

금속 잉크를 사용하여 인쇄된 배선의 신뢰성 평가

구자명 · 이종범 · 하상수 · 김종웅 · 노보인 · 문정훈 · 원성호 · 정승부

Reliability Evaluation of Electronic Circuit Printed Using Metallic Ink

Ja-Myeong Koo, Jong-Bum Lee, Sang-Su Ha, Jong-Woong Kim, Bo-In Noh, Jeong-Hoon Moon, Sung-Ho Won and Seung-Boo Jung

1. 서 론

최근 전자 제품에 대한 가치 및 평가 기준이 변화하고 있다. 소비자들의 선택의 기준에 있어서 제품의 가격과 성능뿐만 아니라, 고장 없이 오랫동안 사용할 수 있는 제품, 즉 신뢰성이 높은 제품에 대한 선호도가 증가하고 있다. 이러한 제품 개발을 위해서는 제품 설계 단계부터 다양한 신뢰성 평가 및 피드백 과정들을 수행해야 한다. 하지만 과도한 신뢰성 평가는 금전적인 낭비를 초래하며, 제품 출시를 지연시켜 회사의 경쟁력을 약화시키는 주요 원인으로 작용할 수 있다. 따라서 합리적인 신뢰성 평가 방법의 고안 및 효율적인 평가가 이루어져야 함은 자명하다. 또한, 단순한 신뢰성 평가보다는 실질적인 환경에 가까운 복합 시험 평가에 대한 관심이 증가하고 있다.

한정된 제품 크기 내에서 다양한 기능을 수행할 수 있는 멀티미디어기기 및 디지털 컨버전스 제품에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다¹⁾. 이에 따라 고집적·복합화된 논리 소자 및 메모리 기술 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 회로 선폭을 줄이려는 움직임 역시 활발하게 진행되고 있다 (그림 1)²⁾. 해마다 회로 선폭과 선간 거리는 동일하게 감소하고 있으며, 2007년에는 연성회로기판 (FPCB: Flexible Printed Circuit Board)과 경성회로기판 (RPCB: Rigid PCB) 상에 각각 80 μm 와 100 μm 의 피치의 회로까지 구현 가능하였다. JEIDA 로드맵과 Doray 사의 로드맵에 의하면, 주변 실장형 플립칩과 COG (Chip On Glass)용 플립칩의 피치 크기는 2010년 각각 20 μm 와 10 μm 로까지 감소할 전망이다³⁾.

현재까지 유리, 실리콘, 폴리머 또는 세라믹 기판 상에 미세한 회로를 정밀하게 형성하는 방법으로 광 리소 그래피 (photo-lithography) 법을 가장 널리 사용하여 왔다 (그림 2). 금속 잉크를 사용하여 배선을 형성

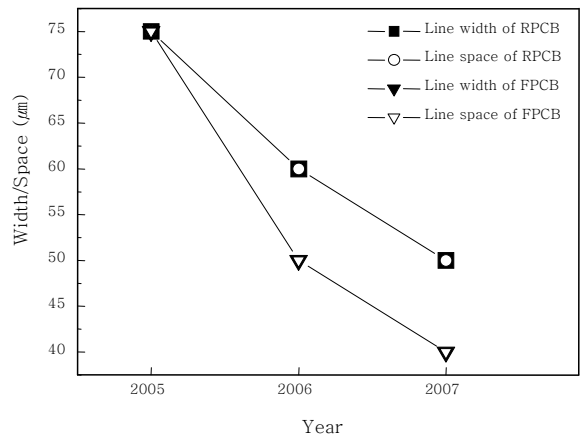


Fig. 1 Roadmap of width and space of FPCB and RPCB¹⁾

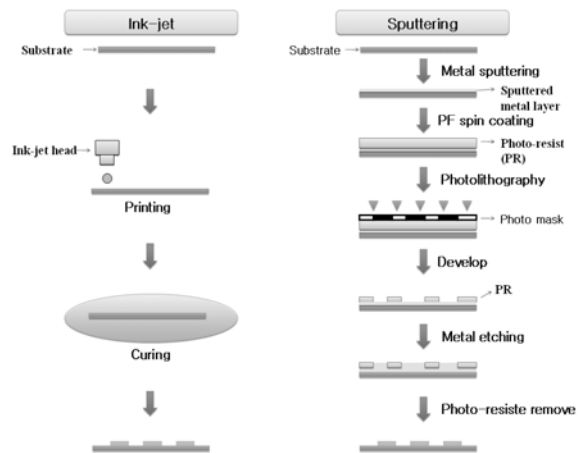


Fig. 2 Schematic diagrams of ink-jet printing and sputtering methods for interconnection fabrication.

