

# 잉크젯 인쇄 공정을 이용한 전자 부품용 전도성 배선 제작 Direct Inkjet Printing of Conductive Pattern for the Application of Electronic Devices

\*#박성준

\*#S.-J.Park (park@cjnu.ac.kr)  
충주대학교 기계공학과

Key words : Direct Inkjet Printing, Conductive Pattern, Electronic Devices

## 1. 서론

최근 들어 많은 연구가 진행되고 있는 잉크젯 인쇄기술은 전통적인 제조기술보다 비용과 유지비 측면에 있어 많은 효율성을 가져올 것으로 기대되고 있다.<sup>1</sup> 인쇄회로 기판제조에서 제작단가를 낮춰 수익을 얻기 위해서는 마스크 제작 및 포토리소그래피 등 기존의 인쇄회로기판 제조방법의 극적인 변화를 필요로 한다. 포토 마스크 제작이 필요 없는 잉크젯 인쇄기술은 기판용 적층판에 동박을 에칭하여 전자회로를 형성하는 기존의 기판 제조기술을 대체할 수 있다.<sup>2,3</sup> 동박을 에칭하여 제조하는 공정은 이미 잘 알려진 바와 같이 동박적층판(CCL: Copper Clad Laminate), 포토리소그래피(photo lithography), 에칭(etching), 탈기(stripping), 수세(rinsing), 건조(drying) 공정을 포함한다. 종래의 인쇄회로기판의 제조공법은 에칭공정을 이용하여 절연 기판상에 선택적으로 금속배선을 형성하였다. 이러한 기판 제조공정들은 많은 원자재를 소모할 뿐만 아니라 상당량의 화학 오염 물질들 발생시킨다. 또한, 인쇄회로기판을 제조하는 방법은 마스크의 사용과 복잡한 제조공정 단계 때문에 급속히 변화하는 최신기술변화에 대응하기 힘들다.<sup>4,5</sup> 금속배선형성에 있어서 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 얻을 수 있는 최대의 장점은 원하는 위치에 정확히 나노 금속잉크를 탄착시킬 수 있다는 점이며, 이러한 이유로 제조공정 시 화학물질의 사용량을 줄일 수 있고, 유리기판이나 폴리이미드(polyimide)와 같은 기재 위에 간단히 미세배선을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 잉크젯 인쇄 방식을 이용하여 전도성 배선을 형성하는 개념에 대해서는 Fig. 1에 나타내었다. 잉크젯 인쇄기술은 비접촉 방식으로 컴퓨터 기반시스템과 연계되어 그래픽 소프트웨어를 이용하여 아주 간단한 방법으로 직접인쇄를 수행할 수 있으며, 대면적 인쇄회로배선 구현도 가능하다.<sup>6</sup>

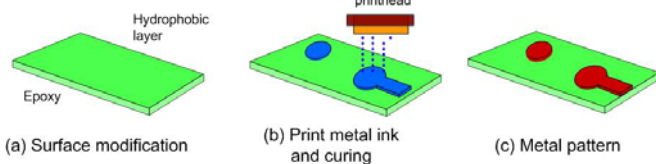


Fig. 1 Direct inkjet printing of nano metal ink

## 2. 실험

### 2.1 잉크

전도성 잉크에 포함된 은(Ag) 나노 입자의 크기는 약 30-50 nm이며 전도성 잉크의 금속함유량은 50 wt%로 조성되어 있다. 점도와 표면장력은 각각 14.4 cPs (25°C기준), 31 dyne/cm (25°C기준)이다. 첨가물로는 에틸렌글리콜(ethylene

glycol)이 미량 함유되어 있다. 액적이 탄착되는 기판은 폴리이미드 필름을 사용하였으며, 인쇄 전 미리 표면세정제(95 % ethanol and 5 % methanol mixture)를 사용하여 세정한 후 인쇄를 진행하였다.

### 2.2 프린팅 시스템

인쇄시 사용한 잉크젯 프린팅 시스템은 Fig. 2에 나타내었다. Spectra사의 인쇄 및 헤드 구동 시스템(Apollo Kit), 이송기능의 XY 스테이지와 액적측정을 위한 부가장치로 구성되어 있다.

