

## 이층 박막 구조에서 ITO 전극의 레이저 직접 패터닝 시 레이저 식각 패턴 중첩 비율의 변화

왕건훈<sup>1</sup>, 박정철<sup>1</sup>, 권상직<sup>1</sup>, 조의식<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 가천대학교 전자공학과

### Overlapping Rates of Laser Spots on the Laser Direct Patterning of ITO Electrode in the Double-layer Structure of Thin Film

Jian-Xun Wang<sup>1</sup>, Jung-Cheul Park<sup>1</sup>, Sang Jik Kwon<sup>1</sup>, and Eou Sik Cho<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronics Engineering, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea

(Received February 6, 2012; Revised April 11, 2012; Accepted April 13, 2012)

**Abstract:** Laser direct patterning of indium tin oxide(ITO) is one of new methods of direct etching process to replace the conventional photolithography. A diode pumped Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> ( $\lambda = 1,064$  nm) laser was used to produce ITO electrode on various transparent oxide semiconductor films such as zinc oxide(ZnO). The laser direct etched ITO patterns on ZnO were compared with those on glass substrate and were considered in terms of the overlapping rate of laser beam. In case of the laser etching on double-layer, it was possible to obtain the higher overlapping rate of laser beam.

**Keywords:** Laser direct patterning, ITO, Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> laser, ZnO, Overlapping rate

#### 1. 서론

기존 사진식각공정을 보다 간략화된 패터닝 공정으로 대체하려는 direct patterning의 한 종류로 레이저를 사용한 패터닝은 유리 기판 혹은 플렉서블 기판 상에서 널리 사용되고 있다 [1-3]. 레이저 패터닝이 가장 많이 적용되는 물질이 인듐 주석 산화물 (indium tin oxide, ITO)로 플라즈마 디스플레이 (plasma display panel, PDP)와 같은 평판디스플레이 (flat panel display, FPD)의 양산 제조에 이미 사용되고 있다 [4,5]. 이러한 ITO 상에서의 레이저 패터닝의 보다 많은 응용을 위해서는, 유리 기판 상에서의 ITO 단일 박막뿐 아니라, 다른 박막 위에 증착된 ITO의 식각에도 적용될 필요성이 있다. 이 경우, 기존 ITO 단일막에서의 레이저 식각 특성과 비교 시 어떤 유사점 및 차이점이

있는지를 확인하는 것은 나름대로 중요하다.

본 실험에서는 센서 및 최근 산화물 박막 소자 등에 널리 사용되는 산화아연 (ZnO) 박막상에 ITO를 스퍼터링하고, 이를 레이저로 패터닝하였을 때 기존 ITO 단일막에서의 특성과 어떠한 차이점이 있는지를 박막 위에 형성된 레이저 빔의 중첩 정도의 관점에서 분석하였다. 본 실험 결과의 분석을 통하여, 레이저 식각 시 레이저 빔 에너지의 분포 및 전달 메커니즘 등과 관련한 이해에 도움이 될 것으로 기대된다.

#### 2. 실험 방법

본 실험은 0.7 mm 두께를 가지는 2개의 슬라이드 글라스 기판상에 진행되었다. 한 글라스에는 ITO 박막을 DC magnetron 스퍼터링 방식으로 1.5 kW의

a. Corresponding author; es.cho@gachon.ac.kr

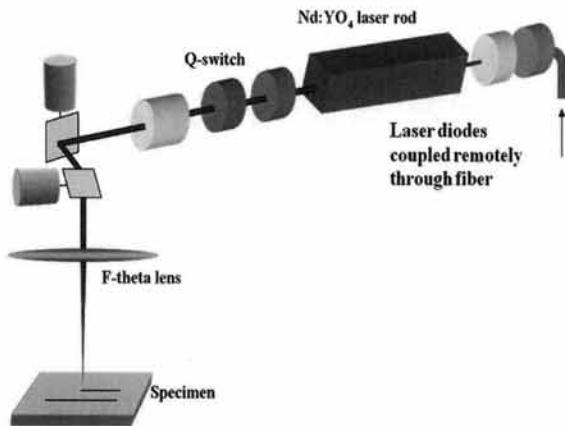


Fig. 1. Schematic of laser patterning system.

