

마이크로 및 나노구조 제조를 위한 레이저 직접묘화기술의 응용 Fabrication of Micro and Nano Structures Using Laser Direct Writing Technique

박종복¹, *정성호¹, 정문석²

J. B. Park¹, *S. H. Jeong(shjeong@gist.ac.kr)¹, M. S. Jeong²
¹광주과학기술원 기전공학과, ²광주과학기술원 고등광기술연구소

Key words : Direct writing, LCVD, Circuit repair, Carbon nanotubes

1. 서론

레이저 직접묘화 기술(laser direct writing)은 집속된 레이저 빔의 에너지를 이용하여 시편의 국소적인 영역에 다양한 형태의 마이크로 및 나노구조를 복잡한 공정 없이 제조하는 기술로써 적은 수량의 다양한 패턴을 신속하게 제조하는데 매우 적합하다¹. 레이저 직접묘화기술은 레이저가 가지는 고유한 특성인 결맞음, 단색성, 집속성, 지향성, 무관성(no-inertia), 제어성, 화학적 순수성, 가공 접근성(machining accessibility) 등의 특징을 최대한 활용할 수 있으며, 이에 따라 레이저 유도에칭(laser-induced etching)^{2,3}, 마이크로 광조형(microstereolithography)⁴, 레이저 국소증착(laser-induced chemical vapor deposition)⁵⁻⁸ 등 다양한 형태의 기술들이 미세구조물 제조 응용을 위해 개발되고 있다. 레이저 국소증착은 시편 위에 다양한 형태의 물질을 증착하는 화학기상증착(chemical vapor deposition)의 원리를 이용하여 마이크로 구조뿐만 아니라⁶ 최근에는 탄소나노튜브(carbon nanotube; CNT)와 같은 나노구조체의 직접묘화가 시도되고 있다^{7,8}. 레이저 국소증착 공정을 이용한 마이크로구조 제조는 주로 PVD(Physical Vapor Deposition)공정으로는 증착이 어려운 금속물질을 다양한 재질 위에 용이하게 증착시킬 수 있다는 장점과 우수한 증착물의 결합도, 전기 저항도(resistivity), 순도 등의 장점을 갖추고 있어 미세 회로수정(circuit repair)이나 마스크수정(mask repair)과 같은 2 차원 패턴제조 및 마이크로 3 차원 구조물 제조, 마이크로 전자소자 제조에의 응용을 위한 많은 연구가 이루어져 왔다⁶. 특히 결합이 있는 전자 회로의 수정에 응용될 수 있는 금속물질의 직접묘화에 대한 연구는 지난 20 년간 꾸준히 이루어지고 있는데, 주로 레이저 빔이 반응물질을 분해하는 과정에서 생성된 증착물의 특성 및 반응물질(precursor or reaction gas), 레이저 빔의 파장, 출력, 이송속도 및 기질(substrate material)등의 공정변수가 증착특성에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되어 오고 있다. 그러나 연구에 따라 공정조건이 최종 증착물의 특성에 영향을 미치는 정도 및 증착 양상에 차이를 보이고 있어 특정 응용분야의 회로 패턴 수정에 적용하기 위해서는 보다 많은 연구가 요구되고 있다.

최근에는 레이저 국소증착법을 이용하여 우수한 재료적 특성을 가지며 다양한 분야로의 응용이 가능한 탄소나노튜브와 같은 나노구조체를 시편의 원하는 위치에 제조 하려는 다양한 시도가 진행되고 있다^{7,8}. 레이저 국소증착을 이용하여 탄소나노튜브와 같은 나노구조체를 성장시키기 위해서는 먼저 금속나노입자(metal nanoparticles)인 촉매(catalysis)를 기판에 형성한 후 직접묘화를 실시한다. 그러나 레이저 국소증착법을 이용한 탄소나노튜브의 제조에 관한 연구결과는 일반적인 화학기상증착 방법에 비하여 균일성, 밀도, 순도가 상대적으로 매우 낮은 수준이며, 균일성과 높은 정밀도를 가지는 탄소나노튜브의 직접묘화는 아직 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는 레이저 국소증착을 이용한 마이크로 및 나노구조 제조의 예로 TFT-LCD 회로수정을 위한 마이크로 텅스텐 패턴 및 촉매 시편을 이용한 탄소나노튜브 패턴의 직접묘화에 대하여 기술하였다.

2. 마이크로 텅스텐 패턴 제조

Figure 1 은 레이저 국소증착을 이용해 마이크로 텅스텐 패턴을 제조하기 위한 계략도이다. 실험에 사용된 레이저는 근자외선 영역의 355nm 의 중심파장을 가지며 최고 10 KHz 의 펄스 반복율을 가지는 Nd:YLF 레이저이다. 레이저에서 나온 빔은 빔 확대기를 거치고 거울을 통과 한 후 현미경용 대물렌즈를 통과하여 Fig.1 과 같이 유리시편에 조사된다.