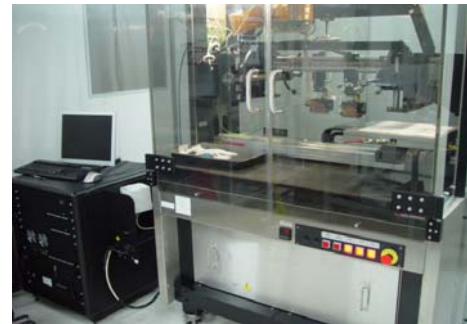


Fig. 2 Printing system

헤드 토출시스템은 DoD(Drop on Demand)방식으로 인쇄 가능한 이미지 파일을 제공하며, 헤드의 토출 주파수와 동기하여 XY 방향으로 이동하면서 인쇄를 실시한다.

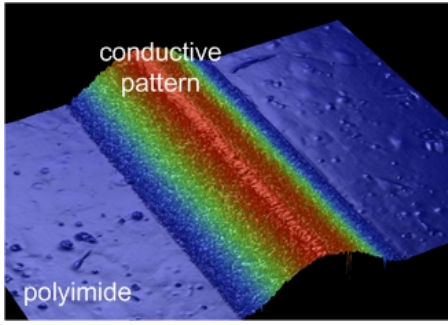
### 2.3 샘플 제작

실험에 사용된 잉크젯헤드는 128 개 노즐로 구성되어 있으며, 노즐 간 간격은 508 μm, 노즐직경은 35 μm이다. 토출액적 크기는 약 30 pl.이며, 헤드의 토출가능한 점도범위는 8-20 cPs이다. 헤드는 XY 방향의 이송부에 장착되며, 헤드에서 토출된 후 기재 위에 탄착된 금속잉크는 250 °C에서 30 분간 열처리를 통하여 소성하였다. 소성이 완료된 샘플은 사양에 적합한 배선 폭, 두께를 형성하며 일정한 전도도를 지닌 배선으로 완성된다.

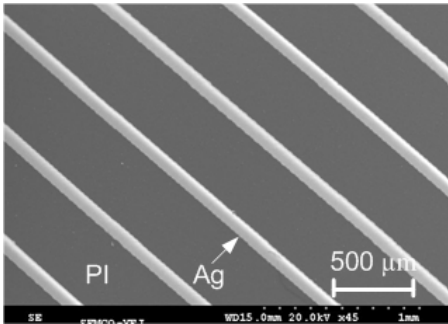
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전도성 인쇄배선 제작

나노 입자를 함유하고 있는 금속 잉크를 잉크젯 인쇄 방식으로 토출하여 배선을 형성한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 잉크젯 인쇄방식의 특성 상 1회 인쇄로는 원하는 두께의 회로를 형성하기가 곤란하므로, 반복인쇄를 통하여 배선 상면의 형태를 균일하게 유지시키는 것과 동시에 선 폭 오차를 최소화 할 수 있는 인쇄 알고리즘을 개발하여 적용하였다.



(a) pattern shape measured by 3D profiler



(b) 75μm wide, 10μm thick silver pattern  
Fig. 3 Inkjet printed micro silver pattern.

### 3.2 전기전도도 측정

은 잉크는 비저항이 1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 로 금속 중에서 저항이 가장 낮다. 그리고 실온에서 산화된 은이 200  $^{\circ}\text{C}$  이상으로 가열하면 자연 환원되어 금속 광택을 다시 찾는 특징이 있다. 소성 거동 실험은 실제 기판에의 적용성을 고려하여 온도를 150  $^{\circ}\text{C}$ , 200  $^{\circ}\text{C}$ , 250  $^{\circ}\text{C}$ 에서 실시하였다. 은 잉크의 경우 154  $^{\circ}\text{C}$ 에서 열분해가 시작되며, 255  $^{\circ}\text{C}$ 에서 더 이상 열분해가 진행되지 않는다. 잉크의 소성시간과 온도에 따른 잉크젯 인쇄 배선의 비저항을 측정된 결과는 Fig.4 에 나타내었다. 250  $^{\circ}\text{C}$ 에서 소성한 경우 시작부터 5 분까지 급격하게 비저항이 떨어져서, 20 분 후 4.2  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  정도를 얻었다. 이는 순수 은 비저항(1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )에 비해 약 2.6 배 수준이다.

