

레이저를 이용한 PDP ITO 전극의 직접 패터닝

권상직, 김광호, 전종록

경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지 경원대학교 전기전자공학과

초록

AC PDP에 사용되는 ITO 전극의 공정시간을 단축시키고 생산성을 향상시키기 위해서 Nd:YVO₄ laser($\lambda=1064$ nm)를 사용하여 ITO 전극 패턴을 형성하였다. ITO etchant를 사용하여 ITO 전극 패턴을 형성한 샘플과 비교해서 laser를 사용하여 제작한 샘플은 ITO 라인 가장자리에 shoulder와 물결 무늬를 형성했다. Q스위치 Nd:YVO₄ laser 와 갈바노메트릭 스캐닝 시스템을 사용하여 500 mm/s의 스캔속도와 40 kHz의 펄스 반복율을 기본조건으로 결정했다. PDP 테스트 샘플을 제작하여 방전 테스트를 진행하였다. 사진식각공정을 이용하여 만든 PDP 샘플과 비교해서 laser를 이용하여 제작한 PDP 샘플의 최소 방전유지전압은 더 높게 측정됐다. 이것은 ITO 라인의 shoulder와 물결무늬의 형성과 관련이 있다고 판단된다. 본 실험을 통해 레이저를 이용한 PDP용 ITO 전극막의 직접 패터닝 가능성을 확인할 수 있었다.

1. 서론

인듐 주석 산화물(ITO)은 LCD, PDP, OLED 같은 평판 디스플레이(FPDs)의 투명한 전도 산화물(TCOs)로서 많이 사용되고 있다. 독특한 광학적, 전기적 특성을 갖는 ITO는 FPDs, 태양전지, 이미지 센서와 같은 전기 광학 장치의 제조에 넓게 사용되고 있다. 일반적으로 ITO 전극 패턴의 형성은 산성 용액을 사용하는 사진식각공정을 이용한다. 하지만 위험한 산의 사용은 환경문제를 유발할 뿐만 아니라 비싼 처리 비용도 문제가 된다.[1]

FPDs 중에서 대형 디스플레이를 위한 성공적인 기술 중 하나는 플라즈마 디스플레이 패널(PDP)이다. 대형 디스플레이 시장의 확대를 위해서는 제조비용과 제조시간을 줄이는 것이 중요하다. PDP의 제조비용과 제조시간을 줄이기 위한 방법 중 하나는 레이저 빔을 사용하여 직접 ITO 전극을 패턴하는 것이다.[2-4] 레이저 직접 패터닝(Laser Direct Patterning)은 1m/sec 를 웃도는 고속의 Q스위치 레이저 빔과 갈바노메트릭(galvanometric) 스캔 시스템을 사용하여 실현할 수 있음이 증명되었다.

PDP의 ITO 전극을 패턴하기 위해서 Q스위치 Nd:YVO₄ Laser 를 사용했다. 보통 262 nm 와 같은 UV 영역의 레이저 광선은 ITO 필름과 유리 기판 둘 다 흡수하기 때문에 유리 기판에도 손상을 줄 수 있다. 반면에 1064 nm 와 같은 IR 또는 IR 근처 영역의 레이저 광선은 150 nm 두께를 갖는 ITO 층에서 약 80 %가 흡수되고 유리 기판에서는 거의 투과되기 때문에 ITO에만 레이저를 조사할 수 있다.[5, 6]

ITO 라인과 식각된 부분의 물결무늬를 완벽하게 제거하기 위해서 레이저 빔의 스캔 속도와 Q스위치 주파수를 다양화 했다. 게다가 실험을 통해 얻어진 최적 조건을 적용하여 2인치의 대각선 사이즈를 갖는 PDP 테스트 샘플을 만들었다. 레이저로 ITO 전극을 형성한 샘플은 광학현미경과 stylus profilometer로 관찰하였다.

