

## Immersion Ag가 도금된 Cu기판을 가진 Pb-free solder 접합부의 신뢰성 평가

### Reliability evaluation of Pb-free solder joint with immersion Ag-plated Cu substrate

윤 정원, 정 승부  
성균관대학교 신소재공학부

#### ABSTRACT

The interfacial reaction and reliability of eutectic Sn-Pb and Pb-free eutectic Sn-Ag ball-grid-array (BGA) solders with an immersion Ag-plated Cu-substrate were evaluated following isothermal aging at 150°C. During reflowing, the topmost Ag layer was dissolved completely into the molten solder, leaving the Cu layer exposed to the molten solder for both solder systems. A typical scallop-type Cu-Sn intermetallic compound (IMC) layer was formed at both of the solder/Cu interfaces during reflowing. The thickness of the Cu-Sn IMCs for both solders was found to increase linearly with the square root of isothermal aging time. The growth of the Cu<sub>3</sub>Sn layer for the Sn-37Pb solder was faster than that for the Sn-3.5Ag solder. In the case of the Sn-37Pb solder, the formation of the Pb-rich layer on the Cu-Sn IMC layer retarded the growth of the Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> IMC layer, and thereby increased the growth rate of the Cu<sub>3</sub>Sn IMC layer. In the ball shear test conducted on the Sn-37Pb/Ag-plated Cu joint after aging for 500h, fracturing occurred at the solder/Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> interface. The shear failure was significantly related to the interfacial adhesion strength between the Pb-rich and Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> IMC layers. On the other hand, all fracturing occurred in the bulk solder for the Sn-3.5Ag/Ag-plated Cu joint, which confirmed its desirable joint reliability.

#### 1. 서 론

오랜 기간 동안 aircraft, electronics, automobile, 그리고 telecommunication 산업 전반에 걸쳐 Sn-Pb 솔더(solder)는 전자부품들을 sub-assembly로 효율적으로 연결해주는 역할을 하여왔다. 하지만 솔더의 주 성분으로 사용되어 왔던 납(Pb)성분의 유해성이 대두됨에 따라 유럽을 비롯한 해외 선진국에서는 Pb와 같은 인체·환경 유해성 물질에 대한 전자부품으로의 사용 규제를 언급하고 있으며, 2006년 7월부터는 RoHS와 같은 법 규제로 일정 양 이하의 Pb성분이 들어가 있는 전자부품은 100% Pb-free 솔더로 대체하기로 규정하고 있다. 따라서 유럽, 미국, 일본과 같은 선진국에서는 오래 전부터 납이 포함되지 않은 무연솔더(Pb-free solder) 개발을 위하여 노력해 왔고, 우리나라에서도 연구개발이 진행중에 있다. 기존 솔더로 주로 사용되어져 왔던 Sn-37Pb (in wt.%)의 경우 낮은 가격, 좋은 젖음 특성, 피로저항 특성과 같은 적절한 물리적,

기계적, 금속학적 특성 등으로 인하여 우수한 접합 신뢰성을 나타내었다. 현재 Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Zn계의 이원계 합금이나 Sn-Ag-Cu계의 삼원계 합금이 대표적인 Pb-free 솔더로 각광을 받고 있다.

전자제품에 있어서의 납 사용 규제의 일환으로, 인쇄회로기판 (Printed Circuit Board, PCB)의 표면처리 또한 무연화되어야 한다. 따라서, 기존에 널리 사용되어 오던 Sn-Pb hot-air solder leveling (HASL) 처리 또한 organic solder preservatives (OSP), 전해 니켈/금 (electrolytic nickel/gold) 도금, 무전해 니켈/금 (electroless nickel-immersion gold) 도금, nickel/palladium (Ni/Pd) with an Au flash over the Pd, immersion Sn 및 immersion Ag와 같은 다양한 표면처리로의 대체가 이루어지고 있다. 그 중에서도 Au/Ni 표면처리가 신뢰성 (reliability) 측면에서 가장 널리 사용되어 왔으나, 높은 가격과 공정의 복잡성 및 솔더내의 Sn과의 반응으로 인한 취약한 Au-Sn 화합물의 생성이 문제점으로