power에서 1,000 Å 두께만큼 증착하였다. 다른 글라스에는 ZnO 박막을 RF 스퍼터링에 의해서 1 kW의 power에서 500 Å 두께만큼 증착하였고, 그 위에 ITO 박막을 단일막 증착 시와 동일 조건으로 증착하였다. ZnO 및 ITO 박막 증착 시 Ar과 O<sub>2</sub> 가스는 각각 50 sccm과 1.5 sccm으로 동일하게 유지하였다. 그림 1은 레이저 패터닝에 사용된 레이저 시스템을 보여주고 있다. MIYACHI사의 다이오드 여기 고체 (a diode pumped solid stated) Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저 (ML-7111A)의 파장은 1,064 nm, 펄스 지속 시간 (pulse duration)  $\tau$ 는 약 10 ns를 유지하였으며 레이저 빔의 주파수를 40 kHz에서 부터 80 kHz까지, 스캔 속도를 100 mm/sec 부터 2,000 mm/sec까지 변화시키며 ITO 전극을 식각, 패터닝하였다. 이후 전자현미경 (scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 식각된 패턴을 관찰하였고, stylus profiler를 이용, 패턴이 완전히 식각되었는지 여부를 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 40 kHz의 주파수에서 레이저 빔의 다양한 스캔 속도에 따라서 식각된 ITO 박막의 전자현미경 사진을 보여주고 있다. 2,000 mm/s의 빠른 속도에서는 레이저 빔이 서로 중첩되지 못하여 spot 형태로 식각, 식각된 패턴이 라인 형태로 되지 못함을 확인할 수 있다. 레이저 빔의 스캔 속도가 낮을수록 라인 폭이 넓어지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 동일 면적에 레이저 빔이 머무는 시간이 많아지고, 결국 중

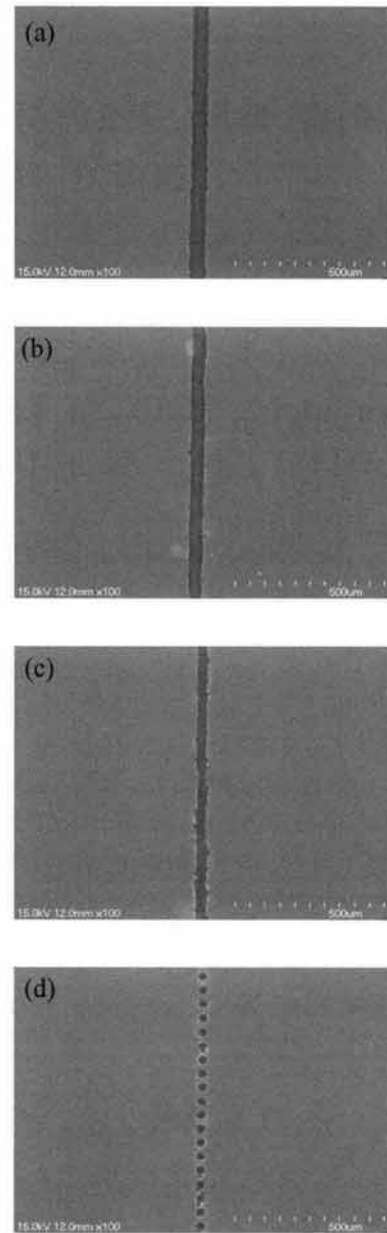
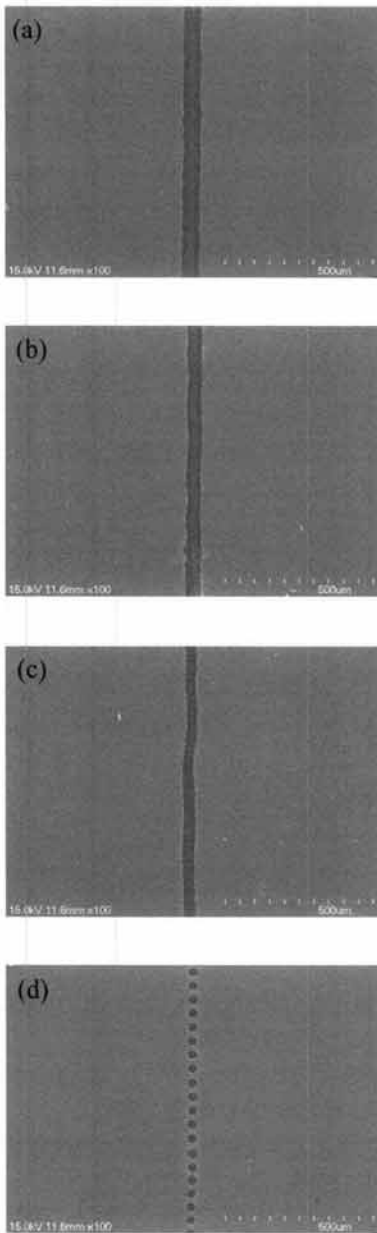


