 표면 손상이 적고, 대기 중에서 간단한 레이저 빛의 조사만으로 표면을 개질할 수 있는 장점이 있다.[3,4] 본 논문에서는 Nd:YAG 레이저의 4고조파( $\lambda=266$ nm, pulse)를 이용하여 각각의 다른 조건에서 표면처리를 하고, 이 표면처리된 ITO 위에 TPD, Alq3, 알루미늄 전극의 막을 진공증착법으로 증착시켜 유기EL을 제작하여 그 전류-전압-휘도 특성을 측정하여 비교해 보았다.

**2. 본 론**

**2.1 실험**

본 연구에 사용된 ITO는 삼성 코닝사의  $\sim 12[\Omega/\square]$ 의 표면저항과 170[nm] 두께의 ITO가 glass 기판 위에 증착된 것이다. 실온에서 ITO를 가로 1.4[cm], 세로 2.5[cm]로 Cutting 한후 ITO 전극은 2 mm의 선폭으로 직접 patterning 하였다. patterning 방법은 ITO Etchant(LCE 12K) 용액에 13분간 담그어 원하는 부분을 제외한 나머지 ITO를 식각한후 증류수를 이용하여 용액을 행구어내고 다시 ethanol(10분) - acetone(10분) - decorex(10분) - DI-water(10분) 중에서 초음파 세척기를 이용하여 각각 세척하였다. 세척 후 질소가스로 건조시켰다. 무진동 테이블에 위치가 고정된 Nd:YAG

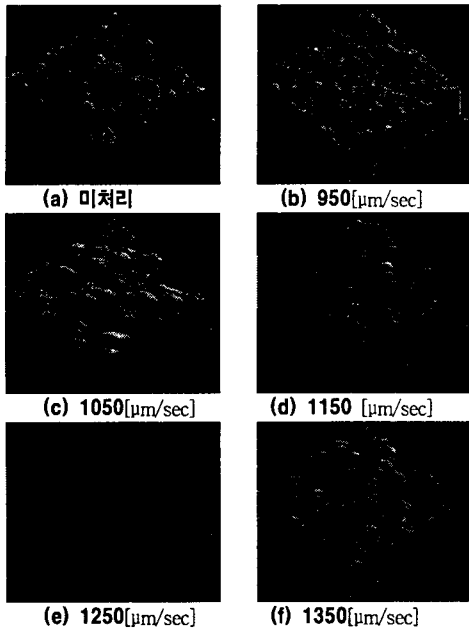
표면처리가 끝난 각각의 ITO들의 표면특성은 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 조사하였다. 측정이 끝난 ITO기판 위에 진공증착법으로 정공 수송층으로 널리 사용되는 물질인 TPD(hole transporting layer: HTL)와 전자 주입층(electron transport layer: ETL) 및 발광층(emitter layer: EML)으로 널리 사용되고 있는 물질인 Alq3 증착하여 테스트 OLED 소자를 제작하였다. 각 박막들의 진공증착 시 초기 진공도는  $5 \times 10^{-5}$  Torr였다. TPD의 진공증착의 경우, 2.44[V]를 인가하여 70[ $^{\circ}$ C]부터 TPD가 녹아 기판에 증착 되는 것을 확인할 수 있었고 증착 속도는 1.0 [A/sec]로 하였고 막의 두께는 450 [Å]로 하였다. Alq3의 경우 1.7[V]를 인가하여 175[ $^{\circ}$ C]에서부터 증착이 되는 것을 확인할 수 있었고 증착속도는 1.0 [A/sec]로 하였고 두께는 450 [Å]로 하였다. 음극전극으로 재료로 알루미늄을 이용하였으며 증착시 2mm 간격의 직사각형 모양의 SUS 하드마스크를 이용하였다. ITO와 알루미늄 전극이 만나는 발광영역이 2mm $\times$ 2mm이 되도록 하였으며, 그 두께는 200nm였다. 이렇게 제작된 유기 EL 소자의 전류-전압-휘도는 Source Measurement Unit (SMU:KEITHLEY, Model 2400)와 휘도계 (TOPCON, BM-8)를 이용하여 측정하였으며, 측정시스템은 PC와 Labview 프로그램을 이용하여 RS-232C 인터페이스를 통해 측정 장비의 제어와 전류-전압-휘도를 동시에 측정할 수 있었다.

