

## 잉크젯 기술을 이용하여 인쇄된 실버 패턴의 신뢰성 분석

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

### Reliability Evaluation of Silver Patterns Using Ink-jet Printing Technology

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

**Abstract** - To investigate the reliability of the conductive lines patterned by ink-jet printing, we evaluated the reliability of the ink-jet printed silver (Ag) patterns according to the guide lines built up as assessments methods in the production of conventional rigid printed circuit boards. The assessment methods include the uniformity of line width and space, adhesive strength, dielectric withstand, solder float, thermal shock test and pressure cooker test (PCT). To prepare assessment vehicles, different regular test patterns were created by Ag ink-jet printing on the same polyimide substrate for each of assessment methods.

#### 1. 서 론

최근 소개되는 잉크젯 프린팅 기술은 전통적인 전자산업에서 패턴을 형성하는 방식인 사진공정이나 식각공정을 이용하지 않고 나노 잉크를 직접 분사하는 방식을 이용하여 패턴을 형성하는 방법으로, 패턴을 형성하는 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 전자산업분야의 제조기술로써 응용하고자, 전도성고분자나 실버(silver) 나노 입자 잉크를 이용한 전도성 라인 패턴링(line patterning)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 잉크젯 프린팅 기술을 전자산업의 패턴링 공정으로 도입하기 위해서는 각각 요구되는 기능에 맞추어 반듯이 신뢰성이 확보되어야 한다. 그러나 현재 잉크젯 프린팅 기술에 의해서 형성된 패턴에 대한 신뢰성 평가 항목 및 기준에 대한 설정은 마련되어 있지 못한 실정이다.

이에 본 논문에서는 신뢰성 분석을 위하여 기관을 동일한 상태로 준비한 후 기존 rigid printed circuit board(PCB)에 적용되는 신뢰성 평가 방법에 의해 잉크젯 프린팅 된 패턴의 선폭의 균일도, 내전압성, 접착강도, 납피침성, 내열충격성, pressure cooker test(PCT)에 관하여 신뢰성을 분석하고 그 결과에 대한 고찰에 초점을 맞추었다.

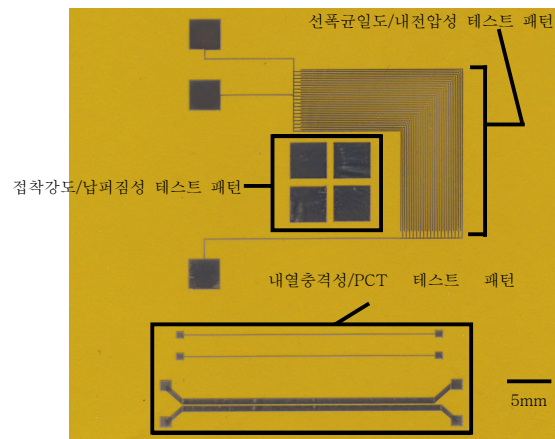
#### 2. 실험

##### 2.1 실험 장치 및 재료

본 실험을 위하여 기관은 내열성이 강한 폴리이미드(PI) 필름을 사용 하였으며, 분사를 위한 실버잉크는 에탄올 용액에 직경이 20nm인 실버 파우더가 30wt%로 함유된 전도성 잉크 (Daejoo Electronic Materials Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다. 분사 장비는 MicroFab(Plano, TX, USA) 사의 50 $\mu$ m 직경의 싱글노즐 시스템을 사용하였으며, 스테이지는 PTC 온도조절 장치를 일체화하여 분사 시 기관 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 노즐로부터 분사된 잉크 액적을 관찰하기 위해서 잉크젯 구동용 신호와 동기화된 고휘도 LED 광원 및 CCD 카메라를 이용하여 전기적인 구동신호에 따른 액적의 크기, 속도, 궤적 등의 분사 특성을 관찰하였다[3].

##### 2.2 실험 방법

분사 전 기관의 표면처리를 위해 fluorocarbon(FC) 용액을 스프레이 코팅 장치를 이용하여 코팅함으로써 기관을 소수성화 하였다[4]. 소수성화한 기관의 표면에너지를 조절하기 위해 소수성 코팅 후 기관을 5분 동안 UV-오존 처리하였으며, UV-오존 처리를 마친 기관은 분사 시 PTC 온도조절 장치를 이용하여 분사 시 기관의 표면 온도를 70 $^{\circ}$ C로 유지 하였다. <그림 1>은 신뢰성