2. 실험 방법

레이저 직접 패터닝 실험은 2.8 mm 두께를 갖는 PDP 유리 기판(PD-200, ASAHI glass, Japan) 위에 130 nm 두께의 ITO가 증착된 샘플을 사용하였다. 이 ITO 층의 면 저항은 약 30 Ω/\square 이다. 연구에 사용한 레이저는 레이저 다이오드(laser diode)로 펌핑(pumping)되고 싱글모드(single mode)의 1064 nm 파장을 갖는 Q스위치 Nd:YVO₄ 고체레이저이다. 레이저 빔의 스폿(Spot) 사이즈는 40 μm 이고 최대 출력 펄스 에너지는 500 mJ 이다.

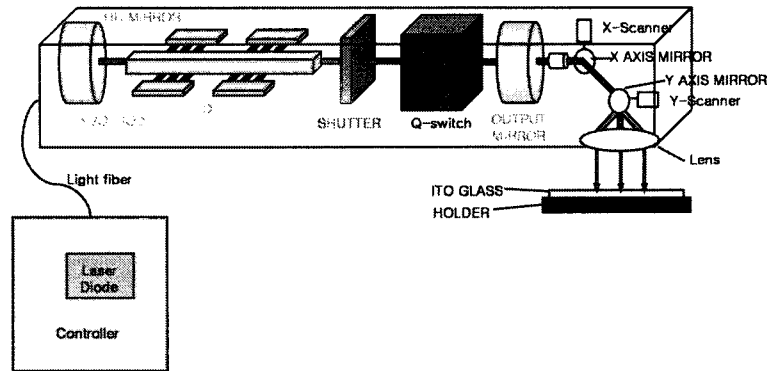


그림 1. 레이저 시스템

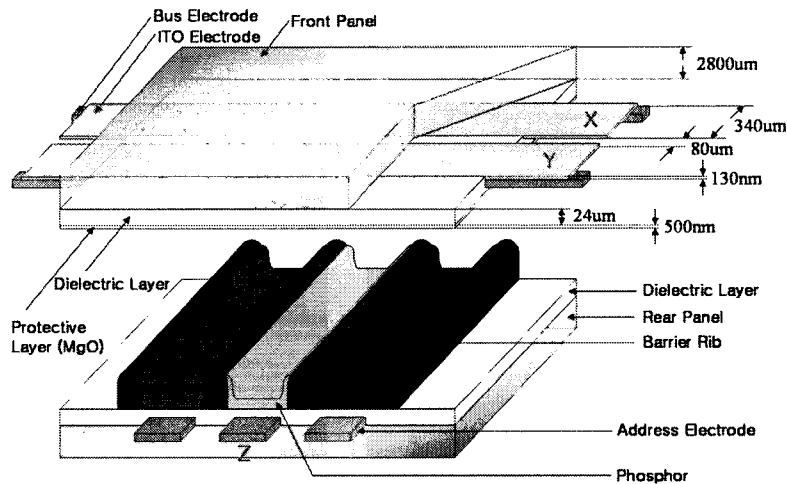


그림 2. PDP의 셀 구조

실험 장비는 그림 1에 나타났다. 레이저 빔은 갈바노메트릭(galvanometric) 빔 스캐닝 시스템에 의해 주사되고 f-theta 160 mm 렌즈를 사용하여 100 mm × 100 mm의 면적 전체로 확대된다.

그림 2는 ITO 직접 패터닝 기술의 적용을 위해 제작된 PDP 패널의 셀 구조를 보여준다. 유리판은 90 mm × 60 mm의 사이즈와 2.8 mm의 두께를 갖는다. 그리고 실제 발광 영역의 크기는 35 mm × 35 mm 이다. 각 셀(cell)에 포함되는 두 ITO 전극의 폭은 각각 340 um이고, 사이의 간격은 80 um 이다. 그리고 셀 간 피치(pitch)는 1080 um 이다.