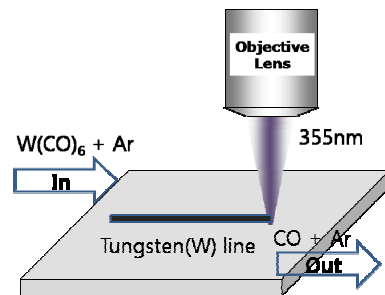
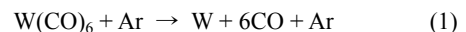


Fig. 1 Illustration of the laser direct writing of tungsten pattern

텅스텐 금속 패턴을 직접묘화 하기 위한 반응물로 텅스텐카보닐[W(CO)₆]이 사용되었으며, 이송가스(carrier gas)는 아르곤(Ar) 가스가 사용되었다. 텅스텐카보닐을 반응챔버로 공급해 주면서 집속된 레이저 빔을 조사하면 유리 표면부근에 아래 식과 같은 반응을 통해 텅스텐 증착물이 생성된다⁵. 이때 이송계 이용하여 시편을 이동시키면 유리시편에 원하는 형태의 패턴을 형성할 수 있다.



식(1)의 분해반응은 샘플 표면의 직접적인 가열에 의한 열분해 반응에 의해 일어나거나 또는 자외선 빛을 사용하여 텅스텐카보닐의 광자흡수에 의한 광분해 반응에 의해 일어날 수 있다. 이러한 열분해반응과 광분해 반응 메커니즘은 레이저 국소증착의 실제 적용 시 중요하게 고려되어야 한다. 본 연구에서는 근자외선 영역의 레이저에 의한 텅스텐카보닐의 광분해 및 시편 표면에서의 열분해 반응이 동시에 일어남으로써 기판의 손상을 일으키지 않으면서 텅스텐 금속 패턴을 제조할 수 있는 직접묘화 공정을 개발하였다.

Figure 2 는 레이저 출력 0.249mW, 이송속도 3 μm/s 에서 선폭 8 μm 와 높이 0.2 μm 의 우수한 표면 품질을 갖는 텅스텐 패턴 제조 예를 보여주고 있으며 이렇게 제조된 텅스텐 패턴의 전기적 특성이 TFT-LCD 기판의 회로수정을 위한 응용에 적합함이 검증되었다.

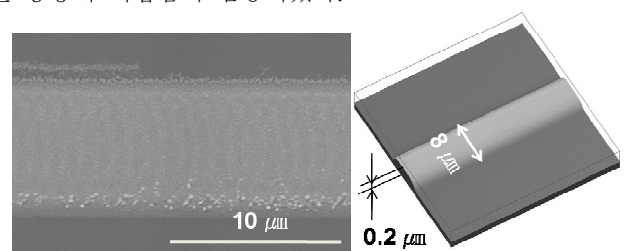


Fig. 2 SEM picture (left) and 3D image (right) of the deposited micro-tungsten patterns

결론적으로, 레이저 국소증착을 이용한 마이크로 텅스텐 패턴의 제조에 관한 연구에서는 레이저 출력 및 이송속도의 제어를 통하여, 회로수정에 적합한 전기 저항과 표면 형상을 가지는 텅스텐 금속 패턴이 직접묘화 기술로 제조되었으며, 이러한 연구를 바탕으로 최종적으로 Fig. 3에서와 같이 TFT-LCD 기판의 열손상 없이 회로수정에 성공적으로 적용되었다.

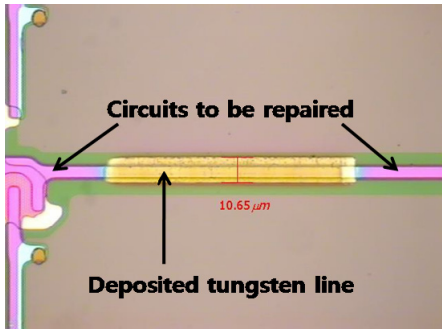


Fig. 3 Example of the tungsten interconnect deposited on TFT-LCD glass

3. 탄소나노튜브 패턴 제조

레이저 국소증착을 이용한 탄소나노튜브의 직접묘화를 위해서는 우선 일반적인 화학기상증착법에서와 같이 금속 나노입자 촉매를 시편 위에 형성시켜야 하며 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 투명 기판 위에 수백 나노 두께의 다중 촉매층(Ni/Al/Cr)을 스퍼터링 공정을 이용하여 증착시켰다. 촉매층이 형성된 시편을 반응 챔버 안에 놓은 후 Fig. 4와 같이 레이저 빔은 투명기판의 뒤쪽을 통하여 Cr 층으로 입사하게 한다. 이때 광 흡수 층인 Cr 층은 광-열반응을 일으키게 되고, 이때 발생하는 열에 의하여 반응가스인 CxHx와 H₂가 촉매인 Ni 층과 반응하여 나노튜브가 성장하게 된다. 여기에서 Al은 광-열반응시 촉매 입자인 Ni의 소결현상(sintering)을 방지하여 나노튜브 성장에 적합한 촉매를 형성하기 위하여 사용되었다.