<그림 1> 신뢰성 분석 표준 패턴

분석을 위한 표준 패턴을 나타낸다. 분사된 패턴의 선폭 균일도를 분석하기 위하여 120 $\mu$ m 라인 간격으로 36라인을 프린팅한 후 광학현미경을 이용하여 선폭과 선 간격을 측정하였으며, 접착 강도를 측정하기 위하여 ASTM D3359 rating 테이프 테스트 방법으로 5mm x 5mm land를 형성한 후 1mm 간격으로 cross cutting 하여 전면에 테이프를 붙여 순간적으로 떼어낸 후 패턴의 상태를 관찰하였다[5]. 내전압 테스트는 5cm 길이의 라인 양단에 30초 동안 DC 1000V를 인가한 후 패턴의 변화를 관찰하였으며, 납피침성 테스트는 260 $^{\circ}$ C 용탕에 10초간 담갔다 꺼낸 후 패턴 변화를 관찰하였다. 내열충격성 테스트는 -55 $^{\circ}$ C ~ 125 $^{\circ}$ C까지 30분 동안 100회 온도변화 시킨 후 패턴의 변화를 관찰하였으며, PCT는 121 $^{\circ}$ C 97%Rh로 PCT 48시간 후 절연저항을 측정하였다.

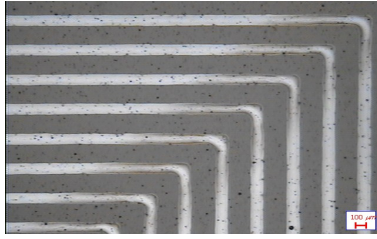
<표 1>은 각각의 신뢰성을 분석하기 위한 평가 항목 및 규격을 나타낸다.

<표 1> Rigid PCB 신뢰성 평가 항목 및 규격

평가항목	규격
선폭 균일도	$\pm 20\%$ 이내 관리
내전압성	DC 1000V, 30sec 인가 시 불꽃방전, 단락 및 절연 파괴가 없을 것.
접착강도	1mm단위 cross-cut, tape test no peel off
납 피침성	260 $^{\circ}$ C, 10sec solder float min 95%/hole, land
내열충격성	-55 $^{\circ}$ C, 15min ~ 125 $^{\circ}$ C, 15min, 100cycle, 저항변화율 $\pm 10\%$ 이내일 것.
PCT	121 $^{\circ}$ C, 2atm, 97%RH 48hr 절연저항 100M $\Omega$ 이상일 것

#### 3. 결과 및 토의

<그림 2>는 선폭의 균일도 테스트를 위하여 L/S를 120 $\mu$ m/120 $\mu$ m로 하여 36라인을 프린팅 한 광학현미경 이미지를 보여준다. 라인의



**<그림 2> 라인 선폭 120µm, 간격 120µm인 광학현미경 이미지**

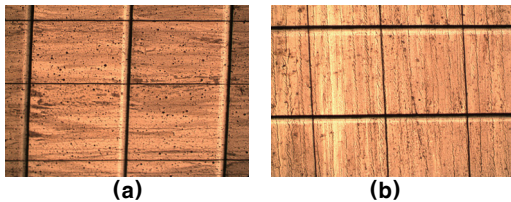
회로 폭 평균은 131.38±7.3µm이었으며, 라인간의 간격평균은 111.40±5.6µm로 L/S 값이 규격 값 120µm/120µm ± 20%이내에서 형성되었다.

DC 1000V를 30sec 동안 인가 한 후 측정하는 내전압성 테스트는 패턴의 불꽃방전, 단락 및 절연 파괴가 없어야 한다. 본 실험에서는 30sec 동안 DC 1000V를 인가한 후 패턴의 불꽃방전, 단락 및 절연 파괴가 관찰되지 않았다.

접착강도 테스트를 위하여 ASTM D 3359(standard test methods for measuring adhesion by tape test) 테이프 테스트 방법을 이용하여 테이프를 붙였다가 떼었을 때 남은 면적을 이용하여 접착강도를 테스트 하였다. 접착력 테스트로 선택한 ASTM D 3359 방법은 크로스 컷 테이프 테스트(cross-cut tape test) 방식으로서, 3M 610 테이프를 이용하여 기판에 밀착시킨 후 수직으로 테이프를 빠른 시간 내에 제거하여 폴리이미드 기판에 남은 단위면적당 제거된 면적의 비율에 의해 0B~5B까지 등급이 매겨진다. <표 2>는 테스트 후 제거된 면적 비율에 대한 각각의 등급을 나타내고 있으며, <그림 3>은 테스트 전·후의 광학현미경 이미지를 보여준다. tape test를 실시한 결과 패턴의 peel off 현상이 발생하지 않아 5B 등급에 해당되었다.

