

제팅밸브를 이용한 탄소나노튜브의 미세패터닝기술

Carbon nanotube micro patterning using jetting valve for lab-on-a-chip

손문탁¹, 손규용², 전창원³, *#권혁홍⁴

S. M. Son(muntak@yahoo.com)¹, G.Y. Son², C.H. Jeon³, *#H.H. Kwon(hhkwon@daejin.ac.kr)⁴

¹ 바이오룩스, ² 카본나노텍, ³ 지엔테크, ⁴ 대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

Key words : micropatterning, carbon nanotube, lab-on-a-chip, jetting valve, fiber laser

1. 서론

랩언어칩은 화학분석을 수행하는 마이크로칩으로서 유체와 전자, 기계, 광학적인 요소가 동시에 집적되어 있다. 최근 랩언어칩에도 유연한 필름형 구조가 선호되고 있는데, 낮은 원가와 롤투롤공정이 갖는 높은 생산성 때문이다. 랩언어필름칩의 기저필름재료로 ITO 필름이 사용된다. ITO막은 친수성막으로서 미세유로에 모세관힘을 부여하여 액체를 이송시킬 수 있을 뿐 아니라, 바이오센서부위에서 발생한 전류신호를 유도하는 도전성 패턴역할도 하기 때문에 편리하다.

ITO 필름 위에 유로를 형성하기 위해 드라이 포토 레지스트필름을 핫롤러를 이용하여 적층하고, 자외선으로 노광하여 현상한 다음, 그 위에 접착테이프를 발라 유로를 제작하는 방식이 사용되고 있다.

ITO 필름에 전극을 형성하기 위해 광식각을 이용한 습식에칭을 주로 사용하는데, 에칭과정에서 ITO 전극이 오염되는 문제점이 있었다. 최근에는 간편한 건식 패터닝방법으로 레이저가공이 선호되고 있다. 본 연구에서도 레이저를 이용하여 전극을 식각하였다.

ITO막은 전기전도성이 있고 수용액에서 안정하지만 촉매활성이 낮아 효소나 면역분석의 검출대상인 과산화수소를 잘 산화시키지 못한다. 그러므로 ITO 전극 표면에는 촉매물질을 도포하여 산화력을 높여 주어야 한다. ITO막의 표면개질제로 탄소나노튜브가 적합하다는 연구가 보고되고 있다. 탄소나노튜브는 에지부분에 전기장이 집중되므로 과산화수소에 대한 강한 산화력을 갖는 것으로 추측되고 있다.

문제는 미세한 유로 바닥에 있는 ITO 전극위에 정확하게 탄소나노튜브 도포하는 방법이다. 우리는 제팅밸브기술을 이용하여 탄소나노튜브를 랩언어필름칩에 패터닝하는 기술을 연구하였다.

2. 제작

0.18mm 두께의 ITO 필름(카노텍, Korea) 을 파이버 레이저마킹기(laser source:SPI, USA, scanner: ScanLab, UK)에 올려놓고 오토캐드로 설계한 전극패턴을 식각하였다. 레이저과위를 낮추고 스캔속도를 속도를 빨리하는 방법으로 기저의 페트필름을 필름을 변형시키지 않고 ITO 막만 식각하였다.

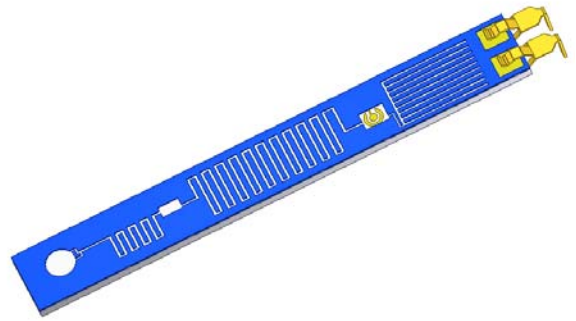


Fig. 1 Lab-on-a-film chip

식각한 페트필름위에 드라이포토레지스트를 핫롤러(Hot Roller)를 이용하여 적층하였고, 레이저프린터로 유로패턴을 투명 OHP 필름에 인쇄한 포토마스크를 그 위에 올리고, 자외선을 조사하였다. 탄산소다용액으로 현상한 다음 Fig. 1 과 같은 랩언어필름칩을 얻었다.

