

잉크젯 인쇄 기술을 이용한 인쇄회로기판용 나노구리배선 개발

서상훈[†] · 이로운^{*} · 윤관수^{**} · 정재우^{***} · 이희조^{****} · 육종관^{*****}

Cu Line Fabricated with Inkjet Printing Technology for Printed Circuit Board

Shanghoon Seo, Ro-Woon Lee, Kwansoo Yun, Jaewoo Joung, Hee-Jo Lee, Jong-Gwan Yook

Key Words : Micro patterning (마이크로 패터닝), Printed circuit board (인쇄회로기판), Conductive nano ink (전도성 나노잉크), Conductive line (전도성 배선)

Abstract

Study that form micro pattern by direct ink jet printing method is getting attention recently. Direct ink jet printing spout fine droplet including nano metal particle by force or air pressure. There is reason which ink jet printing method is profitable especially in a various micro-patterning technology. It can embody patterns directly without complex process such as mask manufacture or screen-printing for existent lithography. In this study, research of a technology that ejects fine droplet form of Pico liter and forms metal micro pattern was carried with inkjet head of piezoelectricity drive system. Droplet established pattern while ejecting consecutively and move on the surface at the fixed speed. Patterns formed in ink are mixed with organic solvent and polymer that act as binder. So added thermal hardening process after evaporate organic solvent at isothermal after printing. I executed high frequency special quality estimation of CPW transmission line to confirm electrical property of manufactured circuit board. We tried a large area printing to confirm application possibility of an ink jet technology.

1. 서 론

잉크젯 인쇄기술은 전통적인 제조기술보다 비용과 유지비 측면에 있어 많은 효율성을 가져올 것으로 기대되고 있다.¹ 포토 마스크 제작이 필요 없는 잉크젯 인쇄기술은 기판용 적층판에 동박을 에칭하여 전자회로를 형성하는 기존의 기판 제조기술을 대체할 수 있다.²⁻³ 동박을 에칭하여 제조하는 공정은 이미 잘 알려진 바와 같이 동박적층판, 포토리소그래피, 에칭, 탈기, 수세, 건조공정을 포함한다. 종래의 인쇄회로기판의

제조공법은 에칭공정을 이용하여 절연 기판상에 선택적으로 금속배선을 형성하였다. 이러한 기판 제조공정들은 많은 원자재를 소모할 뿐만 아니라 상당량의 화학 오염 물질들을 발생시킨다. 또한, 인쇄회로기판을 제조하는 방법은 마스크의 사용과 복잡한 제조공정 단계 때문에 급속히 변화하는 최신기술변화에 대응하기 힘들다. 금속배선형성에 있어서 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 얻을 수 있는 최대의 장점은 원하는 위치에 정확히 나노 금속잉크를 탄착 시킬 수 있다는 점이며, 이러한 이유로 제조공정 시 화학물질의 사용량을 줄일 수 있고, 유리기판이나 폴리이미드와 같은 기판 위에 간단히 미세배선을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 더욱이, 잉크젯 인쇄기술은 비접촉 방식으로 컴퓨터 기반시스템과 연계되어 그래픽 소프트웨어를 이용하여 아주 간단한 방법으로

[†] 서상훈, 삼성전기
E-mail: tankbaby76@empal.com
TEL: (010)5507-8245 FAX: (031)300-7900

^{*} 이로운, 삼성전기

^{**} 윤관수, 삼성전기

직접인쇄를 수행할 수 있으며, 대면적 인쇄회로배선 구현도 가능하다.

2. 실험방법

전도성 잉크에 포함된 동(Cu) 나노 입자의 크기는 약 5-10 nm 이며, 당사에서 자체 개발한 잉크를 사용하였다. 전도성 잉크의 금속함유량은 40 wt%로 구성되어 있으며, 점도와 표면장력은 각각 6.5 cPs (25℃ 기준), 29 dyne/cm (25℃ 기준) 이다. 첨가물로는 테트라데칸(tetradecane)과 미량의 첨가물이 함유되어 있다. 액적이 탄착되는 기판은 BT resin(Bismaleimidetraizine resin)를 사용하여 인쇄를 진행하였다. 인쇄 시 사용한 잉크젯 프린팅 시스템은 Fig. 1 에 나타내었다. 인쇄 및 헤드 구동 시스템, 이송기능의 XY 스테이지와 액적 측정을 위한 부가장치로 구성되어 있다.



