

## 평판디스플레이를 위한 Indium Tin Oxide의 레이저 패터닝

### Laser Patterning of Indium Tin Oxide for Flat Panel Display

안민영, 이경철, 이 천  
(Min-young Ahn, Kyoung cheol Lee, Cheon Lee)

#### Abstract

ITO(Indium Tin Oxide) films for transparent electrodes of FPD(Flat Panel Display) were patterned in atmosphere using laser. A pulse type(repetition rate of 10 Hz) Q-switched Nd:YAG laser which can generate the fundamental wavelength at 1064 nm or its harmonics(532, 266 nm) was used for patterning of the ITO film. In case of using the second harmonic(532 nm) of Nd:YAG laser, the ITO film(thickness of 20 nm) was removed clearly with a laser fluence of 5.2 J/cm<sup>2</sup> and a beam scan speed of 200 μm/s. But the glass substrate was damaged when the laser fluence was over 5.2 J/cm<sup>2</sup>. We discussed the etching mechanism of the ITO film using Nd:YAG laser with observation of the etching characteristics including a depths and widths of ITO films as a function of laser fluence using SEM(Scanning Electron Microscopy) and surface profiler(α-step 500).

**Key Words(중요용어)** : ITO(Indium Tin Oxide), Transparent electrodes, FPD(Flat Panel Display), etching, Nd:YAG laser.

#### 1. 서론

ITO(Indium Tin Oxide)는 투명도전재료로써 태양 전지, 영상 센서, 전자파방지막, CRT의 대전방지재료 및 정전기 대응재료등 다양한 분야에 응용되고 있다. 특히 근래에는 LCD, PDP, EL등의 평면 디스플레이(Flat Panel Display) 소자의 투명전극 재료로 각광받고 있다[1]. 이러한 응용들을 위하여 ITO의 패터닝 기술이 필요하게 되었다. 일반적인 ITO 박막의 패터닝은 리소그래피(사진식판술)와 습식식각에 의해 이루어지고 있다. 이는 포토레지스트의 코팅, 감광, 현상등의 리소그래피와 산성 용액에 의한 습식식각, 스트립등의 단계적인 공정으로 구성된다[2].

그러나 습식식각에 의한 패터닝은 물질의 결정구조나 미세구조와 같은 재료 고유의 특성에 민감하게 의존하며, 대면적의 소자를 가공할 경우 재료의 균일한 패터닝을 형성하는 것이 어렵다. 이에 따라 ITO 박막의 건식 식각이 절실히 요구되었으며, 그 해결책으로 플라즈마 식각법이 제시되었다[3]. 그렇지만 플라즈마 식각법 또한 기존의 포토리소그래피의 다단계의 공정이 필요하고 진공 챔버 내에서 부식가스를 사용하여야 하는등의 단점이 있다. 습식식각의 또다른 대안으로 레이저에 의한 ITO의 패터닝법이 제시되었다[4],[5]. 레이저를 이용한 ITO 박막의 패터닝은 리소그래피의 모든 공정을 레이저의 조작이라는 단 하나의 공정으로 대체할 수 있고, 대기 상태에서 건식 식각이 가능하다. 공정이 간단하기 때문에 시간과 비용을 절약할 수 있으며, 특히 HDTV (40 ~ 60 inch)급의 대형화면의 형성시 리소그래피공정이 수반되는 습식식각법이나 플라즈마

---

인하대학교 전기공학과  
(인천광역시 남구 용현동 253)  
Fax : 032-863-5822  
E-mail : g1991147@inhavision.inha.ac.kr

식각법과 가격면에서 경쟁력을 가진다. 따라서 본 연구에서는 기본파가 1064 nm인 pulse형의 Q-switched Nd:YAG 레이저를 이용하여 대면적 평판 디스플레이 소자의 투명전극(ITO) 패터닝 시스템을 장치하였다. 레이저의 파장과 에너지밀도에 따른 시료의 식각 깊이와 넓이등의 패터닝 형상을 관찰하고 이에 대한 식각 메커니즘을 규명함으로써 레이저에 의한 ITO 패터닝 공정 조건의 기초기술을 확립하고자 한다.

