

레이저 CVD 텅스텐막 증착을 통한 TFT LCD 불량배선 수리

Repairing of a Defective Metallic Line using Laser CVD Deposited Tungsten Film in TFT LCD

김석균^{1,a}, 손정석¹, 이기선¹
(Sukoon-Koon Kim^{1,a}, Jeong-Seok Son¹, and Gi-Sun Lee¹)

Abstract

The photodeposited tungsten film by laser CVD has been carried out the taping test with scotch tape over 10 times. As a result, it exhibited strong adhesion to the under-film such as ITO and SiNx patterned on the LCD substrate. However, it was seriously attacked by alkaline solution used for removing polyimide. And a thickness of laser CVD tungsten film had a close relation to a speed of laser scanning. Also we have improved the success rate of a laser CVD repair with making two pairs of contact hole structure and decreasing laser scanning speed.

Key Words : Laser induced CVD, TFT LCD, Laser photodeposition, Laser repair, Photodissociation

1. 서 론

최근 몇 년 사이에 차세대 디스플레이인 LCD (liquid crystal display), PDP(plasma display panel), FED(field emission display), OLED (organic light emitting diode) 등과 같은 평판 디스플레이 산업이 눈부신 성장을 하고 있다. 이 중 LCD 패널 제조업체들은 TV, 모니터, 노트북의 시장 수요가 확대되고 갈수록 심화되는 경쟁을 극복하기 위해서 공정단축, 회로집적화, 불량패널 수리와 같은 제조원가 절감을 통한 생산성 증대, 수출 향상에 많은 노력을 집중하고 있다. 특히, 이러한 노력들 중에서 레이저 광화학 분해 반응을 이용해서 미세영역에 금속을 증착하는 레이저 CVD (chemical vapor deposition) repair 기술은 반도체 LSI 회로수리, 포토마스크 수리, LCD 유리 기판의 배선수리등과 같은 미세 전기전자분야에서 널리 응용이 되고 있다[1-6]. 현재 LCD 유리 기판의 불

량배선을 $W(CO)_6$, $Mo(CO)_6$, $Cr(CO)_6$ 등과 같은 금속 카보닐 화합물에서 레이저 광분해 반응으로 금속을 증착하는 레이저 CVD repair 증착기술은 TFT LCD 유리 기판 크기가 대형화 되고 패턴이 미세화 되면서 배선불량이 증가함에 따라 그 중요성이 더욱 부각되고 있다[7].

본 논문에서는 전기 전도성이 우수하고, 밀착력과 신뢰성이 뛰어난 레이저 CVD 텅스텐막의 특징을 살펴보고, repair 성공률에 영향을 주는 요소들을 찾아보았다.

텅스텐 배선막을 증착하는 레이저 CVD 증착법은 CW(continuous wave) 레이저로 $W(CO)_6$ 를 광분해하여 진공상태의 상온에서 막을 성장시키는 증착방법이다. 이는 고온에서 열분해 후 막을 증착하는 thermal CVD 증착방법에 비해서 저온증착이 가능하고, 증착속도가 빠르며, 증착된 금속막의 배선펙을 미세하고 정교하게 제어할 수 있는 장점이 있다. 이러한 LCD 유리 기판의 불량배선 수리용으로 사용되는 레이저 CVD 텅스텐막은 외부의 물리적 충격과 화학적 반응에 충분히 견딜 수 있는 신뢰성과 내구성이 요구된다. 이는 곧, LCD 패널의 repair 성공여부에 직접적인 영향을 주기 때문에 양산라인에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 또한,

1. (주) BOE HYDIS

(경기도 이천시 부발읍 아미리산 136-1)

a. Corresponding Author : sukoon@boehydis.com

접수일자 : 2004. 6. 24

1차 심사 : 2004. 8. 3

심사완료 : 2004. 9. 1

증착된 텅스텐막의 adhesion 분석과 repair 성공률에 영향을 미치는 요소들을 조사해 보고, 이를 향상시키기 위한 방안들을 제시해 보았다.