가장 먼저 PDP 장치의 ITO 버스 전극의 레이저 패터닝을 실행하였다. 레이저 공정의 파라미터는 펄스 반복율(pulse repetition rate), 스캔 속도(scan speed), LD전류(laser diode current) 등이 있다. 레이저 공정 후, 테스트 샘플의 형상은 광학현미경으로 관찰하였다. 추가로, 레이저 공정 중 생긴 shoulders와 식각된 표면의 상태는 stylus profilometer로 측정하였다.

레이저 공정의 최적조건을 얻기 위해서, PDP 테스트 패널은 다른 조건은 고정하고 스캔 속도만을 다르게 하여 제작하였다. 스캔 속도가 높을 수록 레이저 빔 스팟(spot)의 겹치는 정도가 적어지기 때문에 ITO 패터닝 후 생기는 shoulder와 물결무늬가 다르게 형성될 것이다. ITO의 모양변화와 물결무늬로 인한 X, Y ITO 전극 사이 간격의 변화는 PDP 방전에 영향을 줄 수 있다고 판단하여 공정변수로 결정했다.

ITO 전극의 레이저 직접 패터닝을 제외한 다른 공정들은 기존의 방법을 사용하였다. 레이저 직접 패터닝한 샘플과 비교하기 위한 샘플은 사진식각공정을 사용하여 ITO를 패터닝 하였다.

PDP 상판을 제작하기 위해서 ITO 층을 레이저로 패터닝 한 후에 보조 Ag 전극은 스크린 프린팅(screen printing) 방법을 사용하여 ITO 위에 인쇄하였다. 그리고 유전체 층은 약 24 um의 두께로 ITO 전극 위에 인쇄하였다. MgO 층은 유전체 층 위에 e-beam evaporator를 사용하여 500 nm를 증착하였다.

PDP 하판을 제작하기 위해서 첫 번째로 어드레스 Ag 전극을 유리 기판에 인쇄했다. 그리고 그 위에 약 24 um 두께의 유전체와 120 um 두께의 격벽을 스크린 프린팅(screen printing) 법을 이용하여 인쇄하였다. 마지막으로 격벽 사이에 형광체를 인쇄하였다.

PDP 특성을 측정하기 위해서 상판 유리와 하판 유리를 마주보게 하여 진공 챔버(vacuum chamber)에 넣었다. 챔버는 turbomolecular 펌프를 사용하여 1×10^{-6} torr 의 진공으로 만들었다. 그 후에 Ar 가스를 250 torr 까지 채운 후, 300 °C에서 1시간 동안 어닐링(annealing)을 하였다. 어닐링(annealing) 후에 다시 1×10^{-6} torr 의 진공으로 만든 후에 turbomolecular 펌프의 게이트 밸브(gate valve)를 닫고 Ne에 Xe이 4 % 포함된 혼합가스를 400 torr 넣어주었다.

변위 전류를 포함한 방전 전류는 전류 프로브 (TCP-A312)를 사용하여 측정했고, 발광 효율은 chroma-meter (CS-100A)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험은 기본파장($\lambda = 1064$ nm)을 갖는 Nd:YVO₄ 레이저를 사용했다. 첫 번째로, 펄스 반복율(pulse repetition rate)은 Q스위치 진동자에 의해 10 kHz에서 80 kHz로 변화를 주었다.[7, 8] 여기서 레이저 에너지는 약 45 J/cm² 이고 스캔 속도는 500 mm/sec 로 설정하였다. 그리고 연속적인 펄스 사이에 50 %가 부분적으로 겹치도록 스캔 피치(pitch)를 20 um로 설정했다.