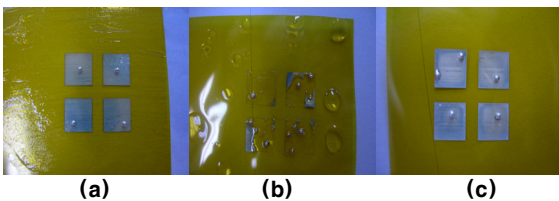
**<표 2> D 3359 접착력 분류 등급표**

분류 등급	제거된 면적 비율
5B	0%
4B	5% 이하
3B	5-15%
2B	15-35%
1B	35-65%
0B	65% 이상



**<그림 3> ASTM D 3359 테이프 테스트 전후 광학현미경 이미지; (a) 테이프 테스트 전; (b) 테이프 테스트 후**

<그림 4>는 land 위 플럭스 유·무에 따른 납퍼짐성 테스트 결과에 대한 광학현미경 이미지를 보여주고 있다. SPF-176 flux를 바른 land에 300°C 온도를 가하면, flux의 영향으로 전도성 실버와 직경이 0.76mm인 pb free Solder ball이 서로 뭉치는 현상을 보였으며<그림 4(b)>, flux가 없는 land 위에서는 위와 같은 현상의 발생이 없이 land 위에 solder ball이 reflow되는 현상을 보였<그림 4(c)>.



**<그림 4> 플럭스 유무에 따른 납퍼짐성 테스트 광학현미경 이미지; (a) 납퍼짐성 테스트 전; (b) 플럭스 바른 후 납퍼짐성 테스트; (c) 플럭스 바르지 않은 납퍼짐성 테스트**

**<표 3> PCT 후 절연저항의 변화**

구분	Sample. 1	Sample. 2
초기	4.468×10 <sup>8</sup> Ω	3.815×10 <sup>8</sup> Ω
PCT 24hr 후 (121°C×97%Rh)	6.215×10 <sup>12</sup> Ω	9.950×10 <sup>12</sup> Ω
PCT 48hr 후 (121°C×97%Rh)	5.058×10 <sup>12</sup> Ω	3.643×10 <sup>11</sup> Ω

내열충격성 테스트를 위하여 -55°C와 125°C를 30분 동안 100회 온도변화 시킨 후 패턴 및 저항변화를 관찰한 결과 패턴의 변화는 발생하지 않았으나 평균 선 저항 값이 줄어드는 방향으로 변화율이 ±10%를 초과 하였다.

<표 3>는 PCT 121°C×97%Rh 조건에서 두 샘플에 대하여 24hr, 48hr 후 절연저항의 변화를 보여준다. 절연저항은 100MΩ 이상이어야 하며, 본 실험에서는 모두 100MΩ 이상의 결과를 확인하였다.

**4. 결 론**

본 논문에서는 신뢰성 분석을 위하여 rigid PCB에 적용되는 신뢰성 평가 방법 중 선폭 균일도, 내전압성, 접착강도, 납퍼짐성, 내열충격성, pressure cooker test(PCT)에 관하여 잉크젯 방식에 의해 프린팅 된 패턴에 동일하게 적용해 보았다. 선폭 균일도는 정해진 규격에서 선폭과 선 간격이 평균에서 ± 20%이내에서 형성되는 균일성을 확인 하였으며, 또한 내전압 테스트 시 불꽃방전, 단락 및 절연 파괴가 없이 30sec 동안 DC 1000V에 대한 내성을 보였다. ASTM D 3359 방법에 의한 접착강도 테스트는 패턴의 peel off 현상이 발생하지 않았으며, 납퍼짐성 테스트에서는 납이 녹는 온도인 300°C에 대한 land의 내성은 확인하였으나 cu land용 SPF-176 flux에 대한 특성은 좋지 못하였다. 잉크젯 패턴은 저온과 고온 조건을 왕복하는 내열충격성 테스트에서는 허용치를 벗어나는 저항 값의 변화를 보였으며, PCT에서는 테스트 후 요구되는 절연저항 값보다 안정적인 값을 보였다. 좀더 향상된 신뢰성 결과를 위해서는 나노 은 소재에 적합한 물질의 개발과 분사 및 소결 방식에 대한 다양한 접근을 통한 신뢰성 향상 및 잉크젯 프린팅 기술에 적합한 신뢰성 평가 항목 및 기준에 대한 정립이 이루어져야 할 것으로 본다.

**5. 후 기**

본 연구는 지식경제부 G7 첨단 생산 시스템 개발사업의 기술료 제투자 사업의 지원으로 수행되었음.

**[참 고 문 헌]**

[1] 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

[2] Ahn, D. H., Kwon, H. T., "Situation and Development of inkjet printing technology", *Journal of Korean information display Society*, Vol. 5, No. 3, 2004

[3] 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

[4] 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

[5] Markus, P. K. Turunen, Pekka Marjamaki, Matti Paajanen, Jouko Lahtinen, Jorma K Kivilahti, "Pull-off test in the assessment of adhesion at printed wiring board metallisation/epoxy interface", *Journal of Microelectronics Reliability*, vol. 44, PP. 993-1007, 2004