

# 레이저 국소증착을 이용한 미세 회로수정 패턴 제조

## Laser-induced chemical vapor deposition for circuit repair

광주과학기술원 기전공학과 박중복, 정성호

LG생산기술원 김창재

### I. 서론

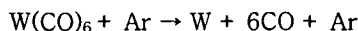
레이저 국소증착(LCVD: Laser-assisted Chemical Vapor Deposition)은 레이저에 의해 가열된 시편 표면에 인접한 반응가스가 화학적으로 기체와 고체로 분해되는 과정에서 생성된 고체의 증착을 유도하는 화학 기상 증착법(CVD: Chemical Vapor Deposition)의 일종이다. 레이저 국소증착에서는 증착시키고자 하는 물질을 포함하고 있는 반응가스를 시편에 공급하면서 특정 위치에 집속된 레이저빔을 국소적으로 조사함으로써 증착반응을 유도하여 원하는 부분에 원하는 물질을 증착시킬 수 있다.[1] 레이저 국소증착에서는 국소부위에 대해서만 레이저 빔을 집속시켜 조사하므로 기존의 CVD 공정에서 시편 전체를 고온으로 가열함으로써 발생하였던 시편의 손상 및 증착물에 대한 불순물 침투와 같은 문제점을 줄일 수 있다. 또한, 이 방법은 마스크를 사용하지 않고도 간단한 형상의 미세 패턴 제작에 쉽게 적용될 수 있다. 따라서 국소박막증착 및 미세 구조물 제조 등에 응용되고 있으며, 이를 이용한 회로수정(circuit repair)이나 마스크수정(mask repair) 기술들이 개발되고 있다.[2]

본 연구에서는 유리기판 상에 제조된 전기회로가 단락 되었을 경우, 레이저 국소증착을 통해 미세한 금속도선을 증착시켜 원래의 회로로 수정·복구하는 장비개발을 목적으로 레이저 국소증착 공정에 관한 연구를 수행하고 증착물의 특성을 분석하였다.

### II. 실험방법

Fig.1은 레이저 국소증착 실험장치의 개략도로 레이저시스템, 광학계, 반응부, 이송계, 이송계 제어부, 반응가스 제어부 등으로 구성되어 있다. 실험에 사용된 레이저는 355nm의 중심파장을 가지는 Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저(Photonics Industries, DC50H-355)이다. 레이저에서 나온 빔은 Fig.1에서 나타낸 것과 같이 빔 감쇄기(beam attenuator)와 빔 확대기(beam expander)를 거치고 거울 및 슬릿을 통과 한 후 현미경용 대물렌즈를 통과하게 된다. 이렇게 렌즈를 통과한 집속된 빔은 유리시편에 조사된다. 시편의 관찰을 위해 별도의 조명용 백색광원을 사용하였으며, 조명용 광원으로부터 조사된 빛은 대물렌즈를 통해 집속된 후 시편 표면에서 반사되어 렌즈를 통하여 CCD카메라 쪽으로 입력된다. 반응물은 텅스텐카보닐 [W(CO)<sub>6</sub>]로써 반응물을 챔버로 공급해주기 위하여 가스제어기를 사용하였으며, 이송가스(carrier gas)는 아르곤 가스가 사용되었다. 이때, 반응물의 저장소 및 이동경로는 60°C로 가열된다. 샘플의 크기가 큰 경우를 고려하여 개방형 챔버를 사용하였으며, 반응가스가 유출되는 것을 방지하기 위해 반응가스 공급구를 둘러싸고 있는 가스 흡입구를 통해 반응 후 가스를 흡입하는 방식을 고려하였다.

미세 텅스텐 패턴을 제조하기 위해서는 60°C로 가열된 텅스텐카보닐을 반응챔버로 공급해 주면서 집속된 레이저 빔을 조사하면 유리 표면부근에 아래식과 같은 반응을 통해 텅스텐 증착물이 생성된다.[3]



이러한 분해반응은 샘플표면에서의 직접적인 열에 의한 열분해 반응과 자외선 빛에 대한 텅스텐카보닐의 광자흡수에 의한 광분해 반응에 의하여 일어날 수 있다. 이때 이송계를 이동시켜주면 유리샘플의 특정 부위에 원하는 패턴을 형성할 수 있다.