Fig. 2. SEM images of ITO film on glass substrate at a repetition rate of 40 kHz with various scanning speeds: (a) 100 mm/sec, (b) 500 mm/sec, (c) 1,000 mm/sec, and (d) 2,000 mm/sec.

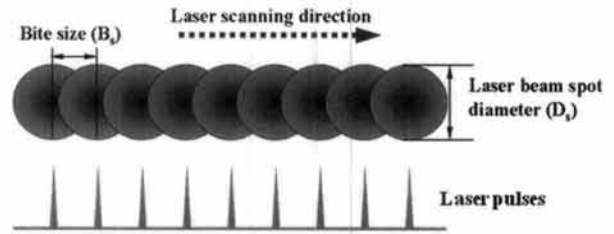
첩됨으로써 빔 에너지가 넓게 전파된다고 볼 수 있다. 그림 3 역시 동일한 40 kHz 주파수에서 스캔 속도별로 식각된 ZnO 박막상의 ITO 층을 보여주고 있는데, 역시 2,000 mm/s 속도에서는 spot 형태의 식각 패턴을 확인할 수 있고 스캔 속도가 낮을수록 라인 폭이 넓어짐을 확인할 수 있다.



**Fig. 3.** SEM images of ITO film on ZnO film at a repetition rate of 40 kHz with various scanning speeds: (a) 100 mm/sec, (b) 500 mm/sec, (c) 1,000 mm/sec, and (d) 2,000 mm/sec.

그림 4는 식각된 레이저 패턴들 사이의 중첩 비율 (overlapping rate)의 원리를 보여주고 있는데 overlapping rate은 식 1과 같은 방식으로 계산 가능하다 [6].

$$\text{Overlapping rate} = \left( \frac{D_s - B_s}{D_s} \right) \times 100\% \quad (1)$$



**Fig. 4.** Schematic of the overlapping rate of laser beam.

위 식에서  $D_s$ 는 그림 4에서와 같이 레이저 빔 spot 크기를,  $B_s$ 는 각 레이저 펄스 사이의 거리를 나타낸다. 기본적으로 bite size는 식 2와 같이 표시가능하다.

$$\text{Bite size}(B_s) = \frac{\text{scanning speed}}{\text{repetition rate}} \quad (2)$$

결국  $B_s$ 는 주파수가 작을수록, 또한 스캔 속도가 빠를수록 큰 값을 가지게 되며 이는 레이저 빔의 중첩 비율에 결정적인 영향을 주게 된다.

그림 5(a)와 (b)는 각각 그림 2와 3의 ITO 식각 패턴을 식 1과 2를 이용하여 계산한 overlapping rate을 보여주고 있다. 중첩 비율의 계산은 40 kHz 외에도 60, 80 kHz에서도 진행되었다. 그림으로 부터, 주파수 변화에 따른 중첩 비율의 변화는 극히 미미하며, 예상대로 스캔 속도가 빠를수록 기본적으로 레이저 펄스 사이 거리가 증가하여 중첩 비율이 급격히 작아짐을 확인할 수 있었다. 특히 이는 2,000 mm/s의 높은 속도에서 뚜렷했는데 단일 ITO 박막의 경우 펄스 사이 거리가 레이저 spot 보다 더 클 경우 중첩 비율이 마이너스 값을 보여주기도 하였다. ZnO 박막상의 ITO 에서의 레이저 식각 패턴의 경우 ITO 단일막에서의 레이저 식각 패턴과 비교 시, 100 mm/s 및 500 mm/s의 낮은 속도에서는 거의 다른 점이 없었지만 1,000 mm/s 및 2,000 mm/s의 높은 속도에서는 확실히 다중막에서의 중첩 비율이 더 큰 값을 보여줌을 확인할 수 있었다. 이는 100 mm/s 및 500 mm/s의 낮은 속도에서는 ITO 단일막과 ZnO 위 ITO 박막의 경우 레이저 식각된 폭이 거의 차이가 없었지만, 1,000 mm/s 및 2,000 mm/s의 높은 속도에서는 ZnO 위 ITO의 다중막에서의 레이저 식각된 폭이 약 10 µm 더 크게 측정된 것으로부터 분석 가능하다.

