

잉크젯 기술과 표면처리 기술을 이용한 나노 실버 잉크 프린팅

신권용, 이상호, 김명기, 강희석, 황준영, 박문수, 강경태
한국생산기술연구원

Printing of Nano-silver Inks with Ink-jet Technology and Surface Treatment

Kwon Yong Shin, Sang-ho Lee, Myong Ki Kim, Heuseok Kang, Jun-young Hwang, Moonsoo Park, Kyungtae Kang
Korea Institute of Industrial Technology

Abstract - In this study, characteristics of silver ink-jet printing were investigated under various substrate treatments such as substrate heating, hydrophobic coating, and ultraviolet(UV)/ozone soaking. Fluorocarbon(FC) film was spin-coated on the polyimide (PI) film substrate to obtain a hydrophobic surface. Although hydrophobicity of the FC film could reduce the diameter of the printed droplets, the singlet images printed on the FC film surface showed irregularities in the pattern size and the position of the printed droplet along with droplet merging phenomenon. The proposed UV/ozone soaking of the FC film improved the uniformity of the pattern size and the droplet position after printing and substrate heating was very effective way in preventing droplet merging. By heating of the substrate after UV/ozone soaking of the coated FC film, silver conductive lines of 78 - 116 μm line were successfully printed at low substrate temperatures of 40°C.

1. 서 론

전통적인 전자산업에서 패턴을 형성하는 방식은 원하는 물질을 증착 후 사진공정(photolithography)을 통하여 원하는 패턴의 감광제 식각마스크(etch mask)를 형성한다. 습식 식각이나 건식 식각공정을 통하여 불필요한 부분은 식각해서 없애고 최종적으로 감광제 식각 마스크를 제거하여 원하는 물질의 패턴을 얻게 된다[1]. 최근에 소개된 잉크젯 프린팅 기술은 나노 잉크를 이용하여 사진공정과 식각공정을 이용하지 않고, 직접적으로 나노 잉크를 분사하여 패턴을 형성하는 방법으로, 패턴링 공정을 단순화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 각종 전자 산업의 환경 오염물을 획기적으로 줄일 수 있는 친환경 기술이다. 특히, OLED, O-TFT, RF-ID, PCB 분야 등 다양한 전자 산업분야의 제조기술로써 응용하고자, 전도성고분자나 실버(silver) 나노 파티클 잉크를 이용한 전도성 라인 패턴링(line patterning)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3]. 잉크젯 프린팅 기술을 전자 산업의 패턴링 공정으로 도입하기 위해서는 최소선폭 구현에 대한 연구가 매우 중요하다. 최소선폭 구현에 있어 잉크의 점도, 잉크 노즐의 직경, 기판과 잉크간의 젖음성(wettability), 노즐분사제어 등이 주요변수들로 작용한다.

본 논문에서는 소수성필름 코팅, UV-오존 처리, 기판의 온도조절을 통한 표면에너지 제어를 통하여 다양한 기판의 표면 상태를 구현하였으며, 이에 따른 잉크젯 프린팅의 특성을 평가하고 기판의 표면처리조건 간의 상호 상관관계에 대한 연구에 초점을 맞추었다.

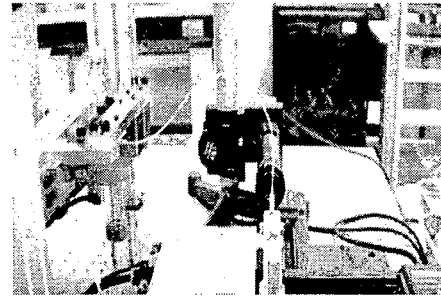
2. Ink Jetting 실험

2.1 실험 장치 및 재료

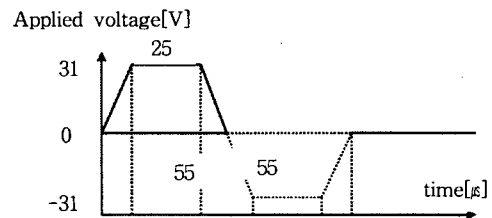
본 실험을 위하여 기판은 내열성이 강한 폴리이미드(PI) 필름을 사용하였으며, 분사를 위한 실버잉크는 에탄올 용액에 직경이 20nm 인 실버 파우더가 30wt%로 함유된 전도성 잉크 (Daejoo Electronic Materials Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다. 분사 장비는 MicroFab(Plano, TX, USA)사의 50 μm 직경의 싱글노즐 시스템을 사용하였으며, 스테이지는 PTC 온도조절 장치를 일체화하여 작동 온도를 제어할 수 있도록 하였다. 분사된 잉크 액적을 관찰하기 위해 잉크젯 구동용 신호와 동기 된 고휘도 LED 광원 및 CCD 카메라를 이용하여 전기적인 구동신호에 따른 액적의 크기, 속도, 캐각 등의 분사 특성을 관찰하였다. <그림 1>은 본 실험을 위한 잉크 분사 시스템과 노즐 구동을 위한 전압 인가 파형을 나타낸다[4].