Fig. 1 Printing system

헤드 토출시스템은 DoD(Drop on Demand)방식으로 인쇄 가능한 이미지 파일을 제공하며, 헤드의 토출 주파수와 동기하여 XY 방향으로 이동하면서 인쇄를 실시한다. 사용된 이송스테이지의 반복정밀도는 $\pm 1 \mu\text{m}$ 이며, $0.5 \mu\text{m}$ 해상도의 리니어 스케일(linear scale)을 장착하고 있다. XY 스테이지 시스템은 모션컨트롤러를 이용하여 프린터 헤드의 정확한 위치를 제어할 수 있는 성능을 제공한다. 또한 토출되는 액적을 기상에서 관찰할 수 있는 액적관찰 시스템, 매니스커스 제어를 위한 공압 시스템, 노즐 별로 구동신호를 인가하는 개별노즐제어 시스템 등의 부가장치들로 구성되어 있다. 실험에 사용된 잉크젯헤드(KM512SH, 코니카미놀타)는 512 개 노즐로 구성되어 있으며, 노즐 간 간격은 $70 \mu\text{m}$, 노즐직경은 $20 \mu\text{m}$, 토출액

적 크기는 약 4 pl. 이다. 헤드는 XY 방향의 이송부에 장착되며, 헤드에서 토출된 후 기재 위에 탄착된 금속잉크는 200 ℃ 에서 60 분간 열처리를 통하여 소성하였다. 소성이 완료된 샘플은 사양에 적합한 배선 폭, 두께를 형성하며 일정한 전도도를 지닌 배선으로 완성된다. 인쇄된 배선의 치수는 공구현미경(BX51, Olympus Co.)을 이용하여 측정하였고, 배선의 형상은 3D 광학분석기(Wyko NT1100 by Veeco Co.)를 이용하여 분석하였다. 제작된 배선의 전도도 측정은 네트워크 분석기(PNA E8364A, Agilent Co.)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 액적토출

전기적인 신호에 의해 압전 소자가 구동하여 액적이 토출되는 형상을 Fig. 2 에 나타내었다. 압전 소자의 구동력에 의하여 노즐로부터 토출된 잉크는 Fig. 2 의 상단부와 같이 막대형으로 신장되었다가 구 형태로 액적을 형성한다. 신장된 액적은 경우에 따라 하나의 구를 형성하기도 하고 한 개의 주 액적(main drop)과 이어지는 위성 액적(satellite)을 형성하기도 한다. 액적의 형태나 크기는 잉크의 점도와 표면장력에 크게 영향을 받으며 일반적으로 토출 가능한 점도 범위는 1-20 cPs 이고, 표면장력은 10-50 dyne/cm 정도 이다.

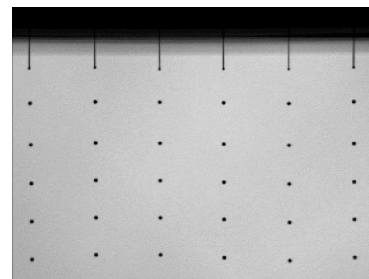


Fig. 2 Stroboscopic image of ejected droplet

토출 후 액적 관찰을 통해 액적 크기, 부피, 속도, 직진성, 위성 액적의 끊어지는 시간(break-off time)등 여러 가지 정보를 얻을 수 있다. 헤드 구동 파형은 헤드 구동부에서 생성되며, LED 스트로보(strobe)와 트리거(trigger) 신호로 연동시킨다. CCD (Charge-Coupled Device) 카메라를 통해 촬영된 액적 이미지를 자체 개발한 비전 측정 소프트웨어를 이용하여 다양한 항목을 측정하였다.