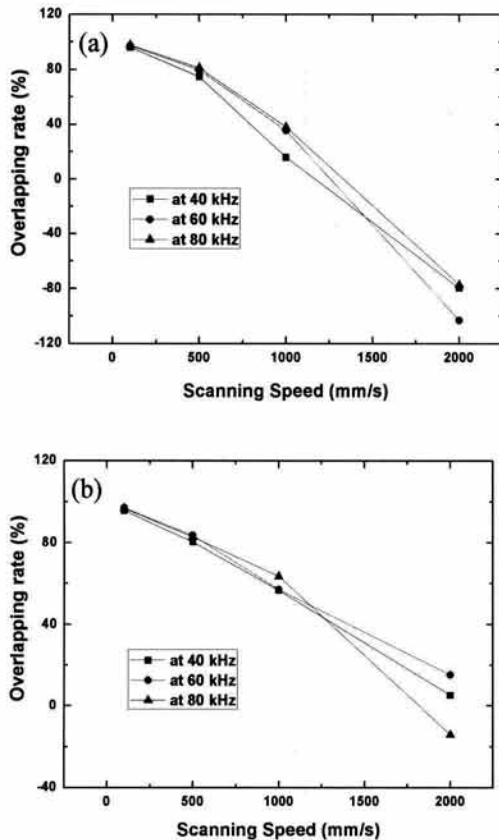


Fig. 5. Overlapping rate of laser beam (a) ITO monolayer on glass substrate and (b) ITO on ZnO with various scanning speeds.

기본적으로 낮은 속도에서는 레이저 빔이 일정면적에 중첩되어 에너지가 전달되는 분포가 고르게 됨으로써 큰 차이가 나지 않지만, 높은 속도에서는 다중막에서의 레이저 빔 spot 사이즈가 더 크게 형성됨으로써 보다 높은 중첩 비율로 나온다고 볼 수 있다. 이는 ITO 하단이 글라스의 경우 레이저 빔이 상당수 투과됨으로써 수평 방향으로 빔 에너지가 전달될 여지가 작지만, ZnO 하단막일 경우 ITO와 ZnO 경계에서 레이저 빔 에너지가 상당 부분 수평 방향으로 전달, 레이저 빔 spot의 크기에 영향을 주는 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저 ( $\lambda = 1,064$  nm)를 이용하여 ZnO 박막상에 스퍼터링된 ITO 박막을 직접 식각, 패터닝한 결과를 ITO 단일막에서의 레이저 패터닝의 경우와 패턴 중첩 비율의 관점에서 비교 분석하였다. 전자 현미경 사진 및 계산된 결과로부터, 중첩 비율은 레이저 빔의 주파수 보다는 스캔 속도에 좌우되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 ITO 단일막인 경우보다는 ZnO 하부막 위 ITO의 직접 패터닝 시 수평 방향으로의 레이저 빔 에너지 전달로 인하여 보다 빔 size가 커짐으로써 1,000 mm/s, 2,000 mm/s의 고속의 스캔 속도에서 보다 큰 중첩 비율을 보여줌을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0005700).

#### REFERENCES

- [1] M. Takai, D. Boltzmann, and K. Habberger, *Appl. Phys. Lett.*, 64, 2560 (1994).
- [2] M. F. Chen, Y. P. Chen, W. T. Hsiao, and Z. P. Gu, *Thin Solid Films*, 515, 8515 (2007).
- [3] Z. H. Li, E. S. Cho, and S. J. Kwon, *Appl. Surf. Sci.*, 255, 9843 (2009).
- [4] K. H. Kim, S. J. Kwon, H. S. Mok, and T. O. Tak, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 46, 4282 (2007).
- [5] Z. H. Li, E. S. Cho, and S. J. Kwon, *Appl. Surf. Sci.*, 255, 9843 (2009).
- [6] S. Ju, J. Li, J. Liu, P. C. Chen, Y. G. Ha, F. Ishikawa, H. Chang, C. Zhou, A. Facchetti, D. B. Janes, and T. J. Marks, *Nano Lett.*, 8, 997 (2008).