2.2 실험 방법

기판의 표면을 소수성화 하기 위해 스펠코팅 장치를 이용하여 fluorocarbon(FC) 용액을 코팅 하였다[5]. 표면에너지를 변화시키기 위해 소수성 코팅 후 기판을 UV-오존 처리하였으며, 소수성 코팅한 기판의 UV-오존 처리 시간에 따른 표면에너지의 변화를 관찰



(a)



(b)

<그림 1> (a)잉크 분사 시스템, (b)노즐 구동을 위한 전압인가 파형

하기 위하여 접촉각을 측정하였다. UV-오존 처리를 마친 기판은 PTC 온도조절 장치를 이용하여 기판의 표면 온도를 40°C로 유지하며, 잉크 분사 시스템을 이용하여 실버잉크를 분사 하였으며, 실버잉크 분사 완료 후 오븐에서 30분 동안 sintering 하였다. 실버잉크 분사 시 분사되는 액적의 크기와 관련하여 라인 형성 여부를 확인하기 위해 분사 주파수를 조절하는 방법으로 분사되는 액적 간의 중심간 거리를 조절하면서 분사 실험을 수행하였다.

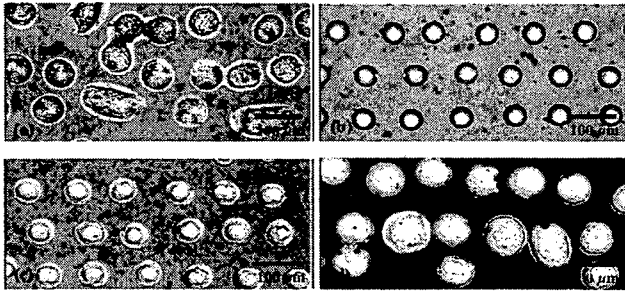
3. 결과 및 토의

<표 1>은 상온에서 소수성 코팅 전·후 및 소수성 처리한 기판을 각각 180s 와 420s 동안 UV-오존 처리 하였을 때 접촉각과 표면에너지의 변화를 보여준다. 기판의 소수성 코팅에 의해서 접촉각이 증가하므로 분사된 잉크는 미세한 패턴의 형성 가능성을 보여주었다. 그러나 코팅한 기판의 표면은 표면에너지가 낮기 때문에 기판에 대한 잉크의 젖음성은 떨어지게 된다. 본 논문에서는 표면에너지를 증가시키기 위해서 소수성 코팅한 기판에 UV-오존 처리를 하였다. 소수성 코팅한 기판을 UV-오존 처리하게 되면 일정시간 이후 접촉각이 점점 감소하고, 표면에너지는 증가함을 알 수 있었다.

<표 1> 폴리이미드 필름에 대한 소수성 코팅 전후 및 UV-오존 처리 후 접촉각과 표면에너지의 변화

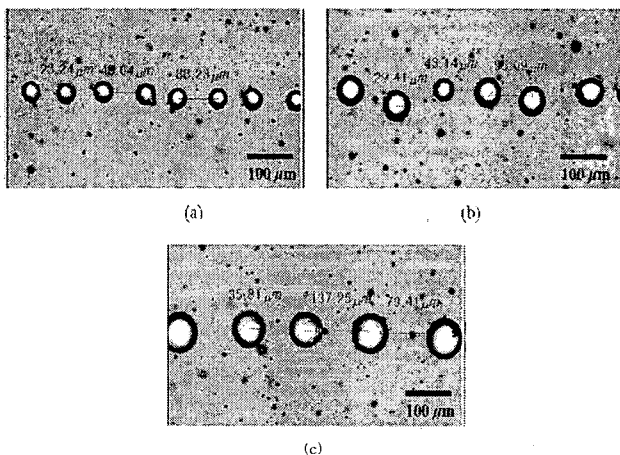
	소수성 코팅 전	소수성 코팅 후	소수성 코팅 후 180초 UV-오존 처리	소수성 코팅 후 420초 UV-오존 처리
difluoromethane 접촉각[°]	14.70	96.42	96.43	20.95
표면에너지 [dyne/cm]	56.12	11.44	11.23	54.94

