

잉크젯 프린팅 기술을 이용한 전도성 폴리머 저항의 제작

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

Fabrication of Conductive Polymer Resistors Using Ink-jet Printing Technology

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

**Abstract** - This study has successfully demonstrated the direct fabrication of polymer resistors using ink-jet printing technology as an alternative patterning to traditional photolithography. The polymer resistors were fabricated just by two layer processes using an ink-jet printer (DMP-2800, Fujifilm Dimatix). First, resistive materials was patterned by a ink-jet printing with the desired width and length. Next, resistor fabrication was completed by printing metal contact pads on the both sides of the polymer resistor. We used poly (3,4-ethylene dioxythiophene) poly(styrenesulfonate)(PEDOT:PSS) for the resistor material and a nano-sized silver colloid for the metal contact pads. We characterized the electrical properties of PEDOT:PSS by measuring sheet resistance and specific resistance on a glass substrate. From analysis of the measured resistances, the electrical resistances of the polymer resistors linearly increased as a function of printed width and length of resistors. The accuracy of the fabricated polymer resistor showed about 0.6 ~ 2.5% error for the same dimensions.

1. 서 론

전자산업에서 패턴을 형성하는 방식은 식각 마스크를 통해 이루어진다. 먼저 원하는 물질을 증착한 후 사진공정(photolithography)을 통하여 원하는 패턴의 감광제 식각마스크(etch mask)를 형성한다. 그 다음 습식식각이나 건식식각을 통하여 물질의 불필요한 부분을 제거한 후 최종적으로 감광제 식각마스크를 제거하여 원하는 물질의 패턴을 얻게 된다. 최근에 소개된 잉크젯 프린팅 기술은 나노 잉크를 이용하여 사진공정과 식각공정을 이용하지 않고, 직접 나노 잉크를 분사하여 패턴을 형성하는 방법으로, 패턴링 공정을 단순화시킬 수 있을 뿐만 아니라 각종 전자 산업의 환경오염물을 획기적으로 줄일 수 있는 친환경기술이다. 특히, OLED, O-TFT, RF-ID, PCB 분야 등 다양한 전자산업분야의 제조기술로서 응용하고자, 전도성 폴리머나 실버(silver) 나노파티클 잉크를 이용한 전도성 라인 패턴링(line patterning)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3].

본 연구에서는 다층의 잉크젯 프린팅 기법을 이용하여 전기회로의 기본 소자 중 하나인 저항을 제작 평가하였다. BAYTRON<sup>®</sup>P를 기본으로 합성된 전도성 폴리머(PEDOT:PSS)를 저항체로 선정하여 비저항과 면저항을 측정 분석하였으며, 저항의 선폭과 길이를 변화시키면서 전기 저항을 제작, 측정함으로써 잉크젯 프린팅 기법의 수동전자소자제작 가능성을 검토하였다.

2. 실험 방법 및 재료

2.1 잉크 재료 및 잉크젯 프린팅 시스템

본 연구에서 사용된 전도성 폴리머는 poly (3,4-ethylene dioxythiophene)poly(styrenesulfonate)(PEDOT:PSS)이다[4]. H.C.Starck Inc. (MA, USA)에서 제공하는 BAYTRON<sup>®</sup>P와 기타 폴리머, 그리고 솔벤트를 <표 1>의 조성비로 혼합하여 제조된 전도성 폴리머 PEDOT:PSS를 인스콘사 (InsCon Tech Co., Korea)로부터 제공받았다. 점도는 27 cP 표면장력은 29 dyne/cm로 측정되었다[5]. 실 잉크는 ANP사 (Seoul, Korea)의 33.7 wt% silver DGP-40LT-150를 사용하였다. 유리기판으로 Corning사의 Pyrex7740을 사용하였다.