2. 실험

TFT LCD 패널 제조라인에서 레이저 CVD repair 공정은 LCD 유리 기판의 배선 단락 및 단선 등과 같은 회로불량에 대해서 금속 카보닐 계열의 유기 화합물을 펄스(pulse) 레이저나 CW (continuous wave) 레이저로 광분해한 후 선택적으로 금속막을 증착하는 repair 공정이다. 일반적으로, 레이저 CVD repair 공정은 LCD 유리 기판의 TFT 어레이(array) 배선 패턴위의 절연막을 제거하는 contact hole opening 공정과 open된 contact hole에 광분해된 금속원자를 채워넣는 filling 공정, 그리고, 마지막으로 2개의 contact hole filling부를 레이저 빔 주사(laser beam scanning)로 직접 연결하는 레이저 직접 쓰기(laser direct writing) 공정 등 총 3 단계 순서로 진행된다.

그림 1은 TFT LCD 유리 기판의 단선된 배선에 $W(CO)_6$ 를 사용하여 레이저 CVD 증착을 통한 배선 repair를 실시하는 순서이다. 첫째, (a)는 텅스텐 금속을 LCD 기판 금속배선과 contact 시키기 위하여 출력이 2.3-2.6 mJ인 적외선(Infrared) 펄스 레이저로 기판 금속배선 상부의 SiN_x 절연막을 제거하는 contact hole opening 공정이다. contact hole 크기는 금속배선 폭에 따라서 레이저 슬릿(slit)으로 조절해 준다. 이때 형성되는 contact hole 크기와 형태는 이후에 진행되는 filling 공정 시 텅스텐 금속과 배선 금속의 접촉저항에 많은 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. 여기서, 레이저 에너지 밀도, 기판 절연막과 금속배선의 두께 및 물성에 따라 레이저 에너지의 흡수율이 틀려지기 때문에 일정한 크기와 형태의 contact hole을 형성하기란 쉽지가 않다. 따라서, 항상 일정한 contact hole을 형성하기 위해서는 레이저 출력 에너지, 레이저 빔 슬릿 크기, 조사회수, 펄스폭 등을 고려해 충분한 마진을 확보하는게 중요하다. 둘째, (b)는 open된 금속배선의 contact hole에 텅스텐 금속을 채워 넣는 contact hole filling이다. 이때, CVD 원료가스인 $W(CO)_6$ 는 외부의 아르곤 캐리어 가스에 의해서 운반되며, 사용되는 레이저는 파장이 349 nm인 레이저 다이오드(laser diode) pumped Q-Switch CW Nd:YLF 레이저이다. 텅스텐 금속으로 채워진 contact hole filling부를 AES(auger elec-

tron spectroscopy) 분석한 결과 탄소와 산소 등과 같은 불순물이 일부 포함되어 있었다. 이때, 불순물 함유량은 레이저 가공 조건, 캐리어 유량, 압력 등에 따라서 다소 차이를 보였다. 텅스텐 금속은 진공상태에서 contact hole 내부의 금속배선에 증착되고, 나머지 탄소, 산소 등과 같은 기체분자들은 아르곤 캐리어가스에 의해서 외부로 배기된다. 셋째, (c)는 텅스텐 금속으로 채워진 2개의 contact hole을 레이저 빔으로 주사시켜 직접 연결시키는 텅스텐 레이저 writing 공정이다. 레이저 빔 주사 방향은 LCD 기판 배선의 불량상태 및 단차에 따라서 금속배선과 동일하게 일직선으로 연결할 수도 있고, 픽셀(Pixel) 전극부로 우회 시킬 수도 있다. 기판에 조사된 레이저 빔은 contact hole filling에 사용하던 레이저와 동일하다. 이때 증착된 텅스텐 금속의 주사선폭 및 두께는 filling 때와 마찬가지로 레이저 출력 에너지의 크기, 주사 속도(scan speed), 주사 회수, $W(CO)_6$ 보관 용기의 내부 온도, 캐리어 가스 유량 등에 따라서 달라진다. 레이저 주사에 의해서 증착된 텅스텐막은 증착되는 기판 표면의 물성 및 단차에 따라 많은 영향을 받으며 repair 성공률에 직접적인 영향을 줄 수 있는 매우 중요한 factor이다.