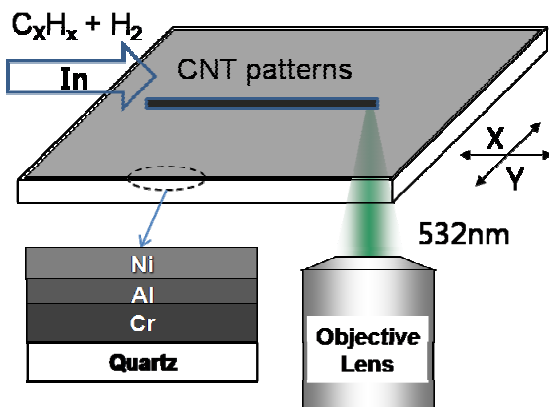


Fig. 4 Illustration of the laser direct writing of CNTs using LCVD with multiple catalyst layers

Figure. 5는 Fig. 4와 같은 접근 방법을 이용하여 샘플 위에 직접묘화 된 카본나노튜브로 이루어진 선 패턴과 그것의 확대된 전자주사현미경 이미지를 보여주고 있다. 위와 같이 성장된 카본나노튜브 패턴은 라만(Raman) 분광법 및 투과전자현미경을 통하여 다중벽나노튜브(multi-walled carbon nanotubes; MWCNTs) 구조임이 확인되었다.

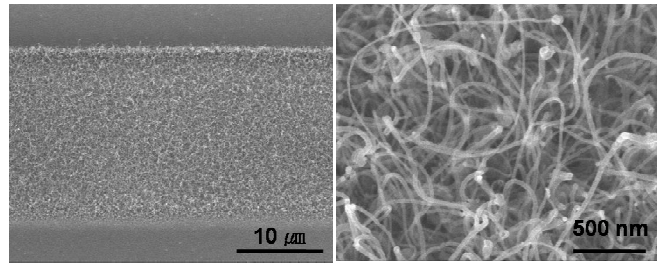


Fig. 5 SEM picture of the line pattern of CNTs (left) and its magnified view (right)

4. 결론

레이저 직접묘화 기술인 레이저 국소증착 공정을 응용하면 회로수정을 위한 텅스텐 패턴과 같은 마이크로 구조의 제조가 가능하며, 촉매가 형성된 시편을 이용하여 우수한 재료적 특성을 가지는 카본나노튜브와 같은 나노구조체의 제조도 가능하다. 따라서 이러한 레이저 국소증착 공정의 기본 개념을 이용하여 시편의 원하는 위치에 다양한 물질의 마이크로 및 나노구조체의 직접묘화가 가능할 것으로 판단되며, 디스플레이 소자 및 센서와 같은 분야에의 활용이 기대된다.

참고문헌

1. Madou, M. J., "Fundamentals of Microfabrication-The Science of miniaturization 2nd," CRC press, Boca Raton, 2002.
2. Oh, K. H., Lee, M. K., and Jeong, S. H., " Design and fabrication of a metallic micro heat pipe based on high-aspect-ratio microchannels" Journal of Heat Transfer Engineering, **28**, 772-779, 2007.
3. Oh, K. H., Lee, M. K., and Jeong, S. H., "Laser micromachining of high-aspect-ratio metallic grooves for application to microthermal devices," J. Micromechanics and Microengineering, **16**, 1958-1966, 2006.
4. Kim, S. H., Jung D. J., Joo J. Y., and Jeong, S. H., "Modification of the curing characteristics of the photocurable resin FA1260T for 3D microfabrication using microstereolithography" Key Engineering Materials, **326**, 107-110, 2006.
5. Bäuerle, D., "Laser Processing and Chemistry," 2nd Ed., Springer-Verlag, 1995.
6. Park, J. B., Kim, C. J., Shin, P. E., Park, S. H., Kang, H. S. and Jeong, S. H., "Hybrid LCVD of micro-metallic lines for TFT-LCD circuit repair" Applied Surface Science., **253**, 1029-1035, 2006.
7. Chen, Z., Wel, Y., Luo, C., Jiang, K., Zhang, L., and Gao J., "laser direct writing carbon nanotube arrays on transparent substrates" Applied Physics Letter, **90**, 133108, 2007.
8. Kasuy, K., Nagato, K., Jin, Y., Morii, H., Ooi, T., and Nakao M., "Rapid and localized synthesis of single-walled carbon nanotubes on flat surface by laser-assisted chemical vapor deposition" Japanese Journal of Applied Physics, **46**, L333-335, 2007.