

논문 23-2-8

# 고효율 플라즈마 디스플레이 패널을 위한 T-형 ITO 전극의 레이저 직접 패터닝시 레이저 스캔 속도의 영향

## Effect of Laser Scanning Speed on the Laser Direct Patterning of T-shaped Indium Tin Oxide (ITO) Electrode for High Luminous AC Plasma Display Panels

이조휘<sup>1</sup>, 조의식<sup>1</sup>, 권상직<sup>1,a</sup>  
(Zhao-hui Li<sup>1</sup>, Eou Sik Cho<sup>1</sup>, and Sang Jik Kwon<sup>1,a</sup>)

### Abstract

Laser direct patterning is one of new methods which are able to replace a conventional photolithography. In order reduce the fabrication cost and to improve the luminous efficiency of AC plasma display panels (PDPs), in this experiment, a Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> laser was used to fabricate T-shaped indium tin oxide (ITO) display electrodes. For the laser beam scanning speed from 100 mm/sec to 800 mm/sec, T-shaped ITO patterns were clearly obtained and investigated. The experimental results showed that the optimized T-shaped ITO electrode was obtained when the lasers scanning speed was 300 mm/s.

**Key Words** : Laser direct patterning, Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> laser, T-shaped ITO, AC PDP

### 1. 서론

평판 디스플레이의 한 종류인 플라즈마 디스플레이 패널(AC PDP)은 빠른 동작 속도, 넓은 시야각 등의 많은 장점을 가지고 있기 때문에 고해상도 텔레비전(HDTV)에 많이 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 아직도 낮은 발광 효율, 높은 전력 소모, 가격 등 여러 가지 기술적, 상업적인 문제들이 해결되지 않은 상태로 남아있다[1-3].

이 중 AC PDP의 발광 효율을 향상시키는 방법에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 방전 셀의 디자인 및 혼합 가스 조성비 최적화, 구동 방식 개선 등의 방법을 통하여 AC PDP의 발광 효율을 높이는 것이 가능하다. 방전 셀의 디자인 개선 중 waffle 형 격벽을 가지는 T-형 ITO 전극 형태가 AC PDP에 적용될 경우, 기존의 패널보다 발광 효

율이 40% 가까이 향상되는 것으로 보고되었다. 이것은 플라즈마 방전 경로 및 방전 전류의 감소로 인한 것으로 보인다[4-8]. 본 실험에서는 AC PDP의 제조비용을 절감하고 발광 효율을 높이기 위한 요소 기술로서, Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저를 이용하여 T-형 ITO 전극 패터닝(patterning)에 관한 실험을 하였다.

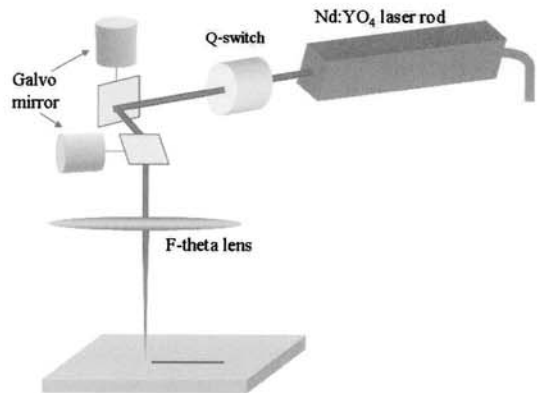


그림 1. 레이저 패터닝 시스템 개략도.  
Fig. 1. Schematic of laser patterning system.

1. 경원대학교 전자공학과  
(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)  
a. Corresponding Author : sjkwon@kyungwon.ac.kr  
접수일자 : 2009. 5. 28  
1차 심사 : 2009. 12. 17  
심사완료 : 2010. 1. 22

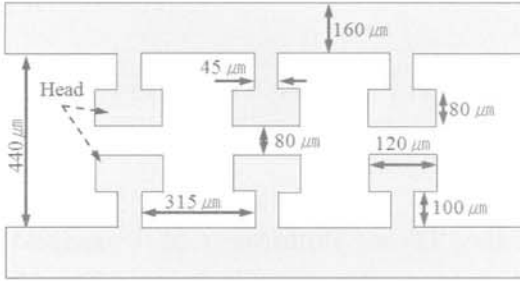


그림 2. T-형 ITO 전극의 개략도.  
Fig. 2. Schematic of T-shaped ITO patterning.