<표 1> 제조된 PEDOT:PSS의 화학 조성 비율

Component	Weight %
BAYTRON <sup>®</sup> P	42.92
N-Methy-2-pyrrolidone	2.58
Silquest <sup>®</sup> A187M	0.86
Isopropanol	53.34
Dynol <sup>®</sup> 604	0.30

전도성 폴리머 제작을 위해, 사용된 잉크젯 시스템은 Fujifilm Dimatix사 (CA, USA)의 DMP-2800을 사용하였다. 이 시스템의 인쇄 면적은 최대 200 mm × 300 mm이며, 100~5080 dpi의 인쇄가 가능하다. ± 25 μm의 오차 정밀도를 가지며, 1~10 pico liter 액적 분사가 가능하다. 카트리지헤드의 분사 노즐의 수 총 16개이고 노즐 간 간격은 254 μm이다. 잉크는 70 °C, 기판은 60 °C까지 가열할 수 있다.

2.2 PEDOT:PSS의 비저항 값 계산

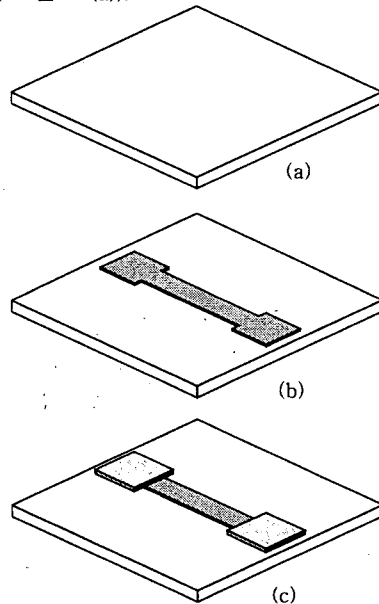
PEDOT:PSS의 비저항을 얻기 위해서 스핀코팅(spin-coating)법을 이용하여 유리기판위에 박막으로 제조한 후 면저항(sheet resistance)과 두께를 측정하고 식(1)로부터 비저항 값을 계산하였다. 두께 변화에 따른 면저항과 비저항 값의 변화를 측정하기 위해서 스핀코터의 회전수를 250, 500, 750, 1000 rpm으로 변화시켜 두께를 변화 시켰다. Curing공정은 200 °C 에서 1분 동안 수행하였다. 박막의 두께를 측정하기 위하여 주사전자현미경으로 단면을 촬영하였으며, 면저항은 4-point probe를 이용하여 측정하였다. 식 (1)에서 ρ = specific resistance (비저항), R<sub>s</sub> = sheet resistance (면저항), t = thickness (두께) 이다.

$$\rho = R_s \times t \tag{1}$$

저항 제작 후 선폭과 광학식 현미경으로, 두께는 접촉식 surface profiler를 이용하여 측정하였다.

2.3 폴리머 저항의 제작

<그림 1>은 잉크젯 프린팅 기법을 이용한 전기 저항의 제작 공정을 나타낸다. 유리 기판을 UV-오존 발생기를 이용하여 건식 세정을 수행하였다 (<그림 1>(a)).

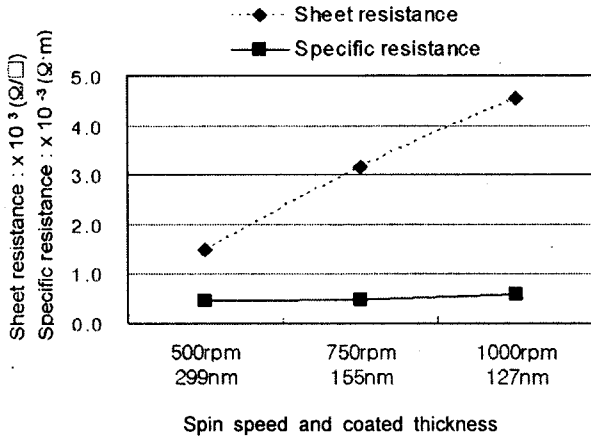


<그림 1> 잉크젯 프린팅 기법에 의한 전도성 폴리머의 제작 공정 도: (a) UV-오존 세정; (b) PEDOT:PSS 저항 인쇄 후 curing; (d) 실버 contact pad인쇄 후 소결

PEDOT:PSS를 프린팅하여 저항 부분을 형성한 후, 오븐을 이용하여 150 °C에서 10분간 curing 하였다. (<그림 1>(b)). 마지막 공정으로 실버 잉크를 분사하여 저항의 양 끝단에 contact pad를 프린팅하고, 150 °C에서 30분간 소결 하였다. (<그림 1>(c)).