인식되어져 왔다. 최근, immersion Ag가 Cu패드 상의 대체 표면처리로서 부각되어져 오고 있다. 이 표면처리는 낮은 공정 단가와 단순한 공정 및 취약한 Au-Sn화합물 생성의 단점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이 연구의 목적은 기존의 공정 Sn-Pb 솔더와 Pb-free Sn-Ag 솔더를 이용한 BGA (ball-grid-array) 패키지에 있어서 대체 표면처리로서의 immersion Ag의 적합성을 조사하는 데 있다. 또한 그 패키지 접합부의 기계적 신뢰성이 불 전단 시험법을 이용하여 조사되었다. 그 계면 반응과 기계적 신뢰성 사이의 상관관계가 토론될 것이다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 샘플 준비 및 리플로우(Reflow)

본 실험에서는 패드(pad)직경이 460 $\mu$ m인 BGA 기판을 사용하였다. BGA 기판의 경우, Cu패드에 immersion Ag를 무전해도금 하였다. 솔더는 불의 직경이 500 $\mu$ m인 공정 Sn-37wt.%Pb 및 Sn-3.5wt.%Ag를 사용하였으며, 솔더볼을 flux를 매개로 각 기판의 패드에 위치시킨 후, 리플로우 장치를 이용하여 접합하였다.

### 2.2 시효처리 및 미세조직 관찰

리플로우 공정 후 시편이 실온까지 냉각되었다. 등온시효처리에 따른 계면반응 및 전단강도 값의 변화를 관찰하기 위하여 각각의 시편을 150 $^{\circ}$ C에서 0~2400시간 (100일)까지 등온시효처리 하였다. 본 실험에서 사용된 시효장비는  $\pm 1^{\circ}$ C의 오차 범위를 가지는 오븐(oven)을 사용하였다. 열처리된 시편의 계면조직은 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰되었으며, EDX 및 EPMA(WDX)를 사용하여 계면 화합물의 화학 조성분석이 수행되었다.

### 2.3 전단 테스트

솔더볼의 전단강도 측정은 전단 테스터(shear tester)를 사용하였다. 이 때, 틀 높이는 50 $\mu$ m, 틀 속도는 200 $\mu$ m/s, 하중은 5kgf하에서 측정되었다.

각 시편 당 총 20개의 전단 강도값을 측정하였으며, 최대값과 최소값을 제외한 평균값으로 전단 강도값을 나타내었다. SEM을 이용하여 전단 테스트 후, 시편의 파면과 파면의 단면이 관찰되었다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig.1은 210 $^{\circ}$ C에서 60초 동안 리플로우 처리된 Sn-37Pb 솔더와 immersion Ag가 도금된 Cu 기판 간의 계면 SEM 사진을 보여준다. 리플로우 공정 동안에 최외층의 Ag층이 완전히 용융솔더내로 용해되었고, 남아있는 Cu기판과 용융솔더가 반응하여 Cu-Sn화합물이 접합계면에 형성되었다. Cu기판의 일부가 또한 리플로우 공정동안에 용융솔더내로 용해되었다. 단면 SEM 이미지 확인 결과, 그 용해된 Ag와 Cu가 Ag<sub>3</sub>Sn 과 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 금속간화합물로 솔더내에 석출되었음을 확인할 수 있었다. 솔더의 미세구조는  $\beta$ -Sn 기지, 미세한 Ag<sub>3</sub>Sn 금속간화합물 particles, 비교적 큰 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간화합물과 Pb-rich 상으로 구성되어 있었다.

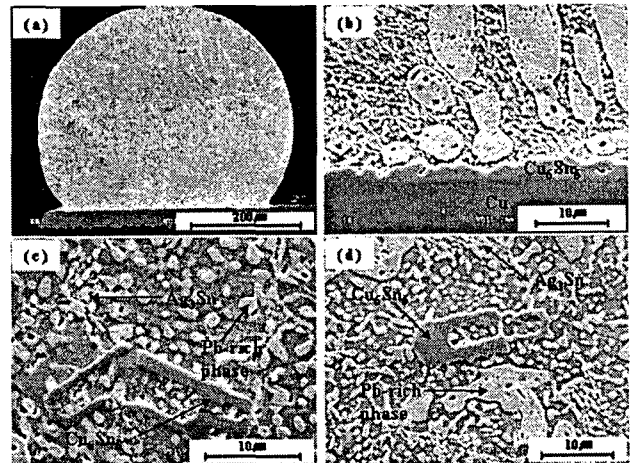


Fig.1 Cross-sectional SEM images of the Sn-37Pb/Ag plated Cu joint reflowed at 210 $^{\circ}$ C for 60sec: (a) entire solder joint, (b) enlarged interface, (c) and (d) solder matrix.