## 2. 실험

그림 1은 Nd:YAG 레이저에 의한 ITO 패터닝 시스템의 개략도이다. 기본파가 1064 nm인 펄스형의 Q-switched Nd:YAG 레이저(반복율 = 10 Hz)를 고조파 발생기를 통하여 532 nm의 제 2고조파로 변조시켜 광원으로 사용하였다. Nd:YAG 레이저의 제 2고조파는 BK7으로 제조된 집속렌즈를 초점거리 200 mm의 집속렌즈를 이용하여 빔을 집속시켰다. 렌즈에 의해 집속된 빔의 위치에 스테이지를 설치한 후, 그 위에 시료를 고정시키고 레이저빔을 조사 시켰다. 사용된 스테이지의 정도와 최대 속도는 각각 1  $\mu$ m, 200  $\mu$ m/s이고 PC 제어를 통해 스테이지의 x-y-z축을 이동시키며 ITO 박막을 패터닝하였다.

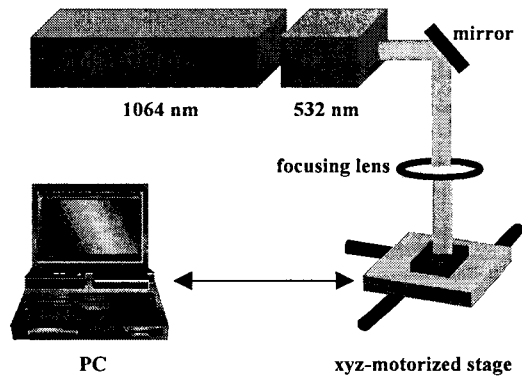


그림 1. Nd:YAG 레이저에 의한 ITO 패터닝 시스템의 개략도.

Fig. 1. A schematic diagram of ITO patterning system using Nd:YAG laser.

본 연구에서는 유리기판 위에 ITO가 약 20 nm의 두께로 코팅된 시료를 사용하였다. 그림 2는 ITO 시료위에 PR(Photoresist)을 코팅하고 이를 패터닝한 후 HCl을 이용하여 ITO 박막을 제거했을 경우,

surface profiler( $\alpha$ -step 500)에 의해 측정된 단면의 모양이다. 화살표의 왼쪽은 PR에 의해 코팅되었던 영역이며, 오른쪽은 PR이 패터닝되어 제거된 후 HCl 용액에 의해 약 20 nm 두께의 ITO박막이 유리기판의 경계면까지 제거된 영역을 나타내고 있다.

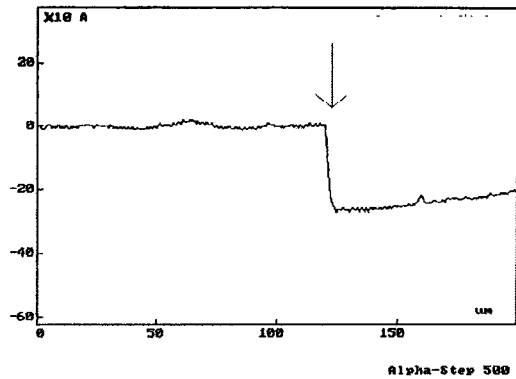


그림 2. HCl 습식식각에 의한 ITO 박막의 단면 모양.

Fig. 2. A cross-sectional image of ITO thin film using HCl wet etching.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 제2고조파의 Nd:YAG 레이저빔을 이용한 ITO 박막의 패터닝

Nd:YAG 레이저의 제 2고조파( $\lambda=532$  nm) 빔을 사용하여 200  $\mu$ m/s의 빔 주사속도로 유리기판 위에 코팅된 ITO 박막을 식각 하였다. 그림 3은 이때의 레이저 fluence에 따른 시료의 식각 깊이를 도시하고 있다. 그림에 표시된 A는 200 nm의 두께로 코팅된 ITO 박막이 유리기판의 경계면까지 완전히 제거되었을 때의 레이저 fluence(5.2 J/cm<sup>2</sup>)를 표기한 것이다. 그림 4와 5는 각각 이때의 ITO 박막이 패터닝 모양을 나타내는 SEM 사진과, surface profiler에 의해 측정된 식각 단면의 모양이다. Nd:YAG 레이저빔(532 nm)을 이용하여 물질을 식각할 경우, 레이저빔의 강도가 가우시안 분포이기 때문에 식각된 시료의 그루부 역시 빔의 강도 분포에 영향을 받아 그루부의 구형율(식각된 그루부의 아랫넓이와 윗넓이의 비)이 작고 그루부의 아랫면이 밀므로 오목한 것이 일반적이다. 그러나 레이저의 fluence가 4.6 J/cm<sup>2</sup>에서는 ITO 박막이 완전히 제거되었고, 레이저의 fluence를 어느 정도 증가시키더라도 유리기판과의

경계면인 20 nm의 깊이에서 식각이 멈추었다. 이는 유리기판이 ITO에 비해 532 nm의 Nd:YAG 레이저빔에 대한 흡수율이 작고, 녹는점이 높기 때문이라고 사료된다.