3.2 전도성 나노구리배선

압전 구동방식의 헤드를 사용하여 나노 금속잉크를 토출하는데, 노즐에서 토출된 액적은 기판에 도달하여 일정크기로 퍼져서 점을 형성한다. 이러한 퍼짐성은 기판과 잉크의 표면에너지 차이에 의해서 발생한다. 실제로 노즐을 통해 노출된 4pl.의 액적이 공기 중에서 20 μm 의 크기이지만, 기판에 탄착 시에는 표면상태에 따라 30-100 μm 까지 퍼지게 된다. 잉크와 기판의 표면에너지를 매칭시키는 것이 중요하며 잉크의 조성변화, 기판표면처리 등에 의해 가능하다.

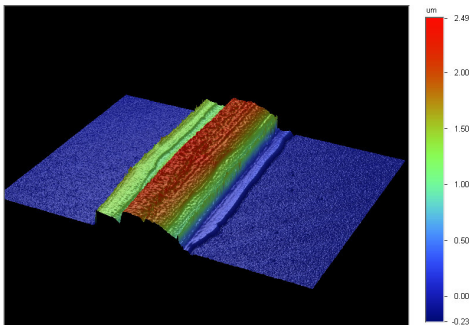


Fig. 3 Topographical image of fabricated metal line

기판에서 탄착된 액적의 크기와 액적간의 중첩되는 거리로부터 인쇄이미지의 치수와 최적의 해상도를 예측할 수 있으며, 나아가 배선이미지를 설계할 수 있다. 산업용 잉크젯의 경우 기능성 입자를 인쇄하고, 기능성 입자의 양에 따라 인쇄된 이미지의 기능성이 결정되기 때문에 인쇄 시작전에 이미지의 정확한 설계 및 구현이 매우 중요하다. 동 나노 잉크를 잉크젯으로 인쇄하여 제작한 배선의 3D 광학분석기로 측정된 배선의 3차원 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 가장자리에 움푹 패인 형상임을 확인할 수 있는데 이는 인쇄된 액체의 잉크 중 솔벤트가 소성과정에서 증발을 할 때 증발속도가 인쇄배선의 위치에 따라 달라 내부의 유동이 생기기 때문에 생기는 현상이다.

나노메탈잉크를 토출하여 실제 인쇄회로기판용 나노구리배선을 형성한 결과를 Fig. 4에서 나타내었다. 가장 얇은 선 폭이 40 μm , 선간폭은 30 μm 의 구조를 가지고 있으며, 층간 접착이 없는 구조의 PKG용 기판배선이다. 인쇄회로기판의 거버데이터를 잉크젯으로 인쇄하기 위하여 이미지로 변환을 실시하였다. 이때 인쇄오차를 5 μm 이내로 최소화하기 위해 5040dpi의 고해상도로 인쇄를 실시하였다.

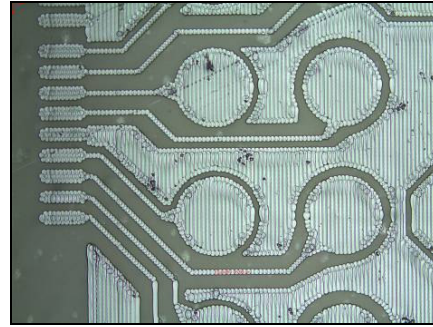


Fig. 4 Nano metal ink printed pattern

3.3 전기적인 특성

인쇄회로기판용 금속으로는 동을 가장 많이 사용한다. 실험에 사용한 동잉크의 경우 소성 후 4.3 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 수준이며 이는 순수 동 of 비저항(1.69 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$)에 비해 약 2.5 배 수준이다. 소성은 여러가지 조건에서 실험한 결과 최적조건으로 선정된 200 $^{\circ}\text{C}$, 60분에서 실시하였다. 실온에서 산화된 동이 200 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 포름산 분위기에서 가열하면 환원되어 금속 광택을 다시 찾는 특징이 있다. 잉크젯 공법으로 형성된 회로배선의 최적 배선 형상조건을 찾고 전기물성적인 성질에 따라 RF 기본특성을 파악하기 위해 CPW 전송선로의 고주파 특성평가를 실시하였다. Fig. 5에 1-10GHz 영역에서 CPW 전송선로의 삽입손실에 대한 주파수 특성을 나타내었다. 신호전송 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 잉크젯배선의 특성이 주파수 영역에 따라 유사한 경향을 나타냄을 확인할 수 있다.