레이저 직접 패터닝(laser direct patterning) 기술은 기존의 사진 식각법(photolithography) 기술을 대체하는 방식으로, 본 연구팀에서는 최근에 레이저를 이용하여 간단한 직선형(stripe-type)의 ITO 전극 패터닝을 구현, 관련 연구 결과를 발표하고 있다[9,10]. 같은 방식으로, 보다 복잡한 T-형 ITO 전극의 패턴을 얻기 위하여 다양한 공정 조건에서 레이저 패터닝 실험을 수행하였다.

## 2. 실험

본 실험은 2.8 mm 두께를 가지는 PDP용 유리 (PD-200, ASAHI) 위에 1300 Å 두께의 ITO가 코팅(coating)된 기판 상에 진행되었다. 이 ITO 층의 면 저항(sheet resistance)은 약  $30 \Omega/\square$  으로 측정되었다. 실험에 사용된 레이저는 큐 스위치 다이오드 여기 고체(Q-switched diode pumped solid stated) Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저(ML-7111A, MIYACHI)로, 그림 1에 해당 장비의 개략도가 나타나 있다. 레이저 빔의 파장은 1064 nm이고 펄스 지속 시간(pulse duration)  $\tau$ 는 약 10 ns (full width half maximum, FWHM)였다. 레이저 빔의 스캔 속도를 100 mm/sec 부터 800 mm/sec 까지 변화시키며 T-형 ITO 전극을 패터닝하였다. 그림 2는 본 실험에서 형성된 T-형 ITO 전극의 그림이다. 패터닝 후, 금속현미경(BX51-33MU, OLYMPUS)과 원자현미경(atomic force microscopy, AFM, XE-150, Park Systems)을 이용하여 형성된 T-형 ITO 전극을 관찰하고 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3은 레이저 빔의 다양한 스캔 속도에 따라 식각된 T-형 ITO 전극의 현미경 사진을 보여

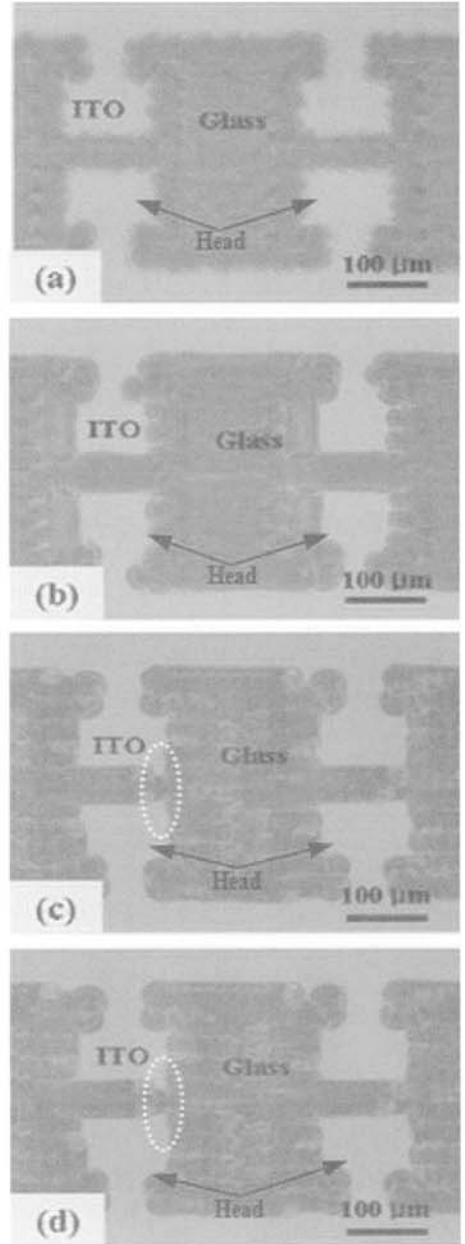


그림 3. 레이저 빔의 스캔 속도에 따라 식각된 T-형 ITO 전극의 사진 (a) 100 mm/sec, (b) 300 mm/sec, (c) 500 mm/sec, 및 (d) 800 mm/sec.

Fig. 3. Microscope images of T-shaped ITO electrodes ablated using laser with the different scanning speeds (a) 100 mm/sec, (b) 300 mm/sec, (c) 500 mm/sec, and (d) 800 mm/sec.