그림 1. 레이저 CVD repair 공정.

Fig. 1. Laser CVD repair process for repairing defects of metallic line on the TFT LCD glass.

본 실험에서는 레이저 CVD 증착법으로 증착된 텅스텐막과 ITO(indium tin oxide), SiNx 등 하부막과의 adhesion을 알아보기 위해서 박리 테스트를 실시했고, 화학적 내구성을 알아보기 위해서 액정 배향막 rework 용액으로 사용되는 알칼리성 용액과의 반응성을 알아보았다. 그리고, repair 성공률에 영향을 주는 요소를 찾기 위해서 레이저 CVD repair 후 실제 LCD 패널의 양산 제조공정에서 발생한 배선 불량률 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 레이저 CVD 텅스텐 증착막의 특징

표 1은 TFT LCD 유리 기판의 레이저 CVD 증착을 위한 배선 수리에 응용되고 있는 CVD 원료가스인 금속 카보닐계 화합물 W(CO)₆, Cr(CO)₆, Mo(CO)₆의 각각의 특징을 나타내고 있다.

표 1. 레이저 CVD 원료가스의 특징
Table 1. Characterization of laser CVD material gas.

metal carbonlys	특징
Cr(CO) ₆	화학적 내구성이 우수함.
Mo(CO) ₆	밀착력이 우수함.
W(CO) ₆	전도성과 신뢰성이 우수함.

CW 레이저 빔을 조사하여 W(CO)₆ 분자를 분해 후 텅스텐 금속을 직접 증착하는 레이저 CVD 증착법은 증착된 텅스텐막이 기판과 우수한 밀착력을 유지하는 것과 외부 세제와의 반응시 침식되지 않고 견딜 수 있는 우수한 내구성을 가지는게 매우 중요하다. 이는 LCD 패널 제조 공정에서 레이저 CVD 증착 이후에 진행되는 셀 공정에서 발생할 수 있는 화학적, 물리적인 반응들을 극복하고 우수한 신뢰성을 확보하기 위해서 필수적인 요건이다.

그림 2는 LCD 기판에서 픽셀 전극으로 사용되는 ITO(indium tin oxide) 전극과 절연막으로 사용되는 SiNx에 폭이 5 μm, 길이가 70 μm, 두께가 0.35 μm인 텅스텐 금속을 레이저 CVD 증착하여 박리 테스트 후 촬영한 광학사진이다. 박리 테스트는 스카치 테이프를 사용하여 일정한 힘으로 10회 이상 반복 실시하였다. 그 결과 10회 이상의 박리 테스트 후에도 텅스텐 증착막이 손상없이 초기형태 그대로 보존되어 있었다. 실제, 양산 제조공정에서

레이저 CVD repair 증착 후 진행되는 UV (ultraviolet) 세정, 배향막 코팅(coating)과 같은 단위공정 후에도 텅스텐막이 떨어져 나가거나 벗겨지는 현상이 없었다. 따라서, 레이저 CVD 방법으로 증착된 텅스텐막은 LCD 기판에 형성된 ITO 금속 및 실리콘 질화막과 매우 우수한 adhesion 특성을 보여준다는 것을 알 수 있었다.

그림 2. 레이저 CVD 텅스텐막의 adhesion 특성.
Fig. 2. Adhesion characteristics of the laser CVD deposited tungsten film.