하는 방법은 종래 기술 대비 제조 공정이 간단하고, 장비 구입 및 제조비용을 줄일 수 있으며, 자동화가 용이하고, 설계의 유동성이 크며, 재료와 조성의 제약 없이

원하는 회로 형성이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 향후 기관 상에 절연체와 전도체 등을 직접 인쇄하여, 각종 소자나 부품 등을 기관 상에 직접 형성시키는 “printed electronics” 기술 개발을 위한 디딤돌이 될 수 있다. 하지만 공정의 재현성 및 생산 수율이 떨어지고, 잉크의 점성이나 표면 장력으로 인하여 균일하고 정밀한 코팅이 어렵고, 신뢰성이 충분하게 검증되지 않아 상용화에 많은 어려움이 있다. 따라서 금속 잉크의 상용화를 가속시키기 위해서는 공정의 신뢰성과 적용된 제품의 신뢰성 평가가 선행되어야 한다. 본고에서는 인쇄된 배선의 신뢰성을 평가하기 위해 고려해야 할 필수적인 시험법과, 관련된 시험 결과를 소개하고자 한다.

2. 금속 잉크 인쇄 방법

금속 잉크를 이용한 회로 인쇄법에 관한 연구는 일본과 미국을 중심으로 활발하게 진행되고 있으며, 관련 특허 역시 다량 출원된 상태이다. 그 중에서 대표적인 인쇄법으로는 잉크젯 인쇄법, 그라비아 (Gravure) 인쇄법 그리고 스크린 인쇄법 등이 있으며, 인쇄법이나 용도에 따른 적절한 점도를 갖는 잉크의 개발 및 선택이 중요하다⁴⁾.

- 잉크젯 법: 고속 인쇄가 가능하고 몰드가 필요하지 않기 때문에 회로의 수정이 매우 용이하나, 정밀한 노즐 가공이 어렵기 때문에 장비의 가격이 고가이고 잉크 내의 금속 입자의 밀도가 낮기 때문에 전기적 특성이 떨어질 수 있으며, 후박 인쇄가 난해한 단점을 가지고 있다.
- 그라비아 법: 회로가 음각으로 형성된 제판 상의 음각 부분에 잉크를 채운 후, 피인쇄체에 직접 전이시키는 방식으로써, 고속 인쇄가 가능하고 후박 인쇄가 용이하며 잉크의 용제 제한이 적으나, 몰드 제조가 어렵고 고가이다.
- 스크린 법: 고농도의 금속 잉크의 인쇄가 가능하여 후박 인쇄가 용이하나, 비교적 잉크의 효율성이 떨어지고 미세한 인쇄에 한계가 있다.

3. 이온 마이그레이션⁵⁻⁷⁾

3.1 이론

전자 기기의 전극 간에 직류 바이어스 전압이 인가되어 있는 상황에서, 두 인접 전극 사이에는 절연체, 진공 또는 대기에 의해서 양호한 절연성이 유지되어 있다. 하지만 절연체의 수분 흡수 또는 기관 표면에 오염

등에 의해 절연 저항이 저하됐을 경우 이온 마이그레이션이 발생할 수 있다. 이온 마이그레이션 현상은 두 인접 전극 사이의 전위차에 의해서, 양극에서 이온화된 금속 이온들이 음극으로 이동하여 수지상 (dendrite) 형태의 필라멘트 (filament)로 환원 석출하여 성장하는 현상이다. 이때, 기관 표면 또는 주위에 존재하는 습기나 수분은 이온이 이동할 수 있는 통로 역할을 한다. 이러한 현상은 과거 두 전극 사이의 거리, 즉 피치 크기가 충분히 크고, 표면 처리로써 HASL (Hot Air Solder Leveling) 처리가 일반적으로 사용되었을 때에는 큰 이슈가 되지 않았다. 하지만 최근 전자 제품의 소형화 및 박형화 됨에 따라 전극의 피치 크기가 감소하고, 표면 처리 기술도 무연화 됨에 따라 이슈화 되고 있다.

