

# Sn-3.0Ag-0.5Cu, Sn-37Pb 표면처리 기판의 전기화학적 이온 마이그레이션 민감도

## Electrochemical Ion Migration Sensitivity of Printed Circuit Board Plated with Sn-3.0Ag-0.5Cu and Sn-37Pb

홍원식\*, 박노창\*, 오철민\*, 김광배\*\*

\*전자부품연구원 신뢰성평가센터

\*\*한국항공대학교 항공재료공학과

**ABSTRACT** Recently a lots of problems have observed in high densified and high integrated electronic components. One of them is ion migration phenomena, which induce the electrical short of electrical circuit. Ion migration phenomena has been observed in the field of exposing the specific environment and using for a long time. Also as the RoHS restriction was started in July 1st, 2006, Pb-free solder was utilized in electronics assemblies. In this case, it is very important to compatible between components and printed circuit board(PCB), thus surface treatment materials of PCB was changed to Sn, Sn-3.0Ag-0.5Cu, Cu. Therefore these new application become to need to reevaluate the sensitivity about electrochemical ion migration. This study was evaluated the occurrence time of electrochemical ion migration using by water drop test. We utilized PCB(printed circuit board) having a comb pattern as follows 0.1, 0.318, 0.5, 1.0 mm pattern distance. Sn-3.0Ag-0.5Cu and Sn-37Pb were electroplated on the comb pattern. 6.5V and 15.0V were applied in the comb pattern and then we measured the electrical short time causing by occurring the ion migration. In these results, we evaluate the sensitivity and derived the prediction models of ion migration occurrence time depending on the pattern materials, applied voltage and pattern spacing of PCB conductor.

### 1. 서 론

최근의 전자부품은 고밀도 고집적화 됨에 따라 여러 가지 문제점들이 발생되고 있다. 그 중 부품이 실장되는 부분에 사용되는 솔더나 전기적 회로를 구성하는 패턴 간에 전기화학적 금속 이온 마이그레이션(electrochemical ion migration, ECM)이 발생하여 전기적 단락(Short)을 유발함으로써 전자제품의 치명적 고장을 유발한다. 또한 EU를 중심으로 RoHS 등 환경규제가 본격화됨에 따라 전자제품에 사용되는 솔더(solder)에 납(Pb)을 제거한 무연솔더를 사용하게 되었다. 전자제품 제조에 무연솔더의 사용에 따라 무연솔더와의 상합성(compatibility)을 위해 인쇄회로기판의 표면처리 재료도 변화하게 되었고, 신규 적용된 표면처리 재료에 대한 이온 마이그레이션의

민감도에 대한 정량적 연구가 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 이온 마이그레이션 현상을 물방울시험(water drop test)을 통하여 재현함으로써 발생 메커니즘을 확인하여 발생현상을 직접적으로 분석하고, 여러 종류의 표면처리 재료, 패턴 거리 및 인가전압에 따른 이온 마이그레이션 발생속도 차이를 평가하기 위해 연구하였다. 연구결과로부터 기판의 표면처리 재료 및 인가전압과 패턴간 거리에 따른 전기화학적 금속 이온 마이그레이션 발생 메커니즘과 민감도에 대한 정량적 평가에 대한 연구를 수행하였다.

### 2. 실험 방법

실험을 위한 시편제작은 패턴은 IPC-TM-650 2.6.13, 2.6.14와 JIS-Z-3197, 3284에서 추천하는 빗살무늬 형태의 콤 패턴(Comb Pattern)의

FR-4 재질 인쇄회로기판(PCB : Printed Circuit Board)을 사용하였으며, 사용된 전극 표면처리는 무전해용융도금을 이용하여 Sn-37Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu를 사용하여 두께 5 $\mu$ m 이상 표면처리 하였고, 패턴간 거리는 0.1, 0.318, 0.5, 1.0 mm의 4가지 종류로 제작하였다. 또한 패턴 간에 인가된 전압은 6.5V, 15.0V를 인가한 후 전기화학적 금속 이온 마이그레이션이 발생하는 시간을 측정하였다.

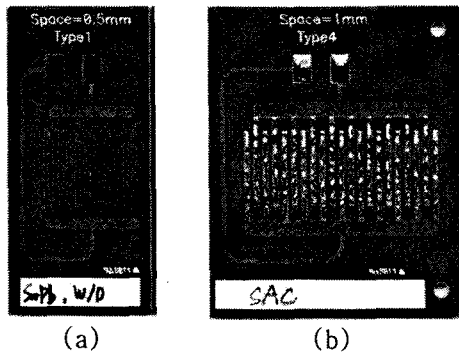


Fig. 1. Photographs of comb pattern PCB for ion migration test : (a) Sn37-Pb, (b) Sn-3.0Ag-0.5Cu.

### 2.1 Water Drop Test

Water drop test(WD)는 상온조건(25 $^{\circ}$ C, 30~60% RH)에서 실험하였으며, 인가전압은 정전압계를 사용하여 6.5V, 15V의 정전압을 인가하였다. ECM 발생 후 고장 판단기준은 하나의 도체에 수지상(dendrite)의 필라멘트(filament)가 발생하여 인접한 도체에 도달하여 접촉되는 시간을 ECM 발생시간으로 규정하였다. ECM의 성장 및 도체간 단락을 확인하기 위해 실체현미경을 사용하여 100~300 배율로 실시간 육안관찰을 통해 검사하였으며 실험 후 도체 사이의 절연저항을 측정하였다.