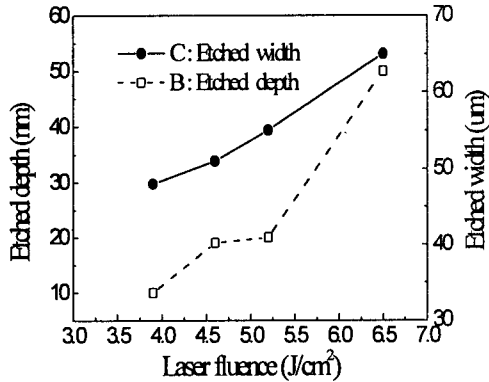


그림 3. Nd:YAG 레이저(532nm)의 fluence에 따른 ITO 박막의 식각 깊이와 넓이.

Fig. 3. The etched depth and width of the ITO thin film as a function of Nd:YAG laser(532nm) fluence.

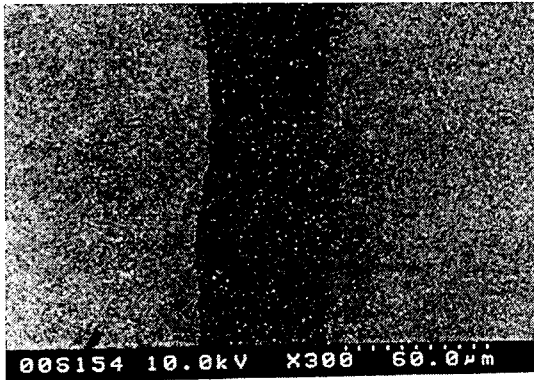


그림 4. Nd:YAG 레이저의 제2고조파에 의한 ITO 박막의 패턴모양 (fluence = 5.2 J/cm<sup>2</sup>, 빔주사속도 = 200 μm/s)

Fig 4. Patterning of the ITO thin film using the second harmonic of Nd:YAG laser (fluence = 5.2 J/cm<sup>2</sup>, beam scan speed = 200 μm/s)

4.6~5.2 J/cm<sup>2</sup>의 레이저 fluence에서 식각된 그루브의 바닥이 평평하고, 구형율이 매우 큰(≈1) 투명전

극에 사용에 적합한 ITO의 패턴링을 얻을 수 있었다. 그러나 그림 5에서 표시한 B와 같이 패터닝 단면의 가장자리 부근에 약 10 nm 높이의 등성이 형성되었다. 집속된 레이저빔의 강도는 가우시안 분포이므로, 빔의 가장자리의 강도는 중심부에 비해 상대적으로 낮다. 따라서 빔의 가장자리가 조사된 영역의 ITO의 온도는 증발온도까지 이르지 못하고 액상으로 남게 된다. 액상의 ITO는 표면장력에 의해 둥글게 흑모양을 형성하게 되고, 레이저 조사가 끝난 후 그 자리에 다시 고착되어 B와 같은 등성을 형성시켰다[6]. 이와 같이 식각 단면의 가장자리에 등성이 형성되었고, 식각 단면의 모양이 레이저빔의 가우시안 분포의 영향을 받은 것으로 보아 Nd:YAG 레이저(532 nm)에 의한 ITO의 식각 메커니즘이 레이저빔의 열에너지에 의한 ITO의 증발에 의한 것임을 알 수 있다.