3.2 평가 방법

이온 마이그레이션 특성 평가 방법은 하기와 같이, 직접 전극에 물방울을 떨어뜨린 가속 환경 또는 고온·고습 환경시험 챔버 내에서 장기간 평가하는 방법이 존재한다.

- 물방울 시험: 전극 표면이 절연이 안 된 기관을 위한 IPC 규격 (IPC-TM 650, 2. 6. 13)에서 제안하는 시험 방법으로써, 시험 속도가 빠른 장점이 있다.
- 고온고습 환경 하에서의 시험: 물방울 시험과 비교하여 긴 시험 시간을 가지며, 높은 인가전압을 사용함으로써 전압 가속에 따른 마이그레이션 민감성을 평가 한다 (IPC-TM 650, 2. 6. 14).

3.3 영향인자

이온 마이그레이션 현상에 미치는 주요 영향인자는 하기에 기술하였다.

- 전압: 두 전극 사이에 인가된 전압 차이, 즉 전위가 클수록 전극의 이온화 및 이동이 가속되어, 이온 마이그레이션 현상은 가속된다. 전압에 따른 수명에 관한 식은 일반적으로 식 (1)을 따른다.

$$t_v = k_v V^{-n} \quad (1)$$

여기서, n 은 경험적으로 0.4~2 범위이며, k_v 는 정수다. 경험적으로 n 은 보통 1 정도이며, 즉 전압에 비례해서 수명은 감소하게 된다. 기관 내층에서는 n 은 2 부근을 보여주며, 0.4 부근의 값은 Ag에서 관찰할 수 있

다. 장시간의 시험 중에는 전극 사이의 절연성이 달라짐에 따라 n 값이 변화할 수 있다.

- 습도: 회로가 노출된 환경의 습도가 높을수록 이온화 및 이온의 이동이 용이하게 되어, 이온 마이그레이션 현상은 가속된다. 습도에 관한 수명 특성을 연구한 보고는 많지 않지만, 일반적으로 습도에 지수적으로 수명은 감소한다.
- 온도: 주변의 온도가 높을수록 이온들의 활성화도가 증가하여, 이온 마이그레이션 현상은 가속된다. 일반적으로 Arrhenius 식에 의해서, 수명은 온도가 증가함에 따라 지수적으로 감소하게 된다.
- 기판 재료 및 표면 오염도: 습도 함유율이 높고 표면 오염이 심할수록 전하 캐리어 (carrier)의 움직임이 용이해지고 그 양이 증가하여, 이온 마이그레이션 현상은 가속된다.
- 전극 재료: 그림 3과 같이 전극의 표면처리 방법에 따라 이온 마이그레이션 민감도는 변화한다.
- 전극 형상 및 피치 크기: 피치 크기가 좁아지고 회로 밀도가 증가할수록 이온 마이그레이션 현상은 가속된다.

3.4. 실험 방법

그림 3은 Comb 패턴을 사용한 물방울 시험 중에 표면 처리 및 피치 크기에 따른 이온 마이그레이션 민감성을 측정된 결과를 보여준다. 시험방법은 IPC-TM 650, 2. 6. 13 규격을 따랐다. 표 1은 본 연구에서 사용한 시편 및 시험 방법을 나타낸다. 증류수를 회로에 떨어뜨린 상태에서 전압을 인가한 후, 회로가 단락될 때까지의 시간을 측정하여 평가하였다. 회로의 단락 여부는 전류의 측정과 육안 검사를 동시에 수행하며 평가하였다.