탄소나노튜브를 용제에 녹이고, 바인더를 첨가하여, 다양한 점도를 갖는 도전성 잉크형태로 만들었다. 3D 직교좌표 로봇을 제작하여(지엔테크, Korea) 제팅밸브(EFD, USA)를 Z 축에 장착하고 컴퓨터로 제어하여 특정위치에 정확하게 Drop-on-demand 방식으로 탄소나노튜브(카본나노텍, Korea)를 전극부위에 정확하게 점적하게 하였다. 완성된 랩언어필름칩은 광학현미경과 전자현미경으로 분석하였다

3. 결과 및 토의

ITO 박막을 파이버레이저로 식각하고 광학 현미경으로 분석해보니 약 70 미크론 폭으로 식각됨을 알았다. 레이저 빔의 강도를 잘못 조절하면 기저부의 페트필름이 변형되어 백색으로 부풀어오르는 현상도 발견되었다(Fig. 2). 식각된 부분의 저항은 무한대로 측정되었다.

한편 제팅밸브를 이용하여 탄소나노튜브를 점적할 때의 조건은 0.3ms(제팅시간), 4ms(대기시간)이었고, 펄스전압은 300V 였다. 이중에서 제팅타임이 점적현상에 매우 큰 영향을 미침을 알게 되었다.

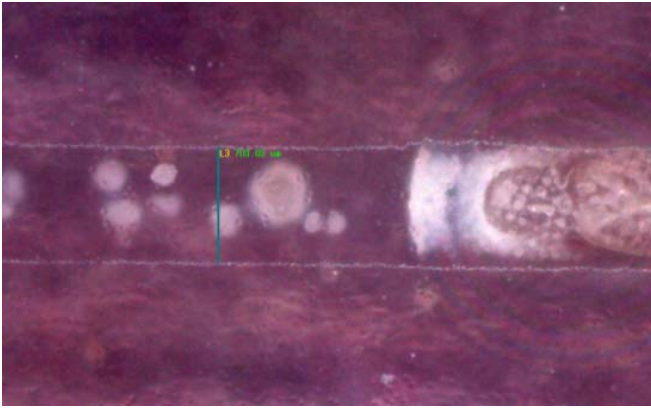
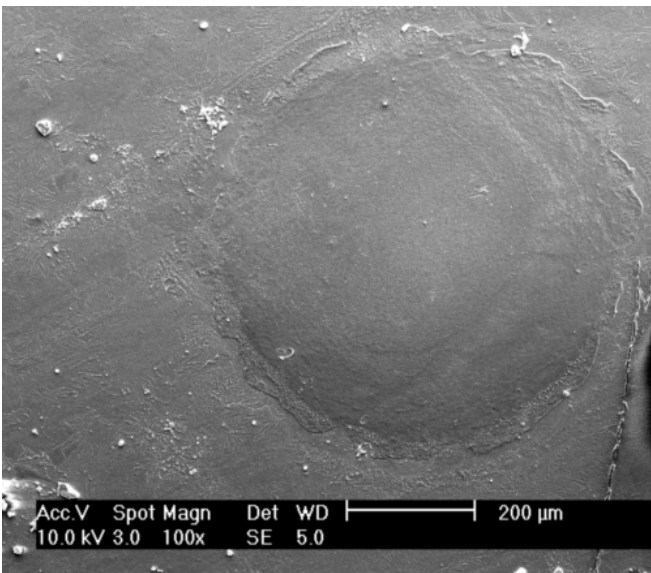


Fig. 2 파이버레이저로 식각한 ITO박막.