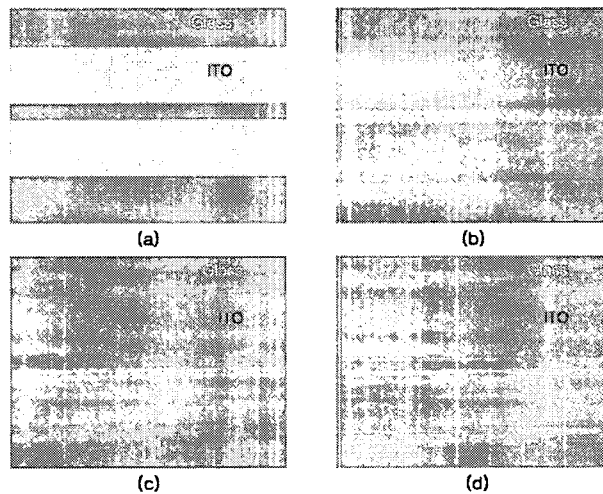


그림 3. 펄스 반복 율에 따른 광학현미경 사진 :
(a) wet-etched, (b) 10 kHz, (c) 40 kHz, and (d) 80 kHz.

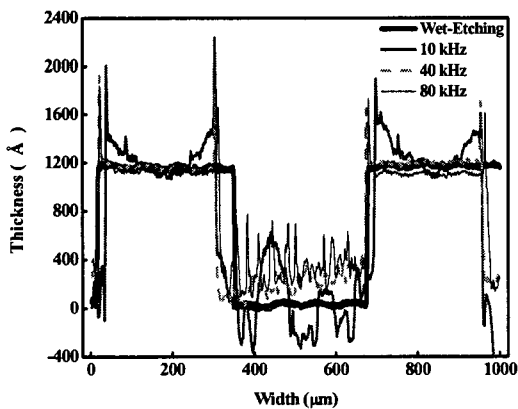


그림 4. 펄스 반복 율에 따른 에칭된 홈의 stylus profile

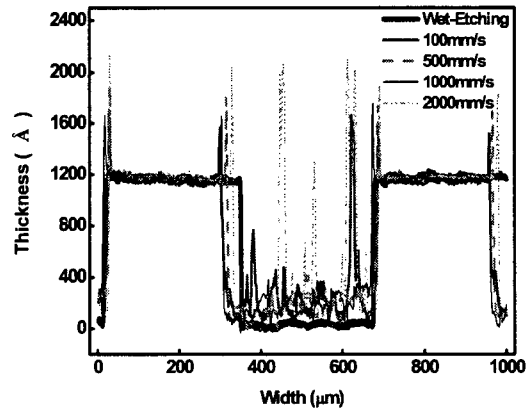


그림 5. 스캔 속도에 따른 에칭된 홈의 stylus profile

광학 현미경 사진은 그림 3에 나타내었다. 40 kHz의 반복 율에서 상대적으로 부드러운 ITO 라인이 얻어졌고 물결무늬가 가장 없다는 것을 알 수 있다. 10 kHz의 반복 율 에서는 그림에 보이듯이 더 많은 물결무늬를 나타냈다.

그림 4는 레이저로 제거된 흠과 ITO 라인을 가로질러 측정된 stylus profile 이다. shoulder는 10 kHz의 반복율에서 더 많이 형성됐다. 반면에 80 kHz의 반복율에서는 ITO 제거가 확실히 되지 않았으며 식각된 표면은 매우 거칠었다. 반면에 10 kHz에서 얻어지는 profile은 약간의 부의 값을 보여준다. 이것은 보다 낮은 반복 율에서 순간적인 전력집중이 더 크기 때문일 것으로 판단된다. 비교를 위해서 wet 에칭된 ITO 라인의 윤곽 또한 그림에 나타내었다. 그림에 보이듯이 사진식각공정으로 형성한 ITO 라인은 부드러운 바닥을 보여주고 shoulder가 없다. 레이저를 사용하여 패터닝된 ITO 라인의 가장자리에 형성되는 shoulder는 광화학 분해 또는 물리적인 스퍼터링과 같은 다른 메카니즘이 아닌 열의 증발로 인하여 ITO 필름이 제거된다는 것을 나타낸다. 게다가 이러한 shoulder의 형성은 식각된 표면과 ITO 라인의 물결무늬 구조의 형성결과라고 판단된다.