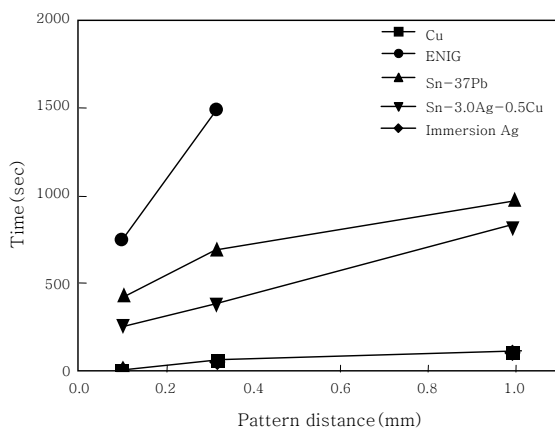


Fig. 3 Effect of pitch size and surface finish on dendritic growth sensitivity during water drop test. The testing time is the duration when the circuit was electrically short

Table 1 Experimental details for water drop test

Substrate material	FR-4
Pitch size (mm)	1, 0.318 and 0.1
Substrate thickness (mm)	1.0
Electrode thickness (μm)	18
Over-lapped length of electrode (mm)	15.75
Electrode material	Cu
Electrode number	40 (Comb pattern)
Water purity	1st DI water
Applied voltage (V)	6.5
Standard	JIS-Z-3197

3.5 실험 결과

전극 사이에 표면 처리에 관계없이 전극이 미세화 됨에 따라 이온 마이그레이션에 취약하였다. 또한 표면 처리 방법에 따라서 그 민감성은 확연하게 변화하는 것을 알 수 있었다. 이온 마이그레이션은 하기와 같은 순서로 민감하게 발생하였다.

ENIG (Electroless Ni/Immersion Au) < HASL (Sn-37Pb) < Cu ~ Immersion Ag

현재, Ag는 전기전도도가 우수하고, 내산화성이 비교적 우수하며, 다른 귀금속에 비해서 가격이 비교적 저렴한 장점을 가지고 있기 때문에, 인쇄용 금속 입자로서 사용되는 주요 재료이다. 따라서 별도의 표면처리를 하지 않을 경우, 인쇄된 회로의 경우 이온 마이그레이션에 상당히 취약할 수 있음을 보여준다. 또한, 일부에서 Ag보다 가격이 저렴하면서, 우수한 전기적 특성 및 일렉트로 마이그레이션 (electro migration) 특성을 보여주는 Cu를 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 하지만 Cu 역시 이온 마이그레이션 특성이 좋지 못하기 때문에 이를 보완하기 위한 추가적인 합금 처리 또는 표면 처리 기술 개발이 요구된다.

4. HAST 시험⁸⁻¹¹⁾

고온고습 분위기 하에서의 신뢰성 평가 방법은 가장 많은 변화를 겪은 신뢰성 평가법 중 하나이다 (그림 4). 다양한 고온/고습 환경시험 평가법 중에서, 85°C /85%RH 분위기 하에서 1,000 시간동안 평가하는 방법 (시험 규격: JESD22- A101B)이 대중적으로 이용되고 있으나, 고장 판정을 위해서는 장기간의 시험 시간이 요구되는 단점이 있다. 이에 따라 시험 시간을 단

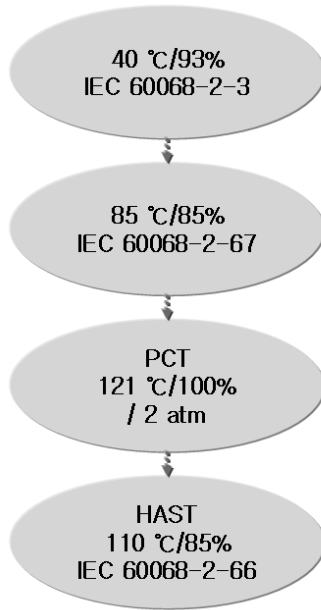


Fig. 4 Variation of high temperature/high humidity environmental test¹¹⁾

축시키기 위해서 PCT (Pressure Cooker Test)가 제한되었다. PCT는 가혹한 온도와 습도 환경 하에서 압력을 가하여 외장재 내부 또는 외장재 사이의 계면으로의 수분 침투 속도를 가속화시켜, 금속 패턴의 내식성을 평가하는 신뢰성 평가 방법으로써, 오토클레이브 (autoclave) 챔버 안에서 하기와 같은 분위기 하에서 평가한다.