**2.2 결과 및 고찰**

**2.2.1 레이저 표면처리된 ITO 박막의 미세표면 분석**

ITO 박막의 미세 표면 분석은 Atomic Force Microscopy (AFM) 을 통하여 실시하였다. 아래 그림 2는 각각의 ITO 박막의 미세표면을 측정함으로써 ITO 기판 이동 스테이지의 속도를 변화시켜 표면처리된 ITO 박막이 어떠한 형태로 변화되었는지 확인할 수 있었다. 미처리된 ITO박막의 roughness는 2.547 nm 이고 스테이지 속도 950[ $\mu$ m/sec]로 처리된 박막의 roughness는 1.467 nm로, 미처리한 ITO에 비해 roughness가 많이 감소된 것을 확인할 수 있었다. 다음으로 속도 1050[ $\mu$ m/sec] 처리된 시편의 roughness는 1.260 nm 로 조금 더 감소된 것을 확인할 수 있고, 속도 1150 [  $\mu$ m/sec]로 처리된 시편에서는 1.490 nm 로 1050[ $\mu$ m/sec]에 비해 roughness가 증가한 것을 알 수 있었다. 1250[ $\mu$ m/sec]로 처리된 시편에서는 큰 폭으로 roughness가 증가한 것을 볼 수 있다. 마지막으로 속도 1350[ $\mu$ m/sec]로 처리된 시편에서는 roughness가 거의 미처리된 상태의 ITO 박막과 비슷하였다. 표1에 그 결과들이 요약되어 있다. ITO 표면을 Nd:YAG 레이저로 표면처리할 때, 기판 스테이지 속도가 950-1350[ $\mu$ m/sec] 범위에서 100[ $\mu$ m/sec]의 간격으로 표면처리한 결과 1050[ $\mu$ m/sec]에서 roughness가 가장 많이 감소한 것을 확인할 수 있었고 1050[ $\mu$ m/sec]를 중심으로 스테이지 속도를 줄이거나 또는 늘리면 roughness가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에 사진을 수록하지는 않았지만 950[ $\mu$ m/sec] 이하의 속도에 표면처리한 ITO박막의 roughness는 심하게 증가되어 있었으며, 레이저에

과다하게 조사되어 식각이 되었을 가능성이 있다.



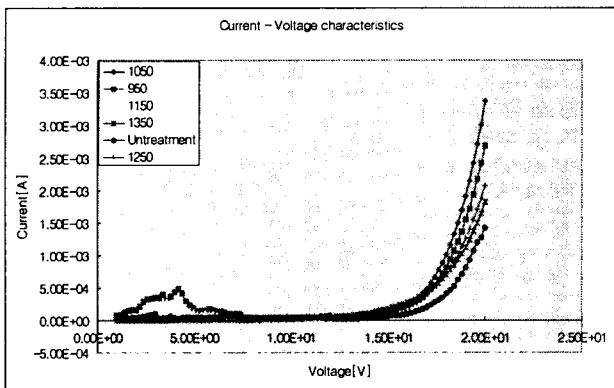
〈그림 2〉 표면처리후 ITO박막의 표면변화

〈표 1〉 스테이지의 속도변화에 따른 거칠기, 플루언스 그리고 쇼트수

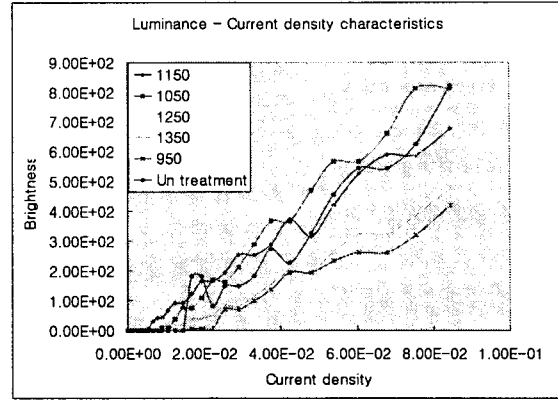
스테이지 속도	roughness[nm]	Fluence	short
미처리	2.547	-	-
950[μ m/sec]	1.467	12[mJ/cm <sup>2</sup> ]	84
1050[μ m/sec]	1.260	12[mJ/cm <sup>2</sup> ]	76
1150[μ m/sec]	1.490	12[mJ/cm <sup>2</sup> ]	70
1250[μ m/sec]	2.397	12[mJ/cm <sup>2</sup> ]	64
1350[μ m/sec]	2.418	12[mJ/cm <sup>2</sup> ]	59