그림 3. 레이저 CVD 텅스텐막과 알칼리성 용액과의 반응결과. (a) 반응전 (b) 반응후
Fig. 3. Reaction results between laser CVD tungsten film and alkaline solution. (a) before reaction, (b) after reaction

텅스텐 금속의 알칼리성 용액에 대한 화학적 내구성을 확인하기 위해서 LCD 패널 기판의 데이터(data) 금속배선 단선불량에 대해서 폭이 5 μm , 두께가 0.3 μm 인 레이저 CVD 텅스텐 금속을 증착하였다. 그리고, 액정 배향막 제거용액인 강알칼리성 용액에 2 분여 동안 담구어 놓았다. 그 결과 그림 3에서 보는바와 같이 증착된 텅스텐 금속이 알칼리성 용액에 완전히 침식당해서 끊겨져 나간 걸 알 수 있다. 증착된 텅스텐 금속의 attack 정도는 막 두께, 알칼리성 용액의 농도, 반응시간 등에 따라 다소 차이가 있었다. 레이저 CVD 증착금속으로 사용되는 텅스텐은 알칼리성 용액과 반응시 매우 약한 특성을 나타내었고, 이러한 텅스텐막 특성이 레이저 CVD repair 성공률 저하에 많은 영향을 줄 수 있을 것이다.

3.2 레이저 CVD repair 성공률 개선

LCD 패널의 회로제조 공정이 점점 복잡하고 미세해짐에 따라서 TFT 어레이(array) 패턴 간 단차도 높아지고 있다. 패턴 간 단차가 높을수록 레이저 CVD 텅스텐막을 균일하게 증착하기가 어려워진다. 이는 증착되는 텅스텐막의 두께가 얇거나 균일하지 않을 경우 기판 패턴의 단차부 바닥에서 크랙(crack) 또는 얇아짐(thinning) 현상이 발생할 수 있기 때문이다. repair 성공률을 향상시키기 위해서는 단차를 극복하고 막이 균일하게 증착되도록 레이저 에너지 조건을 설정하는 것이 중요하다. 따라서, 레이저 주사속도에 따른 텅스텐막의 단면 분석, 레이저 주사속도와 막 두께와의 관계, 레이저 CVD 증착이 실패한 LCD 패널의 배선 분석 등을 통해서 repair 성공률에 영향을 미치는 요소들을 알아보았다.

그림 4는 레이저 빔 주사속도에 따른 기판 금속배선에서의 텅스텐 증착막 단면을 주사현미경(SEM)으로 관찰한 사진이다. 레이저 주사속도가 (a) 3 $\mu\text{m}/\text{s}$ 인 경우 (b) 7 $\mu\text{m}/\text{s}$ 에 비해서 텅스텐 입자가 크고, 증착막 두께가 두꺼워서 기판 금속배선 단차부에서 crack 또는 thinning 현상을 보완할 수 있을 것으로 기대된다. 레이저 주사속도를 제외한 나머지 조건은 모두 동일하다. 실제, 양산 공정에서 레이저 주사속도를 3 $\mu\text{m}/\text{s}$ - 4 $\mu\text{m}/\text{s}$ 를 사용하고, 주사회수를 2회로 설정한 결과 repair 성공률이 많이 향상되었다.

그림 4. 레이저 주사속도에 따른 기판배선 단차부에서의 SEM 사진.

Fig. 4. A SEM photograph at the step coverage beside metallic line in the LCD substrate as a function of laser CVD scanning speed.

그림 5. 레이저 빔의 주사속도에 따른 레이저 CVD 텅스텐막의 두께변화.

Fig. 5. A thickness variation of tungsten film by laser CVD as a function of laser CVD scanning speed.

그림 5는 레이저 빔 주사속도에 따른 CVD 텅스텐막의 두께변화를 나타낸 그래프이다. 주사속도와 텅스텐막 두께는 반비례 관계를 보이며, 특히, 주사속도가 3 $\mu\text{m}/\text{s}$ 에서 4 $\mu\text{m}/\text{s}$ 로 증가할 때 막 두께가 급격하게 감소하였다. 주사속도가 빠를수록 조사되는 CW 레이저 빔에 의해서 광분해 되는 $\text{W}(\text{CO})_6$ 의 텅스텐 원자량이 적어지고, 선택부의 열전도가 감소하여 텅스텐막이 얇게 증착되는 것으로 사료된다. 레이저 CVD 텅스텐막의 두께는 조사되는 레이저 에너지원의 크기보다 주사속도에 따른 의존성이 훨씬 크다는 걸 알 수 있었다.