### 2.2 이온 마이그레이션의 분석

전기화학적 이온 마이그레이션에 의한 수지상정의 관찰을 위해 주사전자현미경(SEM)과 에너지 분산스펙트럼(EDS) 분석을 통해 확인하였다. 또한 실험을 통해 측정된 패턴거리와 인가전압에 따른 발생시간을 아노바(ANOVA) 분석하여 실험 변수별 이온 마이그레이션에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 회귀분석(Regression Analysis)을 통해 표면처리 재료와 인가전압 및 패턴간 거리

에 따른 전기화학적 이온 마이그레이션의 발생시간을 예측하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 민감도 평가결과

Sn-3.0Ag-0.5Cu 도체에 대한 ECM 실험 결과이다. 모든 인가전압의 범위에서 dendrite가 발생된 것을 관찰할 수 있다. 특히 발생된 실체현미경 사진을 자세히 관찰해 보면, dendrite가 발생된 반대편의 전극 즉, (+) 전극의 도체표면은 다른 부분에 비해 표면 도금재료가 많이 소모되어 있음을 알 수 있다. 이것은 전기화학적 분해반응에 의해 양극의 도체 물질이 음극에서 석출되고 있음을 추측할 수 있으며, 이러한 전기화학적 반응에 의해 ECM이 지배됨을 다음의 도체재료와 발생시간 그리고 EMF series로부터 알 수 있다. Dendrite에 대한 EDS 성분분석 결과 주로 검출된 성분은 Sn 이었으며, 미량의 Ag와 Cu가 검출되었다. 이러한 현상은 Sn-37Pb 합금의 경우와 유사하게 합금성분이 동시에 검출되고 있음을 알 수 있다. 그러나 무연솔더에 Cu 성분이 포함되어 있어, 이것이 Sn-3.0Ag-0.5Cu로부터 석출된 것 외에 도체에서 일부 검출되었는지는 확인할 수 없었다. EDS mapping을 실시한 결과에서도 dendrite의 형태를 구성하고 있는 주 원소는 Sn 이었으며, 미량의 Cu가 일부 수지상정 형상을 띄고 있으며, Ag의 경우는 석출된 양이 적어 dendrite의 형태로는 판단되지 않지만 도체 사이에 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 것으로 보아 Sn-3.0Ag-0.5Cu 표면재료인 경우 dendrite를 발생하는 주 성분은 Sn이며, 일부 Cu와 미량의 Ag가 ECM의 발생 반응에 모두 참여하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.2 회귀분석 결과

ANOVA 분석을 활용하여 전압과 도체거리, 도체의 표면재료에 따른 ECM의 민감도 실험에 대한 발생시간의 유효성과 상관관계를 분석한 결과 유의수준 p 값이 0.5 이하로써 재료에 따른 ECM의 발생시간의 차가 존재하고 있음을 알 수 있고, Sn-3.0Ag-0.5Cu이 Sn-37Pb 보다 빨리 발생하고 있음을 알 수 있다.

Water drop test를 통해 얻은 전기화학적 금속

이온 마이그레이션의 발생시간을 표면 도체재료와 인가전압, 도체거리에 대하여 분산분석과 회귀분석을 실시한 결과 신뢰수준 95% 이상 유의(confidence)한 것으로 나타났으며, 이로부터 전기화학적 금속 이온 마이그레이션 발생시간을 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 이러한 결과는 ECM 발생시간을 실험적 결과와 회귀분석을 통한 예측 값에 대한 비교분석한 결과 적용된 재료에서 예측범위에 잘 접근하고 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

FR-4 기판에 도체 간 거리 및 선폭을 각각 0.1, 0.318, 0.5, 1.0 mm 간격으로 형성 후 Sn-37Pb(5  $\mu$ m 이상), Sn-3.0Ag-0.5Cu(5  $\mu$ m 이상)로 각각 표면처리 한 시편을 이용하여 표면처리 금속 및 도체 간 거리에 따른 전기화학적 이온 마이그레이션 발생 민감도에 대한 연구를 수행하였다.

그 결과 Water drop test를 통해 얻은 전기화학적 금속 이온 마이그레이션의 발생시간을 표면 도체재료와 인가전압, 도체거리에 대하여 분산분석과 회귀분석을 실시한 결과 신뢰수준 95% 이상 유의한 것으로 나타났다. 이로부터 Sn-37Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu 도체재료, 인가전압 그리고 도체 거리에 따른 이온 마이그레이션 발생시간 예측모델을 도출하였으며, Sn-3.0Ag-0.5Cu이 Sn-37Pb보다 빨리 발생하고 있음을 알 수 있었고, 실험적 결과와도 잘 일치됨을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. W. S. Hong, B. C. Kang, B. S. Song, and K. B. Kim, A Study on the Metallic Ion Migration Phenomena of PCB, Kor. J. of Mater. Res., 15(1) (2005), 54~60.
2. W. S. Hong, and K. B. Kim, Tafel Characteristics by Electrochemical Reaction of SnAgCu Pb-Free Solder, Kor. J. of Mater. Research, 15(8) (2005), 536~542.
3. W. S. Hong, W. S. Kim, S. H. Park, and K. B. Kim, Polarization Behaviors of SnCu Pb-Free Solder Depending on the P, Ni, Addition, Kor. J. of Mater. Research, 15(8) (2005), 528~535.

4. W. S. Hong, S. B. Jung, and K. B. Kim, Analysis Method of Metallic Ion Migration, J. Kor. Welding Soc., 23(2) (2005), 138~146.
5. Mars G. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd ed., p.41, Michael B. Bever, McGraw-Hill, New York, (1987).
6. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuit, IPC-TM-650 Test Methods Manual (1973).
7. Toshiyuki Ohtori, The J. of Jap. Ins. for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, 10(2) (1995), 80.