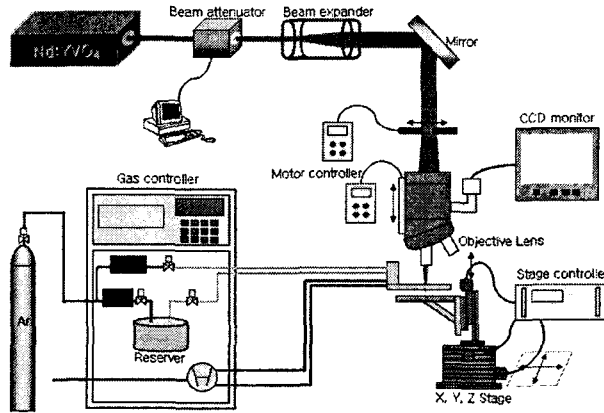


Fig.1 Schematic diagram of the experimental setup

### III. 결과 및 고찰

LCVD 공정연구에서 공정조건에 따른 증착물의 형상변화는 증착물의 반응 매카니즘과 증착율 및 증착 특성을 알 수 있는 중요한 단서가 된다. 따라서 이러한 형상적인 측면에서의 분석 및 고찰은 LCVD 공정 연구 및 실제 적용에 있어 기본적인 중요한 부분이라 할 수 있다.

증착물의 형상은 레이저 출력에 따라서 크게 달라진다. Fig.2는 레이저 출력에 따른 증착패턴의 형상을 보여주며 각각의 그림들은 SEM 사진과 3차원 이미지(높이 방향 치수는 폭 방향에 비해 매우 과장되어 있음)를 보여준다. Fig.2 (a)와 같이 레이저 출력이 낮을 경우에는 증착물에 물결무늬가 보이는데 그 이유는 실험에 사용된 이송계가 약  $1\mu\text{m}$  간격으로 스텝핑 모터에 의해 움직이는데 한 위치에서 증착 후 다음 위치로 이동할 때 이전 증착부 끝단과 새로운 증착 영역사이에 약간의 중첩이 일어나는 것이며, 레이저 출력이 낮은 조건에서는 유리 기판 상의 증착율이 매우 낮으므로 중첩된 부분과 중첩이 없이 증착된 부분 간에 두께 차이를 보이는 것으로 추측된다. 반면 Fig.2 (b)와 같은 조건의 경우는 레이저 출력이 이상적인 경우로써 이 조건에서도 증착물에 미세한 물결무늬 흔적은 볼 수는 있으나 비교적 우수한 형상을 얻을 수 있었다. 앞의 두 경우 보다 높은 레이저 출력인 Fig.2 (c),(d)의 경우, 가운데 부분이 갈라지는 현상이 나타나며 레이저 출력을 증가시키기에 따라서 그 현상이 더욱 뚜렷해짐을 알 수 있었다. 이렇게 단면이 도랑(trench)형상을 나타내는 원인은 아직까지 정확하게 설명되지 않고 있으나 높은 온도에서 발생하는 역반응과 레이저 빔에 의한 증착물의 식각 및 중심부에서의 용융에 의한 것으로 추정된다.[1]

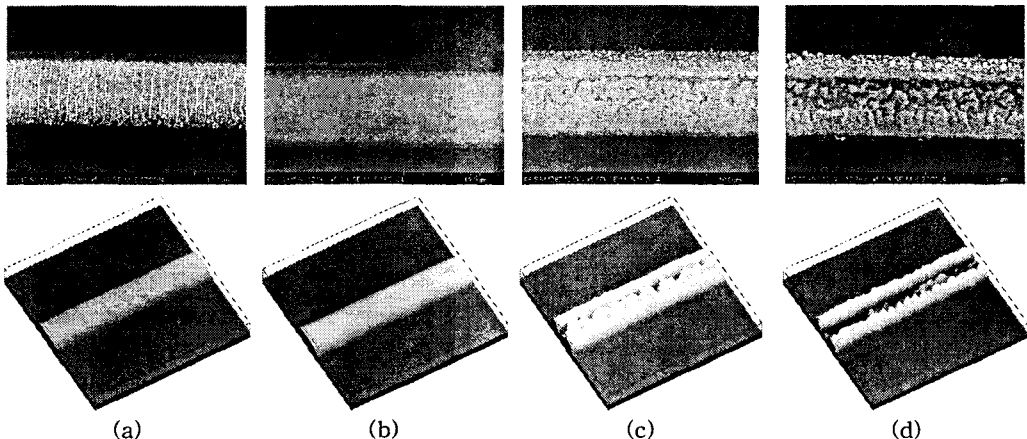


Fig.2 SEM pictures and 3D images of the deposited micro tungsten patterns by direct writing with various laser power (a)0.21mW (b)0.249mW (c)0.468mW (d)0.677mW (scan speed:  $3\mu\text{m/s}$ )