### 2.2.2 V-I-L 특성곡선의 분석

그림 3과 그림4는 유기EL 소자를 제작하여 전류- 전압특성 과 휘도-전류밀도를 Source Measurement Unit (SMU: KEITHLEY, Model 2400)과 휘도계 (TOPCON, BM-8)를 이용하여 측정하였으며 특성을 관찰하였다. 먼저 그림 3의 전류-전압 특성곡선을 살펴보면 미처리한 소자와 비교하여 레이저 표면 처리된 소자들이 정공 주입이 원활해지고 따라서 구동 전압이 감소하게 된 것을 볼 수 있다. 그림 4의 전류밀도와 휘도에 대해 측정한 그림을 보게 되면 미처리된 소자에 비교하여 표면 처리된 소자의 전류밀도에 따른 휘도특성을 볼 수가 있다. 표면 처리된 소자들은 미처리된 소자에 비해 휘도가 향상된 것을 볼 수 있다. 그리고 구동전압의 감소와 turn-on 전압이 낮아진 것으로 보아 그것은 우리가 이 실험을 하려고 했던 목적, 즉 레이저 표면처리가 발광 소자의 특성을 개선하여 효율 및 발광특성의 향상에 미치는 영향을 관찰할 수 있었다.



〈그림 3〉 전류 - 전압 특성 곡선



〈그림 4〉 휘도-전류밀도 특성 곡선

### 3. 결 론

본 연구는 유기EL의 양극전극으로 주로 사용되는 ITO의 일함수 및 표면 거칠기, 표면 에너지, 그리고 표면저항의 제어를 통하여 OLED소자의 효율 및 수명의 향상을 위하여 Nd:YAG( $\lambda=266$  nm, pulse) 레이저를 이용하여 표면처리를 하고 이 표면처리된 ITO박막을 양극전극으로 하여 그 위에 진공증착법을 이용하여 정공 수송층인 TPD 와 전자 수송층 및 녹색발광 물질인 Alq3를 증착하였고 알루미늄을 음극전극으로 성막하여 OLED 소자를 제작하였다. 제작된 OLED의 특성을 관찰해본 결과 전압-전류 특성을 보면 표면처리가 안된 소자의 비해 구동전압이 낮아진 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 전류밀도와 휘도에 관하여 측정한 그림에서 볼 수 있듯이 레이저 표면처리를 통해서 소자의 휘도가 향상된것을 관찰할수 있었다. 결과적으로 표면처리를 통해서 유기EL소자의 효율및 성능 등을 향상시킬수 있다는것을 확인할수 있었고 여러 조건에서 레이저 표면처리가 시행되어 더 좋은 조건을 찾을수 있겠지만 본 논문을 쓰면서 실험중 가장 좋은 레이저 표면처리의 조건은 Fluence 12[mJ/cm<sup>2</sup>](레이저 출력 0.06 w, 스테이지 속도 1050[μm/sec], Beam Diameter 8mm, 쇼트수 76 에서 가장 좋은 표면처리의 결과가 나왔다.

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음

### [참 고 문 헌]

- [1] E. M Liston, L. Martinu, and M. R. Wertheimer, "Plasma surface modification of polymers for improved adhesion: A critical review", J. Adhesion: A critical review, J. Adhesion S. Technol., Vol. 7,p. 1091,1993.
- [2] J. A. Folkes, "Developments in laser surface modification and coating", Surface Coating Technol., Vol.63,p.65,1994
- [3] B. H. Youn, C.Y. Pa가, and C. S. Huh, "Effect of surface charges in hydrophobicity and surface potential decay with various surface states of silicone rubber for outdoor insulator", J. of KIEEME( in Korean), Vol.15, No.8,p.678,2002
- [4] M. Y. Ahn, K. C. Lee, H.K. Lee, S.D. Lee, and C. Lee, "Etching of the PDP barrier rib material using laser beam", J. of KIEEME(in Korean), Vol.13, No.6,p.526,2000