스캔 속도에 따른 stylus profile은 그림 5에 나타냈다. 에칭된 표면은 100 mm/s 스캔 속도를 제외하고 모든 샘플이 비교적 매끈하게 보인다. 추후의 실험에서 100 mm/s 스캔 속도에서 얻어진 더 거친 값의 이유를 증명하는 것이 필요할 것이다.

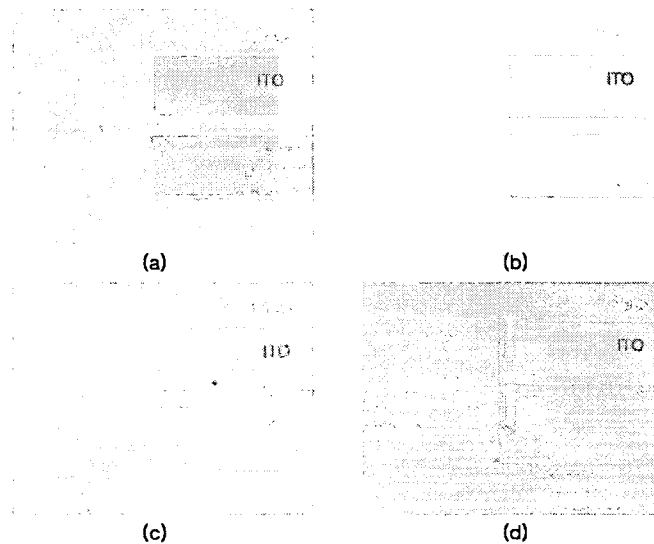


그림 6. 스캔 속도에 따른 광학현미경 사진 :

(a) 100 mm/s, (b) 500 mm/s, (c) 1000mm/s, and (d) 2000 mm/s.

그림 6의 현미경 사진에 보이듯이 스캔 속도가 1000 mm/s 보다 더 높게 증가할 경우 랜딩 에러가 나타났다.

2인치의 대각선 크기를 갖는 PDP 테스트 패널의 ITO 버스 라인을 Nd:YVO₄ 레이저 직접 패터닝 방법을 사용하여 제작하였다. 각각의 패널은 총 32개의 ITO 라인을 갖고 있고, 각각의 라인은 35 mm의 길이와 340 um의 폭을 갖는다. 1 픽셀로 구성된 2개의 ITO 라인사이의 거리는 80 um이다. 구동 펄스 전압은 상판의 서스테인(X) 전극과 스캔-서스테인(Y) 전극으로 공급하였다. 하판의 어드레스(Z) 전극은 그라운드 레벨로 유지하였다. 구형 펄스의 주파수는 50 kHz 이고 펄스의 폭은 3.0 us 이다.

레이저 패터닝을 사용하여 제작된 PDP 샘플은 그림 7에 보이듯이 실제 발광 영역의 일부는 발광하지 않는다. 이것은 레이저로 패터닝된 ITO가 Bus 전극과 Align이 맞지 않아서 쇼트가 일어났기 때문이다.

그림 8에 보이듯이 발광개시전압(Vf)의 방전 특성은 모든 샘플이 비슷하다. 하지만 최소 방전유지전압 (Vs)은 사진식각공정으로 형성한 ITO 샘플과 레이저로 제거된 ITO 샘플이 많이 다르다. 이것은 shoulder의 형성과 관련이 있거나 레이저로 제작된 ITO 샘플의 물결무늬 구조와 관련이 있다고 판단된다.