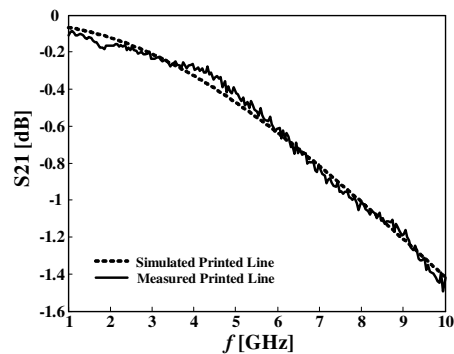


Fig. 5 Insertion loss of simulated and measured Inkjet CPW line

3.4 인쇄회로기판 제작

인쇄회로에 있어서 잉크젯 기술의 대면적 인쇄 적용가능성을 실험하기 위해 에폭시 기판상에 금속 나노잉크를 토출하여 인쇄회로기판을 형성하였

다. 제작된 샘플은 DDR2 메모리용 BOC 기판의 1층 기판회로를 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 금속 인쇄배선을 형성한 결과이다. 파일은 컴퓨터 기반 시스템과 연계하여 간단한 방법으로 에폭시 위에 금속 나노잉크를 직접 인쇄하였다. 인쇄가 완료된 배선을 열처리하여 전기 전도도를 갖는 인쇄회로 기판을 완성하였다. 이러한 대면적 인쇄회로배선을 실제로 구현함으로써 잉크젯 기술을 이용한 인쇄배선이 산업용 전자기기에 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

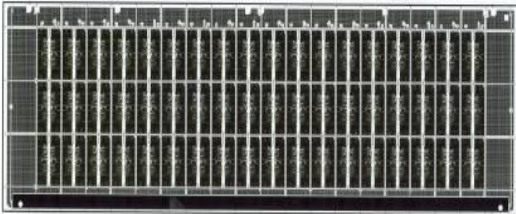


Fig. 6 Printed circuit board for DDR2 BOC substrate by inkjet printing

4. 결론

본 연구에서는 압전 구동방식의 잉크젯 헤드로 나노 금속잉크를 수-수십 μl 의 미세 액적 형태로 토출하여 미세 전도성 배선을 구현하였다. 인쇄결과 노즐에서 토출된 액적은 기판에 도달하여 전도성 나노구리배선을 형성하였다. 배선은 액적의 크기, 잉크의 특성, 인쇄 해상도에 의하여 선평이 크게 영향을 받는다는 사실을 확인하였으며, CPW 전송선로를 제작하여 잉크젯 배선의 전기적 특성 평가를 실시하였다. $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 60분 소성 후 측정된 배선의 전기전도도는 약 $4.3\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 이며, 이 수치는 순수 동의 비저항($1.69\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$)에 비해 약 2.5배 수준으로 실제 기판에서 신호전송용 배선으로 적용 가능하다. 인쇄회로 기판제작에서 잉크젯 기술의 대면적 인쇄 적용가능성을 실험하기 위해 에폭시 기판상에 금속 나노잉크를 토출하여 DDR2 메모리용 BOC 기판의 1층 기판 회로를 형성하였다.

참고문헌

(1) Sirringhaus, H., Shimoda, T., 2003, "Inkjet Printing of Functional Materials," MRS Bulletin, Vol. 28, pp. 802 – 506.

(2) Shimoda, T., Morii, K., Seki, S., Kiguchi, H., 2003, "Inkjet Printing of Light-Emitting Polymer Displays," MRS Bulletin, Vol. 28, pp. 821 – 827.
 (3) Murata, K., 2004, "Super Fine Patterning by Using Inkjet Technology," Journal of Japan Institute of Electronics Packaging, Vol. 7, pp. 487 – 490.
 (4) A. Rida, L. Yang, R. Vyas, S. Basat, S. Bhattacharya, and M. M. Tentzeris, 2007, "Novel Manufacturing Processes for ultra-Low-Cost Paper-Based RFID Tags with Enhanced Wireless Intelligence," Procs. 57th IEEE - ECTC Symp. Sparks, NV, p. 773.