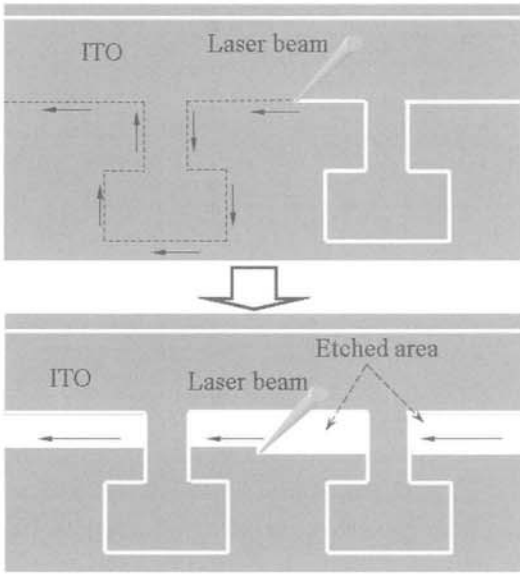
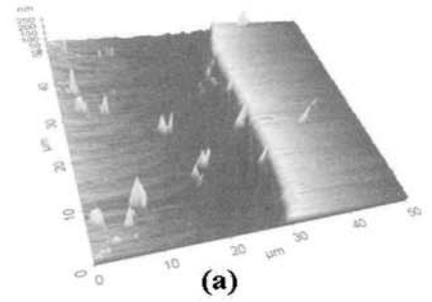


그림 4. 레이저 빔을 이용하여 T-형 ITO 전극 패터닝 과정 개략도.

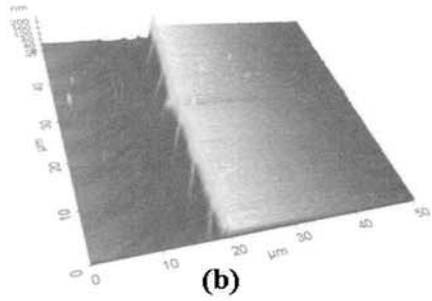
Fig. 4. Schematic of the formation of T-shaped ITO electrode ablated by laser.

주고 있다. 낮은 레이저 빔의 스캔 속도 에서(300 mm/sec), 레이저 빔이 서로 중첩되는 부분이 많아서 식각된 ITO 전극의 가장자리가 일정한 형태로 직진성 있게 보인다. 높은 스캔 속도에서는 레이저 빔이 서로 중첩되는 부분이 적어지고, 결국 ITO 전극의 가장자리가 일정하지 않은 것을 확인할 수 있다. 또 스캔 속도가 500 mm/sec 이상일 경우 T-형 ITO 전극의 head 부분이 오른쪽보다 왼쪽에서 더 매끄럽게 보인다. 결국, 이러한 특성들은 레이저 빔의 스캔 방향과 스캔 속도에 영향을 받는 것으로 판단할 수 있다.

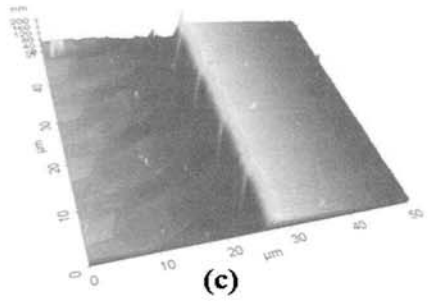
그림 4에 레이저로 T-형 전극을 형성하였을 때의 스캔 방향을 표시하였다. 먼저 레이저 빔이 그림 내 점선(dashed line) 모양에 따라 T-형 전극의 형태를 그린다. 이후 레이저 빔이 식각될 부분, 즉 전극과 전극 사이, 전극 head와 head 사이의 ITO 막을 스캔하여 제거한다. 이 경우, 스캔하던 레이저 빔이 T-형 전극의 head 부분에서는 OFF 상태가 되어야 한다. 레이저 빔의 스캔 속도가 빨라지면 레이저 빔의 ON/OFF 시 동작 오차가 커질 수 있으며 식각된 ITO 전극의 가장자리가 상대적으로 더 불균일한 모양을 가질 수 있다. ITO 전극의 가장자리의 직진성이 PDP의 방전 개시 전압과 방전 특성에 영향을 주므로, 가능한 균일한 가장자



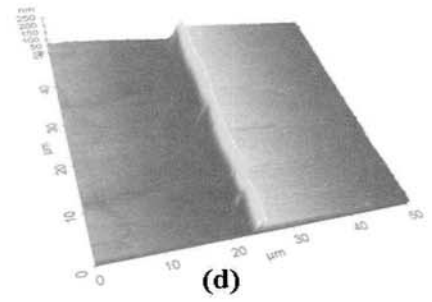
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 레이저 빔 스캔 속도에 따라 식각된 T-형 ITO 전극의 AFM 사진 (a) 100 mm/sec, (b) 300 mm/sec, (c) 500 mm/sec, 및 (d) 800 mm/sec.