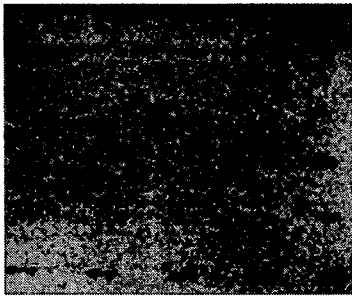
### 3. 실험 결과 및 고찰

PEDOT:PSS의 비저항 값을 분석하기 위해서 두께를 변화시키면서 면저항값을 측정하고 식(1)로부터 비저항값의 변화를 조사하였다. <그림 3>은 코팅 두께 변화에 대한 유리기판위에서의 PEDOT:PSS의 면저항과 비저항값의 변화를 나타낸다. 실험결과로부터 알 수 있듯이, 두께에 상관없이 비저항 값은 공히  $0.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$  정도로 측정되었다.

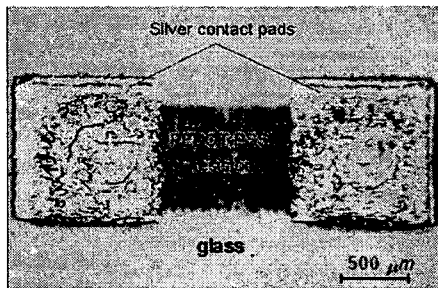


<그림 2> 두께 변화에 따른 PEDOT:PSS의 면저항/비저항의 변화

저항 프린팅시 길이를 1, 1.5, 2, 2.5, 3 mm 변화시키고, 선포를 400  $\mu m$ 와 800  $\mu m$ 으로 변화 시키면서 저항을 제작하였다. 프린팅된 PEDOT:PSS 저항의 두께는 250 nm로 측정되었다. 실버 contact pad 크기는 1 mm  $\times$  1 mm 이며, 그 두께는 2  $\mu m$ 로 측정되었다. <그림 3>은 실제 유리기판 위에 제작된 저항 어레이 사진과 단위 저항의 현미경 사진을 나타낸다. 제작된 저항은 잉크의 퍼짐 현상으로 인해 실제 설계수치 대비 5~10 % 정도 크게 제작되었다.



(a)

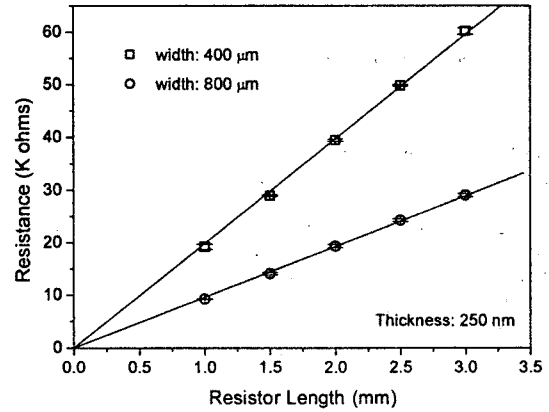


(b)

<그림 3> (a) 유리기판 위에 제작된 전체 사진과 (b) 단위 저항의 현미경 사진

<그림 4>는 저항 길이에 대한 폭 400  $\mu m$ 와 800  $\mu m$ 에 대한 저항 측정 결과이다. 제작된 저항의 두께는 약 250 nm로 측정되었다. 측정 결과로부터 선포가 400  $\mu m$ 과 800  $\mu m$ 인 저항 모두가 길이에 대