<그림 2>는 기판의 온도를 상온으로 유지하고 기판을 소수성 처리한 상태에서 UV-오존 처리 시간을 변화 시키면서 패턴의 액적 거동의 변화를 관찰하였다. 상온에서 기판을 소수성 코팅한 후 잉크를 분사 하게 되면, 액적의 인쇄패턴이 불규칙하고, 액적간의 뭉치는 현상이 나타났다(<그림 2(a)>). 이는 소수성 코팅 후 기판의 표면 에너지가 감소하여, 기판에 대한 접촉각이 커지고 잉크의 기판에 대한 점착력이 감소하여 나타나는 현상으로 판단된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 UV-오존 처리를 통해, 기판의 친수성과 표면 에너지를 증가시키는 시도를 하였다. <그림 2(b-d)>에서 볼 수 있듯이 이로 인해 액적의 모양이 규칙적으로 인쇄 되었으며, 액적들 간의 뭉침 현상도 방지할 수 있었다. 이는 잉크 분사 시 표면에 대한 잉크 드랍의 접촉각이 증가하고, 잉크의 점착력이 증가하여 패턴이 규칙적으로 형성된 것으로 판단된다. UV-오존 처리시간을 증가할수록 측정된 패턴의 크기는 53 μm , 63 μm , 80 μm 으로 차례로 증가한다.



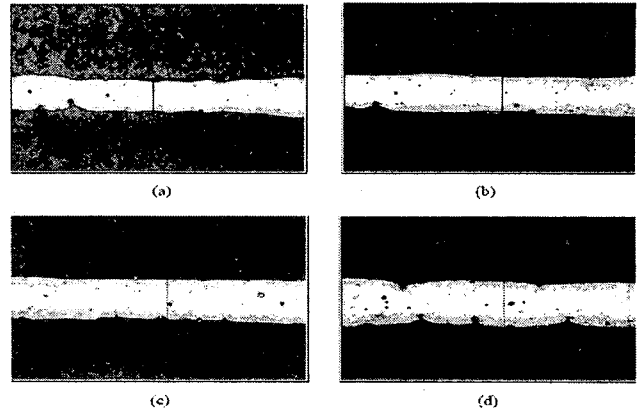
<그림 2> 테프론 코팅 후 UV-오존 처리 시간에 따른 인쇄된 액적 패턴의 변화; (a) UV-오존 처리 전; (b) UV-오존 처리 180초 후; (c) UV-오존 처리 420초 후; (d) UV-오존 처리 540초 후. (기판 온도: 상온)

잉크젯 프린팅 기법을 이용한 미세 라인 패턴을 구현하기 위해서는 인쇄 시 액적을 겹쳐서 라인을 형성하게 된다. 일정 UV-오존 처리 시간 후 액적 간 간격(drop pitch center-to-center)을 감소시키면서, 인쇄된 패턴의 현상을 관찰하였다. <그림 3>은 소수성 코팅 후 180초 동안 UV-오존 처리한 후 잉크젯 패턴링한 결과이다. 결과로부터, 분사 간격이 줄어들면서 기판 위 패턴링된 액적간의 뭉침 현상을 관찰할 수 있었다. 즉 라인 패턴이 이미 형성되었어야 할 drop pitch가 40 μm 로 감소했음에도 불구하고, 라인 패턴의 형성됨 없이 뭉침현상으로 커진 액적 패턴만을 관찰할 수 있었다. 표면에너지가 급격히 증가하는 시점(<표 1> 참조)인, 420초 이후에도 패턴간의 뭉침 현상이 여전히 관찰되었다.