Fig. 5. AFM images of T-shaped ITO electrodes ablated using laser with different scanning speeds (a) 100 mm/sec, (b) 300 mm/sec, (c) 500 mm/sec, and (d) 800 mm/sec.

리를 갖는 ITO 전극을 얻는 것이 매우 중요하다. 이와 관련하여 그림 3(c), (d)의 전극 head와 head 사이에 peak 부분이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이 peak 부분으로 인하여 전극과 전극 사이 거리에 큰 오차가 발생함으로써 PDP의 각각의 셀 방전 개시 전압에서 큰 차이가 생길 수 있다. 그림 3으로부터, 이와 같은 peak에 의한 영향에서 가장 자유로운 레이저 스캔 속도는 300 mm/sec이었다.

또, 그림 5와 같이 원자현미경(AFM)을 통하여 식각된 T-형 ITO 전극 가장자리의 표면 상태를 분석하였다. 식각된 부분과 ITO 막의 단차는 거의 1200 Å 이상이어서 ITO 막이 대부분 식각되었음을 확인할 수 있었다. 또한 식각된 ITO 전극의 가장자리에도 shoulder가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이 shoulder의 높이는 약 200~500 Å으로, 레이저 빔의 열로 인하여 발생한다[10]. 레이저 빔의 스캔 속도가 낮아지면 식각된 부분에서 레이저 빔의 중첩이 많아지고 식각된 면에 적은 개수의 물결 모양의 무늬를 형성한다. 스캔 속도가 빨라지면 레이저 빔의 중첩이 적어져서 식각된 면에 더 많은 개수의 물결무늬를 형성하는 것을 확인할 수 있다. 위 실험 결과로부터, T-형 ITO 전극의 최적화를 위한 레이저 스캔 속도는 300 mm/sec임을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저( $\lambda=1064$  nm)를 이용하여 교류형 플라즈마 디스플레이용 T-형 ITO 전극을 직접 패터닝하였다. 레이저 스캔 속도가 빨라지면 ITO 전극의 가장자리 직선성이 떨어짐을 확인할 수 있었고, 또 레이저 빔의 스캔 속도가 낮아지면 식각된 부분에 레이저 빔 스팟의 중첩이 많아지고 더 적은 물결무늬를 형성할 수 있음을 확인하였다. 또한 레이저 빔에서 발생하는 열 때문에 약 200~500 Å 높이의 shoulder가 ITO 전극의 가장자리에 형성되는 것을 확인하였다. 본 실험에서는 T-형 ITO 전극 형성시의 최적 레이저 빔 스캔 속도가 300 mm/sec임을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 성남시산학협력사업 및 2009년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

#### 참고 문헌

- [1] J. P. Boeuf, "Plasma display panels: physics, recent developments and key issues", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 36, p. R53, 2003.
- [2] J. P. Boeuf, C. Punset, A. Hirech, and H. Doyeux, "Physics and modeling of plasma display panels", J. Phys. IV France, Vol. 7, p. C4-3, 1997.
- [3] O. B. Postel and M. A. Capelli, "Vacuum emission and breakdown characteristics of a planar He-Xe microdischarge", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, p. 544, 2000.
- [4] O. B. Postel and M. A. Capelli, "Parametric study of the vacuum ultraviolet emission and electrical characteristics of a He-Xe microdischarge", J. Appl. Phys., Vol. 89, p. 4719, 2001.
- [5] J. Meunier, P. Belenguer, and J. P. Boeuf, "Numerical model of an AC plasma display panel cell in neon-xenon mixtures", J. Appl. Phys., Vol. 78, p. 731, 1995.
- [6] S. Venkat and C. Dunsy, "Laser patterning of ITO in flat panel display manufacturing", Proceedings of SPIE, p. 610602, 2006.
- [7] J. H. Shin and C. H. Park, "Effects of the impurity gases on the characteristics of ac PDP", J. of KIEEME(in Korean) Vol. 15, No. 10, p. 909, 2002.
- [8] Y. W. Jeong, J. M. Jeoung, and E. H. Choi, "Influence of sustain pulse-width on electrical characteristics and luminous efficiency in surface discharge of AC-PDP", Trans. Electr. Electron. Mater., Vol. 6, No. 6, p. 276, 2005.
- [9] K. H. Kim, S. J. Kwon, H. S. Mok, and T. O. Tak, "Direct patterning of silicon nitride thin film by projection photoablation for fabricating thin-film transistor liquid crystal displays", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, p. 4282, 2007.
- [10] K. H. Kim, S. J. Kwon, and T. O. Tak, "A study on removal of shoulders at laser ablated indium tin oxide film edge", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, p. 197, 2008.