하여 선형적으로 증가 하였으며, 선형성이 모두 0.999이상으로 1에 가까운 값으로 분석되었다. 기술기분석에 있어서도 선포가 400  $\mu m$ 인 저항에 비하여 800  $\mu m$ 인 저항의 경우 그 기술기 값이 반으로 감소였다. 저항의 길이에 또한, 저항값의 표준편차는 평균치 대비 0.6~2.5 %의 분포를 나타내었으며, 균일하게 저항이 제작되었음을 알 수 있다. 400  $\mu m$ 인 경우 길이 증가에 따라 약 10 k $\Omega$  차이로 규칙적으로 증가하였으며, 선포가 800  $\mu m$ 인 경우 약 5 k $\Omega$  차이로 규칙적으로 증가하였다. 이론값 대비하여 측정값이 5배 정도 높게 측정되었으며, 향후 연구에 있어서 그 원인 분석과 정확한 저항을 제작하기 위한 공정 개선에 연구가 진행될 예정이다.



<그림 4> 폴리머 저항의 길이와 선포 변화 대한 저항값의 변화

### 4. 결 론

본 연구에서는 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 전통적인 사진공정을 사용하지 않고, 전기저항을 직접 프린팅하여 성공적으로 제작하였다. 저항 제작공정은 2단계로, 1단계에서는 폴리머 저항을 프린팅하고, 2단계에선 금속 contact pad를 프린팅하였다. 저항재료로서 전도성 폴리머 사용하였으며, contact pad재료로는 실버잉크를 사용하였다. 전도성 폴리머인 PEDOT:PSS 잉크의 비저항, 면저항을 박막두께 변화에 대하여 측정 분석하였으며, 실험결과로부터 비저항값은  $0.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$ 으로 비교적 일정한 값을 가짐을 확인하였다. 저항의 길이는 1, 1.5, 2, 2.5, 3 mm로 각각 제작되었으며, 선포는 400  $\mu m$ 와 800  $\mu m$ 으로 변화 시켰다. 프린팅된 PEDOT:PSS 저항의 두께는 250 nm로 측정되었다. 측정 결과로부터 저항의 선포가 400  $\mu m$ 과 800  $\mu m$ 인 경우 모두 길이에 대하여 선형적으로 증가 하였으며, 선형성이 모두 0.999 이상으로 1에 가까운 값으로 분석되었다. 폴리머 저항은 비교적 균일하게 제작되어 측정된 저항값의 표준편차는 평균값 대비 0.6~2.5 % 분포를 보였으나, 이론값과의 비교에서는 5배 정도 높은 것으로 분석되었다. 저항 길이 변화에 대해서는 같은 폭으로 일정하게 저항값이 증가하였다. 향후 연구에 있어서 그 원인 분석과 정확한 저항을 제작하기 위한 공정 개선에 연구가 진행될 예정이다.

### 후 기

본 연구는 기획예산처가 지원하는 한국생산기술연구원 기관과 유 일반사업의 연구성과이며, 그 지원에 감사드립니다.

### [참 고 문헌]

- [1] B.-J. de Gans, P. C. Duineveld, and U. S. Schubert, Inkjet Printing of Polymers: State of the Art and Future Developments," *A dv. Mater.*, Vol. 16, No. 3, pp. 203-213, 2004.
- [2] B.-J. de Gans and U. S. Schubert, "Inkjet Printing of Polymer Micro-Arrays and Libraries: Instrumentation, Requirements, and Perspectives," *Macromol. Rapid Commun.*, Vol. 24, pp. 659-666, 2003.
- [3] J. Fukai, H. Ishizuka, Y. Sakai, M. Kaneda, M. Morita, and A. Takahara "Effects of Droplet size and Solute Concentration on Drying Process of Polymer Solution Droplets Deposited on Homogeneous Surface," *Int. J. Heat Mass Trans.*, Vol. 49, pp. 3561-3567, 2006.
- [4] Y. Liu, K. Varahramyan, and T. Cui, "Low-Voltage All-Polymer Field-Effect Transistor Fabricated Using an Inkjet Printing Technique," *Macromol. Rapid Commun.*, Vol. 26, pp. 1955-1959, 2005.
- [5] 심형섭, 이상호, 강희석, 강신일 "잉크젯 기술을 이용한 저항 제작을 위한 잉크 재료의 특성 분석," *한국정밀공학회 추계학술대회의 논문집*, 2006, pp.117-178.