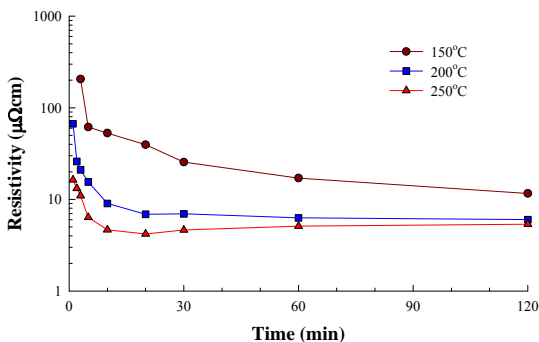


Fig. 4 Resistivity of printed samples with sintering temperature and time

### 3.3 실기판 인쇄

인쇄회로에 있어서 잉크젯 기술의 대면적 인쇄 적용가능성을 실험하기 위해 폴리이미드 상에 금속 나노잉크를 토출하여 실 기판회로를 형성하여 보았다. Fig. 5 는 휴대폰에 실제 사용되는 기판 회로를 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 금속인쇄배선을 형성한 결과이다.

인쇄가 완료된 배선을 열처리하여 전기 전도도를 갖는

실 기판회로를 완성하였다. 이러한 대면적 인쇄회로배선을 실제로 구현함으로써 잉크젯 기술을 이용한 인쇄배선이 산업용 전자기기에 적용 가능함을 확인 할 수 있었다.

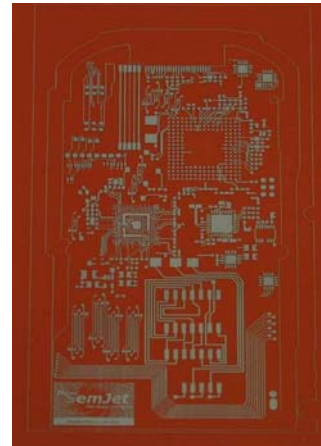


Fig. 5 Actual printed circuit board for mobile phone by inkjet printing

## 4. 결론

본 연구에서는 압전 구동방식의 잉크젯 헤드로 나노 금속잉크를 수-수십 pl. 의 미세 액적 형태로 토출하여 미세 전도성 배선을 구현하였다. 인쇄결과 노즐에서 토출된 액적은 기판에 도달하여 일정크기로 퍼져 점을 형성하고, 액적의 크기, 잉크의 특성, 인쇄 해상도에 의하여 선폭이 크게 영향을 받는다는 사실을 확인하였다. 인쇄된 금속인쇄 배선의 전도도는 온도에 따라 측정하였으며, 250  $^{\circ}\text{C}$ , 20 분 소성 후 측정된 배선의 전기전도도는 4.2  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  이다. 이 수치는 순수 은의 비저항(1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )에 비해 약 2.6 배 수준으로 실제 기판에서 신호전송용 배선으로 적용 가능하다.

## 참고문헌

1. Sirringhaus, H., Shimoda, T., "Inkjet Printing of Functional Materials," MRS Bulletin, Vol. 28, pp. 802 - 506, 2003.
2. Shimoda, T., Morii, K., Seki, S., Kiguchi, H., "Inkjet Printing of Light-Emitting Polymer Displays," MRS Bulletin, Vol. 28, pp. 821 - 827, 2003.
3. Murata, K., "Super Fine Patterning by Using Inkjet Technology," Journal of Japan Institute of Electronics Packaging, Vol. 7, pp. 487 - 490, 2004.
4. Lee, S.-W., Kim, H.-C., Kuk, K., Oh, Y.-S., "A Monolithic Inkjet Print Head: Domjet," The 14th IEEE International Conference on MEMS, pp. 515-518, 2001.
5. Sirringhaus, H., Kawase, T., Friend, R.H., Shimoda, T., Inbasekaran, M., Wu, W., Woo, E. P., "High-resolution inkjet printing of all-polymer transistor circuits," Science, Vol. 290, pp. 5499, 2000.
6. Cho, B.-H., Jeong, H.-D., Jeong, H.-W., "Development of Build-up Printed Circuit Board Manufacturing Process Using Rapid Prototyping Technology and Screen Printing Technology," Journal of the KSPE, Vol. 17, pp. 130-136, 2000.