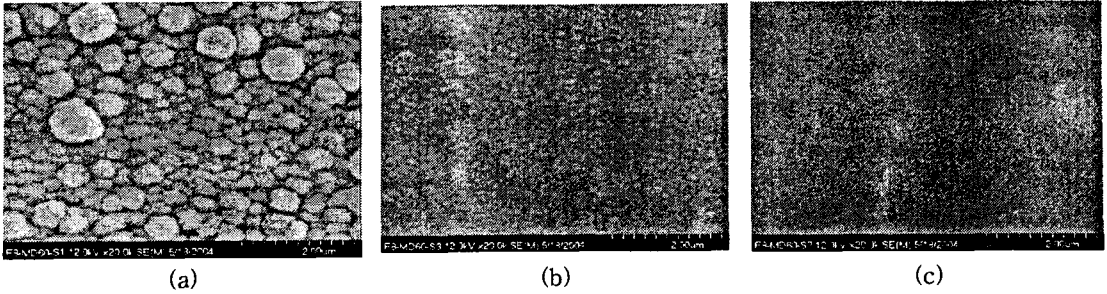


Fig.3 Surface morphology of the tungsten patterns with respect to scan speed  
 (a)1 $\mu$ m/s (b)3 $\mu$ m/s (c)7 $\mu$ m/s (laser power: 0.249mW)

Fig.3은 이송속도의 변화에 따른 텅스텐 증착물의 표면형상을 보여준다. Fig.3의 (a)와 같이 속도가 낮은 1 $\mu$ m/s에서는 표면의 입자의 크기가 비교적 큼을 알 수 있으며, 속도가 빠른 영역인 (b), (c)로 갈수록 입자의 크기가 작아짐을 알 수 있다. 속도가 낮은 영역에서 입자들의 크기가 큰 것은 증착이 일어나는 시점에서 유리표면에 발생한 핵형성(nucleation)이 레이저 빛의 조사에 의해 지속적으로 성장 및 응집이 일어난 결과로 추정된다. 그 예로, Fig.3 (b), (c)에서 속도가 증가할수록 입자의 크기가 점차 줄어들어 가는 것으로 보아 위와 같은 추정이 어느 정도 신빙성이 있다고 판단된다. 한편, 속도가 낮은 영역에서 관찰된 큰 입자 및 증착물 주변에서의 잔여물들은 광반응에 의한 레이저 증착의 특징과도 일치하며 이를 통해 광반응의 가능성도 예상해 볼 수 있다.

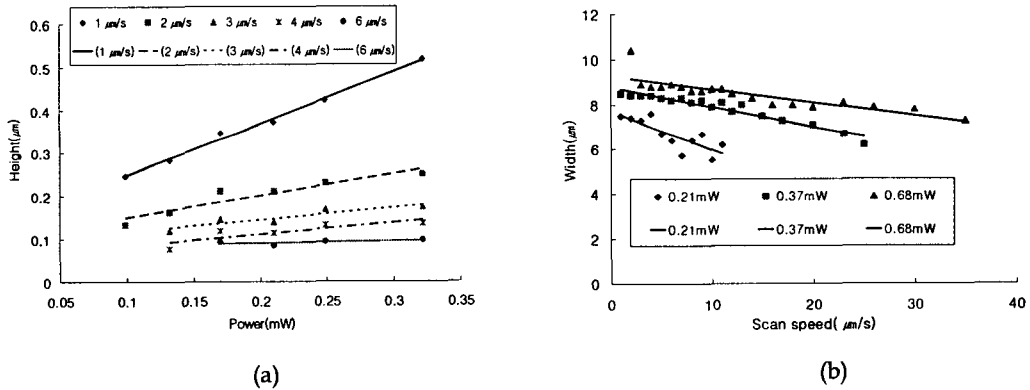


Fig.4 (a)Variation of deposition (a)height and (b)width  
 with respect to laser power and scan speed

증착물의 높이는 Fig.4 (a)에서 나타나듯이 레이저 출력이 증가함에 따라서 전반적으로 증가되는 것을 볼 수 있으며, 그 변화가 선형적인 관계를 가진다. 속도가 낮은 영역에서는 레이저 출력에 따른 증착 높이의 변화가 큰 반면, 속도가 높은 영역에서는 레이저 출력의 증가에 따른 증착 두께의 변화가 줄어들면서 높이가 일정해지는 경향을 보였다. 6 $\mu$ m/s의 이송속도와 0.17~0.32mW 영역의 레이저 출력에서 90nm 정도의 일정한 높이로 패터이 형성되는 것을 볼 수 있다. 출력이 일정할 경우 이송속도가 낮은 영역에서는 높이 변화가 심하며, 속도가 높은 영역에서는 높이 변화가 적으므로 미루어 이송속도에 대해 증착물의 높이는 반비례 관계를 가짐을 알 수 있다.