매우 다른 현상이 리플로우 된 Sn-3.5Ag와 immersion Ag가 도금된 Cu기판사이의 솔더 접합부에서 관찰되었다. Fig.2는 250 $^{\circ}$ C에서 60초 동안 리플로우 처리된 Sn-3.5Ag 솔더와

immersion Ag가 도금된 Cu 기판 간의 계면 SEM 사진을 보여준다.

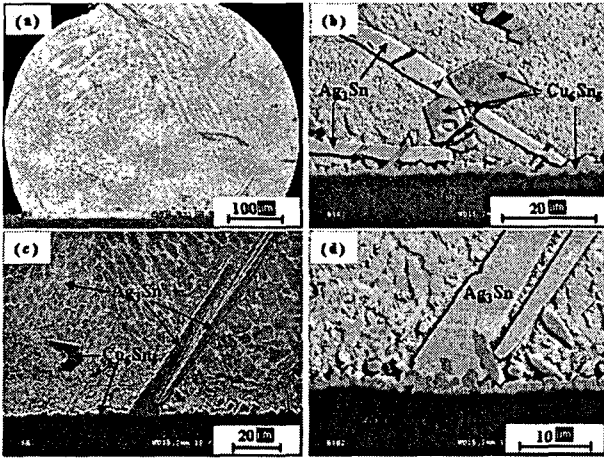


Fig.2 Cross-sectional SEM images of the Sn-3.5Ag/Ag plated Cu joint reflowed at 250 °C for 60sec: (a) entire solder joint and (b,c and d) enlarged interfaces.

그 미세구조는  $\beta$ -Sn 기지, 미세한  $Ag_3Sn$  금속간 화합물 particles, 다각형 형상 (polygonal-shape) 의  $Cu_6Sn_5$  금속간화합물과 긴 막대기 모양 (rod-shape)의  $Ag_3Sn$  금속간화합물로 구성되어 있었다. 한편, Sn-Pb 솔더의 경우와 유사하게, 기판의 Ag도금 층과 일부 Cu가 용융 Sn-Ag솔더 내로 용해되었고, 그리고 그 용해된 Ag와 Cu가  $Ag_3Sn$  과  $Cu_6Sn_5$ 의 금속간화합물로 솔더내에 석출되었음이 확인되었다. 더욱 세부적인 시효처리 에 따른 계면미세구조 및 그와 관계된 접합부의 기계적 특성 (전단 신뢰성)에 관한 결과가 학회에서 발표될 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술 혁신사업 (RTI04-03-04) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- [1] M. Arra, D. Shangguan, D. Xie, J. Sundelin, T. Lepisto, E. Ristolainen, J. Electron. Mater. 33 (2004) 977.
- [2] K.Y. Lee, M. Li, K.N. Tu, J. Mater. Res. 18 (2003) 2562.
- [3] M.O. Alam, Y.C. Chan, K.N. Tu, J. Mater.

Res. 19 (2004) 1303.

- [4] K. Zeng, K.N. Tu, Mater. Sci. Eng. R. 38 (2002) 55.
- [5] J.W. Yoon, C.B. Lee, S.B. Jung, J. Electron. Mater. 32 (2003) 1195.
- [6] M. Abtey, G. Selvaduray, Mater. Sci. Eng. R. 27 (2000) 95.
- [7] J.W. Yoon, S.W. Kim, S.B. Jung, Mater. Trans. 45 (2004) 727.
- [8] M. Li, F. Zhang, W.T. Chen, K. Zeng, K.N. Tu, H. Balkan, P. Elenius, J. Mater. Res. 17 (2002) 1612.
- [9] J.W. Yoon, S.W. Kim, J.M. Koo, D.G. Kim, S.B. Jung, J. Electron. Mater. 33 (2004) 1190.
- [10] M.N. Islam, Y.C. Chan, Mater. Sci. Eng. B. 117 (2005) 246.
- [11] M. He, Z. Chen, G. Qi, Acta Mater. 52 (2004) 2047.
- [12] W.M. Chen, P. McCloskey, S.C. O'Mathuna, Microelectron. Reliab. 46 (2006) 896.
- [13] G. Ghosh, Acta Mater. 49 (2001) 2609.
- [14] J.W. Yoon, C.B. Lee, D.U. Kim, S.B. Jung, Met. Mater. Int. 9 (2003) 193.