그림 6은 레이저 CVD 텅스텐 증착 repair가 실패한 기관의 배선 contact hole부 SEM 사진이다.

텅스텐막이 배선 contact hole filling후 레이저 주사로 writing 시작되는 부분으로 막질 사이의 adhesion 불량으로 인하여 증착된 텅스텐막이 떨어져 나간 걸 볼 수 있다. 텅스텐막이 기관 배선 contact hole과 단차부 계면과의 불균일한 증착으로 인하여 세정 공정 진행시 attack을 받은 것으로 추정된다. 레이저 CVD repair 공정에서 증착된 텅스텐막이 떨어져 나가는 대부분이 contact hole부이다. 이는 contact hole에서 filling된 텅스텐막이 배선 단차 때문에 평탄하지 않기 때문에 이후에 진행되는 텅스텐 writing 공정 진행시 제대로 증착이 되지 않기 때문이다.

그림 6. 레이저 CVD repair 실패한 LCD 패널의 데이터 신호배선 contact hole부 SEM 사진.

Fig. 6. SEM photograph shows in the contact hole of the failed laser CVD after repairing data metallic line in LCD panel.

그림 7은 contact hole을 2중으로 형성한 레이저 CVD repair 방법이다. 취약한 contact hole을 보완하기 위해서 1개의 buffer contact hole을 추가로 형성하였다. 이러한 2중 contact hole 구조의 레이저 CVD repair 방법을 적용한 결과 contact hole 부에서의 단선불량이 줄어들고 repair 성공률이 향상 되었다.

그림 7. 2중 contact hole을 사용한 레이저 CVD repair 방법.

Fig. 7. Laser CVD repair method using two pairs of contact hole.

4. 결론

TFT LCD 패널 제조공정에서 유리 기관의 단선 및 단락등과 같은 불량배선을 수리하는 레이저 CVD repair 공정과 텅스텐막의 특징을 알아보고, repair 성공률 향상을 위한 방안을 논의해 보았다. 레이저 CVD 텅스텐막은 ITO 금속과 SiN_x 절연막과의 밀착력은 우수하나 알칼리성 용액에는 매우 취약한 특성을 보였다. 레이저 빔 주사속도가 증가할수록 증착되는 텅스텐막의 두께는 감소했다. 그리고, 주사속도를 감소시키고, 2중 contact hole을 형성하여 레이저 CVD repair 성공률을 10 % 이상 향상 시켰다. 또한, 레이저 CVD 증착한 제품에 대해서 THO(thermal humidity operation, 50 $^{\circ}\text{C}$ / 80 %), LTO(low temperature operation, 0 $^{\circ}\text{C}$), TST(thermal shock test) 등 총 3 가지 항목을 신뢰성 테스트한 결과 모두 제품 품질에 문제가 없었다.

참고 문헌

- [1] 이홍규, 이경철, “집속 아르곤 이온 레이저 빔을 이용한 레이저 유도 직접 구리 패터닝”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 11호, p. 969, 2000.
- [2] 류정탁, Kenjiro Oura, 김연보, “레이저 증착법에 의한 탄소계 박막의 구조 및 전계방출특성” 전기전자재료학회논문지, 15권, 7호, p. 634, 2002.
- [3] Y. Morishige, S. Kishida, and S. Kishida, “High performance contact formation in LSI circuit restructuring using visible pulse laser induced ablation and CVD”, Appl. Surface Science 46, p. 108, 1990.
- [4] R. Tatsumi, “Process technology for photo-mask repair”, Electronic Parts and Materials (Tokyo) 17, p. 49, 1978.
- [5] M. M. Oprysko, M. W. Beranek, and P. L. Young, “Visible-laser repair of clear defects in photomasks”, IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-6, No. 7, p. 344, 1985.
- [6] Y. Yoshino, T. Miyagawa, S. Murakami, and Y. kusumi. “Laser mask repair using laser CVD”, IEEE Tokyo section, No. 26, 1987.
- [7] R. Solanki, P. K. Boyer, and G. J. Collins, “Low-temperature refractory metal film deposition”, Appl. Phys. Lett., 41(11), 1982.