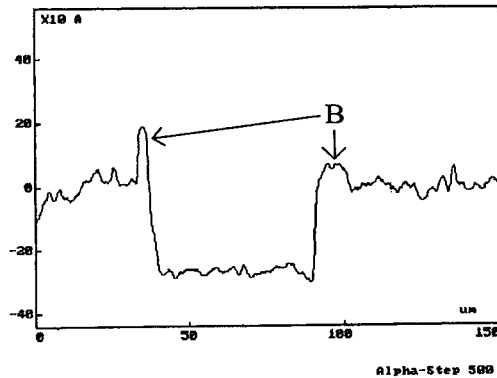


그림 5. Nd:YAG 레이저의 제2고조파에 의한 ITO 박막의 단면모양 (fluence = 5.2 J/cm<sup>2</sup>, 빔주사속도 = 200 μm/s)

Fig 5. A cross-sectional image of the ITO thin film using the second harmonic of Nd:YAG laser (fluence = 5.2 J/cm<sup>2</sup>, beam scan speed = 200 μm/s)

레이저 fluence를 5.2 J/cm<sup>2</sup> 이상으로 증가 시켰을 경우에는 하부기판의 손상이 발생하였다. 그림 6은 레이저 fluence 32.5 J/cm<sup>2</sup> 빔주사속도 200 μm/s일 때의 시료의 식각 단면을 surface profiler로 측정된 결과이다. ITO와 유리기판의 경계면에 해당하는 20 nm의 깊이에서 두 층간의 식각된 넓이의 차이가 발생하였다. 레이저빔의 강도가 가우시안 분포이므로 ITO 박막에 대해서는 레이저빔의 강도가 약한 빔의 가장자리에 의해서도 식각이 가능한 반면에 유리기

판은 상대적으로 빔의 강도가 큰 중심부에 의해서 식각되었다.

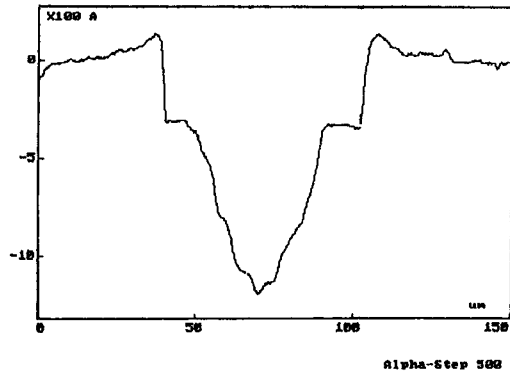


그림 6. Nd:YAG 레이저(532 nm)에 의한 유리기판의 손상(flucose = 32.5 J/cm<sup>2</sup>, 빔주사속도 200 μm/s)  
Fig. 6. A glass substrate damage by Nd:YAG laser(532 nm)(flucose=32.5 J/cm<sup>2</sup>, beam scan speed=200 μm/s)

#### 4. 결론

Nd:YAG 레이저( $\lambda=532$  nm, pulse)를 이용하여 대기 중에서 평판 디스플레이의 투명전극으로 사용되는 ITO 박막을 패터닝하였다. 그 결과 레이저 fluence 4.6~5.2 J/cm<sup>2</sup>, 빔 주사속도 200 μm/s에서 식각된 그루브의 바닥이 평평하고, 구형울이 매우 큰( $\approx 1$ ) 투명전극에 사용에 적합한 ITO의 패터닝을 얻을 수 있었다. 그러나 레이저 fluence를 5.2 J/cm<sup>2</sup> 이상으로 증가시켰을 경우에는 레이저빔의 중심부에

의해서 하부기판의 손상이 발생하였다. 또한 식각 단면의 가장자리에 등성이가 형성되었고, 식각 단면의 모양이 레이저빔의 가우시안 분포의 영향을 받은 것으로, Nd:YAG 레이저(532 nm)에 의한 ITO의 식각 메커니즘이 레이저빔의 열에너지에 의한 ITO의 증발에 의한 것임을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1]. 松本正一, "Electronic Display", 성안당, pp60-62, 1998.
- [2]. Richard C. Jaeger, "Introduction to Microelectronic Fabrication", Addison-wesley, pp13-26, 1993
- [3]. Shih AH, Demos A, Beer RD, "Transformer Coupled Plasma Etching for FPD Manufacturing", Solid State Technology, V. 39 N.5, 1996.
- [4]. K.C. Lee, M.Y. Ahn, C. Lee, "Laser direct etching for a PDP cell using Nd:YAG laser", SPIE Meeting, vol. 3898, pp. 208-215, december 1999.
- [5]. O. Yavas, M. Takai, "High-speed maskless laser patterning of indium tin oxide thin films", Applied Physics Letters, vol. 73, no. 18, pp. 1558-2560, November 1998.
- [6]. O. Yavas, M. Takai, "Effect of substrate absorption on the efficiency of laser patterning of indium tin oxide thin films", Journal of Applied Physics, vol. 85, no. 8, pp. 4207-4212, April 1999.