증착물의 폭은 Fig.4 (b)에서 보듯이 레이저 이송속도가 증가함에 따라서 전반적으로 감소되는 것을 볼 수 있으며 그 변화가 선형적인 관계를 가진다. 레이저 출력이 낮을수록 이송속도를 증가시킴에 따라 증착폭의 변화가 큼을 알 수 있다. 한편, 이송속도가 일정할 경우 레이저 출력이 높은 영역에서 증착폭의 변화가 적으며, 레이저 출력이 낮은 영역에서 증착폭의 변화가 큼을 알 수 있다.

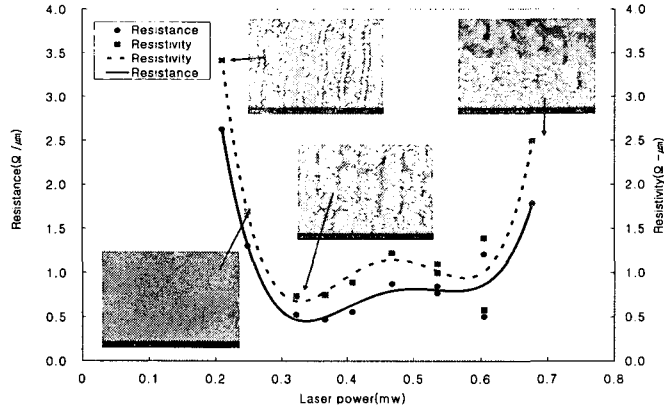


Fig.5 Electrical properties and surface morphology of the tungsten patterns with respect to laser power (scan speed:  $3\mu\text{m/s}$ )

Fig.5는 레이저 출력에 따른 증착물의 전기적 성질과 표면형상을 보여준다. 위 실험 결과를 보면 형상이 좋다고 해서 전기적 성질이 좋은 것은 아니다. 형상은 0.25mW 영역에서 좋게 나타나는 반면, 전기적 특성은 이보다 높은 영역의 레이저 출력에서 좋게 나타난다. 한편 레이저 출력이 낮은 곳에서는 저항값이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 레이저 출력이 증가함에 따라 저항값의 변화가 적은 부분이 존재하다가 0.7mW 이상에서 다시 저항값이 증가함을 볼 수 있다. 한편 반도체 공정의 CVD에 의한 증착의 경우 높은 온도에서 증착시킨 증착물이 그렇지 않은 것보다 전기적 성질이 좋으며, 너무 높은 온도에서 증착시킨 증착물에 대해서는 큰 결정물들의 형성에 따른 결정들 간의 저항 증가가 나타나는 것으로 보고되고 있다.[4] 따라서 좋은 형상과 우수한 전기적 성질을 가지는 패턴을 제조하기 위해서는 우수한 형상이 나오는 범위 내에서 가능한 높은 레이저 출력을 가지는 공정 조건이 필요할 것으로 보인다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 LCD 모니터용 유리 기판 회로수정을 위해 레이저 국소증착의 원리를 이용하여 유리 샘플위에 미세 텅스텐 패턴을 제조 하였으며, 레이저 출력과 이송속도 등에 따른 형상변화 특성 및 전기적 성질에 대하여 조사하였다. 이러한 결과들을 통해 레이저 출력과 이송속도의 적절한 조절로 원하는 형상과 비교적 우수한 전기적 성질을 가지는 텅스텐 패턴을 제조할 수 있었으며, 실제 LCD 수정 장비에서 원하는 특성을 가지는 텅스텐 증착 공정을 개발하였다.

#### V. 참고문헌

1. D. Bauerle, "Laser Processing and Chemistry" 2nd, Springer-Verlag, pp337~393, 1995
2. Thomas H. Baum, Paul B Comita, "Laser-induced chemical vapor deposition of metals for microelectronics technology" Thin Solid Films, Vol. 218, pp 80-94. 1992
3. S. D. Allen, "Laser chemical vapor deposition of selective area Fe and W films", J. Appl. Phys, Vol. 54, No. 3, pp. 1641-1643, 1983
4. H. H. Gilgen, T. Cacouris, P. S. Shaw, R. R. Krchnavek, and R. M. Osgood, "Direct writing of metal conductors with near-uv light", Appl. Phys. B, Vol. 42, pp55-66, 1987