- 온도: 121 °C
- 습도: 100 %RH (포화 수증기압)
- 압력: 2 atm
- 시간 - 96 hrs (-0, +5) (Condition C)
 - 168 hrs (-0, +5) (Condition D)
 - 240 hrs (-0, + 8) (Condition E)
 - 336 hrs (-0, + 8) (Condition F)
 - 주로 condition C를 이용함.

하지만 이는 너무 가혹하다고 판단되어, 불포화 수증기압 상태에서 시험이 이루어지는 HAST (Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test)가 제한되었다. HAST는 유기 재료를 사용한 프린트 배선의 평가에도 받아들여지고 있다. 그 배경으로는 시험 시간이 빨라 제품화를 위한 신뢰성 평가 시간의 단축이 큰 요인이다. 시험 조건은 표 2에 나타내었다.

PCT와 HAST 모두 가혹한 환경 하에서 평가가 이

Table 2 Conditions of HAST.

Temperature (°C)	130±2	110±2
Relative humidity (%RH)	85±5	85±5
Vapor pressure (kPa)	230	122
Duration (hrs)	96 (-0, +2)	264 (-0, +2)

루어지기 때문에 하기와 같이 다양한 주의 사항이 존재한다.

- 시험 중에 swelling 현상이 발생함에 따라 FR-4, polyimide와 같은 폴리머 재질의 기판은 사용이 제한된다. 즉, 전극의 부식에 의한 고장에서 기판의 변형에 의한 고장으로, 고장의 원인이 변경될 수 있다.
- 단자 사이의 이온 마이그레이션 현상이 발생할 수 있다. 즉, 성장한 필라멘트가 정확한 고장 분석을 방해할 수 있으며, 고장 시간을 연장시킬 수 있다.
- 수분이 흡수된 상태에서는 유리전이온도 (Tg) 온도가 낮아짐에 따라 폴리머 기판의 경우 높은 압력, 온도, 수분 조건에서 수행되기 때문에 비정상적인 파괴가 발생할 수 있다.

5. 전기 비저항 평가

전류가 흐르는 배선 재료에 있어서 전기 전도도 특성은 매우 중요하다. 배선의 저항은 일반적인 옴의 법칙을 이용하여 평가하게 된다. 전류 변화에 따른 전압의 변화를 측정하거나 전압 변화에 따른 전류의 변화를 측정하여, 그 기울기를 통하여 전기 저항 (R)을 구할 수 있다. 전기 비저항 (ρ)은 식 (2)를 이용하여 간단하게 구할 수 있다.

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (2)$$

이때, l 과 A 는 각각 측정할 배선의 길이와 단면적이다.

전기 저항 측정은 매우 간단하나, 예상되는 배선의 저항에 따른 적당한 계측기의 선택과 노이즈 제거 기술이 매우 중요하다. 프로브의 수에 의해서 2 단자법과 4 단자 법으로 나뉘는데, 측정의 정밀도를 위해서 일반적으로 4 단자 법을 사용할 것을 추천한다.

금속 잉크를 사용하여 인쇄된 배선의 전기 비저항 값은 금속 입자의 재료, 입자 크기, 밀도와 소결 온도에 크게 영향을 받는다. 표 3은 금속 입자의 재료와 소결 온도를 달리한 스크린 프린팅 법을 이용하여 형성된 금속 배선의 전기 비저항 값을 보여준다.

- 입자의 크기가 작을 경우, 소결 온도가 낮아지고 층진률이 증가하기 때문에 비저항 값이 감소한다. 소결 온도가 높을 경우 적용 가능한 재료와 분야가 제한되기 때문에, 입자의 크기를 최소화한 나노 입자의 개발이 절실하게 요구된다.
- 일반적으로, 잉크젯 인쇄법의 경우 스크린 인쇄법 대비, 낮은 밀도의 금속 입자를 사용한다. 보고에 의하며, 소결 후 금속 입자의 밀도에 따른 전기 비저항의 차이는 거의 없다. 하지만, 배선의 두께가 얇아져서 전기 저항값이 증가하거나, 필요에 따라 임계값 이상의 저항을 갖는 회로를 형성하기 위해서 복수의 프린팅이 요구될 수 있다 (표 4).