제팅시간을 0.8ms 로 하여 점적을 하면 탄소나노튜브가 원의 중심에 있지 않고 원주를 따라 모이는 현상이 발견되었다. 제팅타임을 0.3ms 로 점적하니 탄소나노튜브가 원의 중심에 모이면서 둥근뿔 형상을 이루었다.



제팅시간에 따른 이러한 변화는 점적된 탄소나노튜브 잉크의 부피와 관계있는 것으로 추측된다. 제팅타임을 작아지면 부피도 작아지고 그만큼 용매의 휘발이 빨라져서 점성이 커지면서 탄소나노튜브가 중심부에 몰리는 것으로 해석할 수도 있다.

점적된 원의 크기는 약 400-500 미크론이며 이는 랩언어필름칩의 전극부분의 직경이 1500-2000 미크론임을 감안하면 3-4 회 겹쳐 점적하는 것으로 ITO 전극 표면을 탄소나노튜브로 도포할 수 있었다.

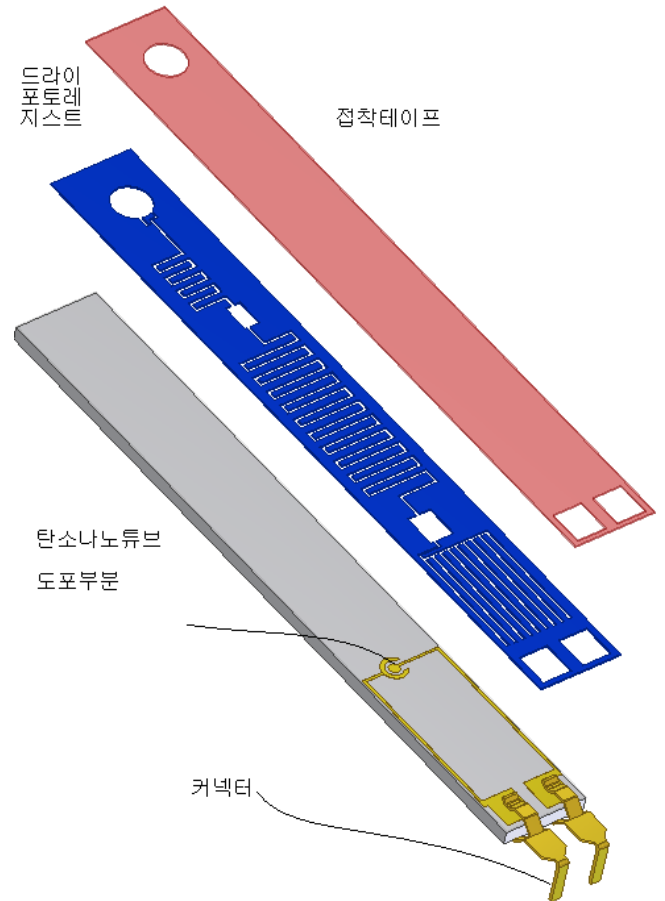


Fig. 3 랩언어필름칩의 구조. 기저필름은 PET-ITO 필름. 파이버레이저로 식각.

4. 결론

랩언어필름칩을 제작하는 과정에서는 탄소나노튜브를 특정위치에 정확하게 도포하는 것이 필요하다. 제팅밸브를 3D 직교좌표 로봇에 장착하여 점적하면 약 400-500마이크론 폭의 미세한 원형패턴을 정확한 위치에 도포할 수 있었다. 제팅밸브는 잉크젯과 달리 고점도의 액체를 점적할 수 있어 탄소나노튜브의 바인더 배합에 자유도를 크게 해주는 장점이 있다.

참고문헌

1. Yavas, O. and Takai, M. "High-speed maskless laser patterning of indium tin oxide thin films", . Appl. Phys. Lett. Vol. 73, p2558, 1998.
2. Vulto, P. et al. "Microfluidic channel fabrication in dry film resist for production and prototyping of hybrid chips", Lab Chip, Vol. 5, pp158 – 162, 2005.
3. Lin, Y. et al. "Advances toward bioapplications of carbon nanotubes", J. Mater. Chem., Vol. 14, pp 527 – 541, 2004.