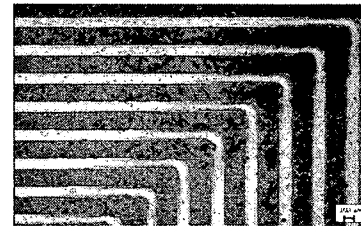
<그림 3> 상온에서 분사 간격 감소에 따른 인쇄 패턴의 변화; (a) 80 μm ; (b) 57 μm ; (c) 40 μm (UV-오존 처리시간: 180초)

<그림 4>는 테프론 코팅하고 UV-오존 처리시간이 180초이며, 기판 가열온도가 70 $^{\circ}\text{C}$ 일 때, drop pitch center-to-center 변화에 따른 인쇄 라인 패턴의 형상 변화를 나타낸다. 본 연구에서 새로이 제안하게 될 소수성 코팅 후 UV-오존 처리와 기판가열을 복합하여 잉크젯 인쇄 공정을 수행했을 경우 기판에 대한 잉크의 점착력을 강화하고 드랍 간의 뭉침 현상을 억제하며 뿐만 아니라 라인 선폭을 제어할 수 있음을 알 수 있었다. Drop pitch center-to-center가 80 μm 에서 50 μm 까지 감소함에 따라 라인 선폭은 78 μm 에서 116 μm 까지 증가함을 알 수 있다. 이에 제안된 복합 기판 처리법이 잉크젯 인쇄기법을 이용한 미세라인 형성에 매우 효과적인 방법이라는 것을 뒷받침한다.



<그림 4> UV-오존 처리시간이 180 초, 기판온도 70 $^{\circ}\text{C}$ 일 때, 잉크젯 분사 주파수 / drop pitch center-to-center 에 따른 패턴의 형상 변화: (a) 80 μm ; (b) 67 μm ; (c) 57 μm ; (d) 50 μm .

<그림5>는 위 세 가지 요소를 결합하여 인덕터 제작 가능성을 보기 위하여 기판을 소수성 코팅한 후 UV-오존 처리 시간을 420s 동안 하고 기판의 표면 온도를 70 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면서 Drop pitch를 50 μm 로 하여 분사한 선폭 100 μm , 라인 간격 150 μm 로 인쇄된 선들의 현미경 사진을 보여준다.



<그림 5> 라인 선폭 100 μm , 간격 150 μm 인 광학현미경 이미지

4. 결 론

본 논문에서는 기판의 소수성 코팅과 UV-오존 처리 시간에 따른 표면에너지 제어와 기판 가열을 통하여 다양한 기판의 표면 상태에 따른 잉크젯 프린팅의 특성을 평가하였다. 소수성 코팅 후 접촉각이 커지고, 기판의 표면에너지가 낮아져 실버 잉크의 기판에 대한 젖음성이 감소하는 문제를 해결하기 위하여 소수성 처리한 기판을 UV-오존 처리함으로써 기판의 표면에너지를 증가시켜 젖음성을 향상시켰으며, 기판의 표면온도 조절에 의해 액적의 흠어짐이나 뭉침 현상을 효과적으로 방지할 수 있었다. 또한 라인 패턴을 얻기 위하여 본 논문에서 제안된 소수성 코팅 및 UV-오존 처리와 기판의 표면온도 조절을 복합적으로 적용하여 성공적으로 선명한 라인 패턴을 인쇄할 수 있었다.

5. 후 기

본 연구는 산업자원부 청정생산기술개발 프로젝트의 연구비 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Kuei, C. C., "Geometrical pattern effect on silicon deep etching by an inductively coupled plasma system", *Journal of micromechanics and microengineering*, Vol. 14, No. 4, pp. 656-662, 2004
- [2] Byun, J. H., Seo, D. S., Choi, Y. M., Chang, H. J., Kong, K. J., Lee, J. O., Ryu, B. H., "Fabrication of Silver Micro Lines by Ink-Jet Method", *Journal of Korean Ceramic Society*, Vol. 41, No. 10, pp. 788-791, 2004
- [3] Ahn, D. H., Kwon, H. T., "Situation and Development of inkjet printing technology", *Journal of Korean information display Society*, Vol. 5, No. 3, 2004
- [4] Kim, M. K., Kang, H. S., Kang, K. T., Cho, Y. J., Park, M. S., Kim, Y. J., "The fluid property dependency on ink jetting characteristics", *International Conference on Mechatronics*, pp. 256-260, 2005
- [5] Tang, K. C., Liao, E., Ong, W. L., Wong, J. D. S., Agarwal, A., Nagarajan, R., Yobas, L., "Evaluation of bonding between oxygen plasma treated polydimethyl siloxane and passivated silicon", *Journal of Physics*, vol. 34, PP. 155-161, 2006