6. RF 특성 평가

최근 전자 회로의 배선에 대한 전기적 특성 평가는 주로 직류 저항 특성에 국한되어 왔다. 하지만 최근 들어, 고성능화된 하이엔드 전자 제품에 대응하기 위해서, 전송 선로의 고주파 특성이 매우 중요한 평가 항목으로 지목되고 있다. 전자 제품에 사용되는 주파수가 상승함에 따라 다음과 같은 장점을 얻을 수 있다.

- 주파수에 비례해서 전송속도가 증가한다.
- 주파수가 증가함에 따라 bandwidth가 증가하기 때문에 전송량이 증가한다.

Table 3 Electrical resistivity of printed circuit¹²⁾

Material	Electrical resistivity ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)
Au nano particle	11
Ag nano particle (Sintering at H.T.)	2
Ag nano particle (Sintering at L.T.)	10
Cu nano particle	2.2

Table 4 Comparisons of circuit thickness and electrical resistivity between ink-jet and screen printing methods after sintering¹²⁾

	Ink-jet	Screen printing
Metal content (%)	52~62	76~81
Circuit thickness (μm)	~ 5	~ 7
Electrical resistivity ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	3	3

- 주파수에 비례해서 안테나의 이득이 증가하기 때문에 안테나의 크기를 줄일 수 있다. 고주파를 사용할 경우, 안테나를 포함하는 시스템-인-패키지 (SiP: System in Package)를 제조할 수 있게 된다.
- “Skin effect”에 의해서, 주파수가 증가함에 따라 회로의 두께를 얇게 할 수 있다.

하지만, 고주파를 사용하는 전자 패키지에서는 하기와 같은 기술적 난제에 봉착할 수 있다.

- 작은 공간에서 전송선을 따라 흐르는 신호의 주파수가 증가함에 따라 크로스 토크 (cross-talking), 공진, 반사와 같은 다양한 노이즈와 기생성분이 발생할 수 있다.
- 고주파 전송선을 형성할 때, 전송선 표면의 작은 돌기, 기공이나 부정합 등이 다양한 형태의 신호의 노이즈로 작용할 수 있다.

특히, 금속 잉크를 이용한 회로 형성 시, 잉크의 표면 장력에 의한 비정상적인 돌기의 형성, 소결 중에 발생하는 기공이나 수축 등은 직류 신호나 저주파 전달 또는 접지 (ground)의 역할을 수행할 때에는 큰 문제가 되지 않으나, 고주파 전송 중에 임피던스나 인덕터로 작용하여 다양한 형태의 기생 성분을 생성시켜 제품의 오동작의 주요 원인으로 작용할 수 있다. 따라서 금속 잉크로 고주파 전송선로를 인쇄하기 위해서는 필수적으로 고주파 전송 특성을 평가해야 함은 자명하다.

그림 5는 고주파 특성 평가를 위해서 CPW (Co-Planarity Waveguide) 구조로 스크린 인쇄법을 사용하여 제조된 Ag 회로의 광학 현미경 사진이다.

7. 결 론

본고에서는 금속 잉크를 사용하여 인쇄된 배선의 신뢰성 평가 방법으로써, 이온 마이그레이션 시험, HAST 시험, 직류 저항 측정 및 고주파 전송 특성 측정에 대해서 소개하였다.

금속 잉크를 이용한 인쇄 방법은 종래 사용되었던 광

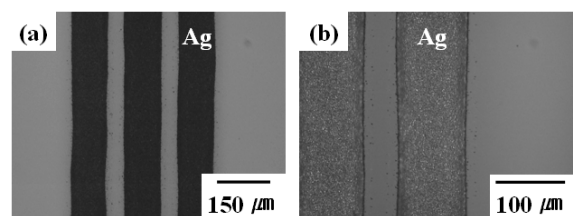


Fig. 5 Ag circuit fabricated using screen printing method

리소그래피 방법 대비 제조 공정이 단순하고, 제조 원가가 낮으며, 고객의 요구에 대한 대응이 용이한 장점을 가지고 있다. 하지만 현재까지는 여러 기술적 난제에 봉착해 있으며, 상용화까지는 다소 시간이 필요할 것으로 판단된다. 하지만 본 기술이 가지는 장점과 향후 요소기술이 사용될 응용 분야를 생각한다면, 포기할 수 없는 분야임은 분명하다.