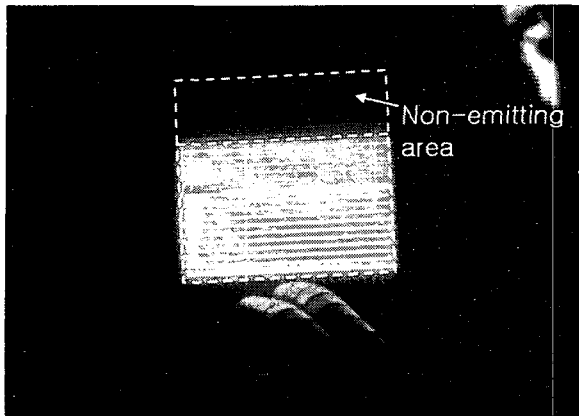


그림 7. 레이저 패터닝을 사용하여 제작된 PDP 샘플의 발광사진

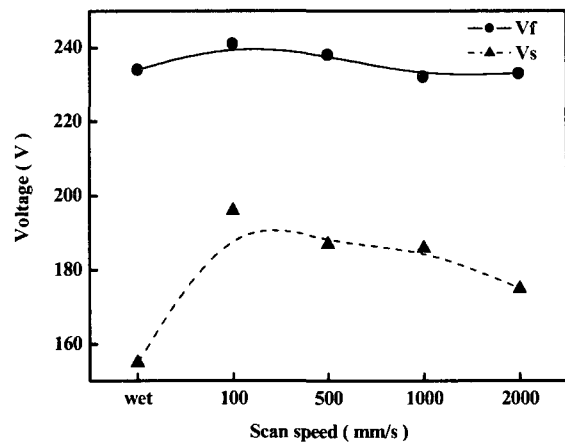


그림 8. 스캔 속도에 따른 방전 특성

4. 결론

ITO 직접 패터닝은 Nd:YVO₄ 레이저($\lambda = 1064 \text{ nm}$)를 이용하였다. 레이저로 제거된 ITO 가장자리의 shoulder와 식각된 표면의 거칠기는 펄스 반복율과 스캔 속도에 영향을 받는다. Q스위치 Nd:YVO₄ 레이저와 galvanometric 스캐닝 시스템을 사용하여 40 kHz의 반복율과 500 mm/s의 조건이 PDP 제조에 적용이 가장 좋다고 판단하였다. Wet 에칭을 이용하여 제작한 PDP 샘플과 비교해서 방전개시전압은 거의 같았다. 하지만, 최소 방전유지전압은 매우 높았다. 이것은 에칭된 ITO의 가장자리에 형성된 shoulder와 부분적으로 불완전하게 제거된 에칭된 표면과 연관이 있다고 판단된다. 추후 실험은 ITO 전극의 shoulder와 물결무늬가 PDP 방전에 미치는 영향에 대해서 알아볼 예정이다.

참고문헌

- [1] M. Takai, D. Bollmann, and K. Habberger, "Maskless patterning of indium tin oxide layer for flat panel displays by diode-pumped Nd:YLF laser irradiation," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, no. 19, pp. 2560-2562, 1994.
- [2] O. Yavas and M. Takai, "High-speed maskless laser patterning of indium tin oxide thin films," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, no. 18, pp. 2558-2560, 1998.
- [3] O. Yavas and M. Takai, "High-speed maskless laser patterning of thin films for giant microelectronics," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 7131-7134, 1999.
- [4] H. J. Booth, "Recent applications of pulsed laser in advanced materials processing," *Thin Solid Films.*, vol. 453-454, pp. 450-457, 2004.
- [5] O. Yavas, C. Ochiai and M. Takai, "Substrate-assisted laser patterning of indium tin oxide thin films," *Appl. Phys. A.*, vol. 69, pp. S875-S878, 1999.
- [6] K. C. Lee and C. Lee, "ITO thin films ablation using KrF excimer laser and its characteristics," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 1, no. 4, pp. 20-24, 2000.
- [7] S. Lecomte, M. Kalisch, L. Krainer, G. J. Spühler, R. Paschotta, M. Golling, D. Ebling, T. Ohgoh, and T. Hayakawa, "Diode-pumped passively mode-locked Nd:YVO₄ lasers with 40-GHz repetition rate," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 41, pp. 45-52, 2005.
- [8] T. Sizer, "Increase in laser repetition rate by spectral selection," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 25, no. 1, pp. 97-103, 1989.