전자 패키징 기술은 요소와 요소 또는 부품과 부품을 연결하는 제품 생산의 최종 단계에 사용되는 기술로써, 신뢰성이 보장되지 않을 경우 심각한 제품의 기능 저하 및 불량률 증가에 따른 경제적인 손해를 초래할 수 있다.

은이나 구리 잉크를 미세 패턴에 적용할 경우, 이온 마이그레이션에 상당히 취약할 것으로 판단된다. 또한 HAST 시험 시, 금속의 산화, 내부 기공의 팽창에 따른 균열 발생이 야기 될 수 있다. 마지막으로, 내부에 존재하는 기공이나 잔류 유기물 등은 전기적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서 이를 보완할 수 있는 추가적인 연구가 요구된다.

후 기

본 논문은 산업자원부 차세대신기술개발사업 (과제번호: 10030049)으로 지원된 연구임.

참 고 문 헌

1. J.W. Yoon, W.C. Moon and S.B. Jung: Core technology of electronic packaging, Journal of KWS, **23-2** (2005), 116-123 (in Korean)
2. Japan Marketing Survey Co. Ltd.: PCB World Market Data (2006) (in Japanese)
3. J.M. Koo, J.W. Kim, J.W. Yoon, B.I. Noh, C.Y. Lee, J.H. Moon, C.D. Yoo and S.B. Jung: Ultrasonic Bonding Technology for Flip Chip Packaging, Journal of KWS, **26-1** (2008), 31-36 (in Korean)
4. 한국산업기술지원센터: 잉크젯 및 나노임프린팅 기술 (2007.03) (in Korean)
5. B.I. Noh and S.B. Jung: J. Mater. Sci. Electron, In-Press
6. B.I. Noh, J.B. Lee and S.B. Jung: Microelectron. Reliab., **48** (2008) 652-656
7. W.S. Hong, S.B. Jung and K.B. Kim: Analysis Method of Metallic Ion Migration, Journal of KWS, **23-2** (2005), 22-30 (in Korean)
8. JEDEC Standard: JESD22-A101B
9. JEDEC Standard: JESD22-A102C
10. JEDEC Standard: JESD22-A110B
11. 박정원, 천성일: 국내외 신뢰성 기술 및 산업 동향, 전자정보센터 (<http://www.eic.re.kr>) (2005. 12.) (in Korean)
12. Katsuki Saganuma: Ink-Jet Wiring of Fine Pitch Circuits with Metallic Nano Particle Pastes, CMC Publisher (2006) (in Japanese)



- 구자명(具滋銘)
- 1978년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 및 반도체 패키징 기술개발 사업단
- 전자 패키징, 초음파 접합, 신뢰성 평가, 플립칩 범핑
- e-mail : iam@mrkoo.com



- 노보인(盧寶仁)
- 1976년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 및 반도체 패키징 기술개발 사업단
- 전자 패키징, 패키지 신뢰성
- e-mail : nohbi@skku.edu



- 이종범
- 1980년생
- 성균관대학교 신소재공학부
- 초음파 접합, 신뢰성 평가
- e-mail : tigers77@skku.edu



- 문정훈(文貞勳)
- 1956년생
- 수원과학대학 기계과 교수
- 초음파 접합, 검사 기술
- e-mail : jhmoon@ssc.ac.kr



- 하상수
- 1978년생
- 성균관대학교 신소재공학부
- 플립칩 범핑, 일렉트로마이그레이션
- e-mail : abba888@skku.edu



- 원성호(元省皓)
- 1961년생
- 동양공업전문대학 응용화학과
- 환경친화형 전자패키징 고분자 소재
- e-mail : jireh@dongyang.ac.kr



- 김종웅(金鍾雄)
- 1978년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 및 반도체 패키징 기술개발 사업단
- 전자 패키징, RF 패키징
- e-mail : wyjd@skku.edu



- 정승부(鄭承富)
- 1959년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 및 반도체 패키징 기술개발 사업단
- 전자 패키징, 패키지 신뢰성, 마찰교반접합
- e-mail : sbjung@skku.ac.kr