

도금층이 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 신뢰성에 미치는 영향

The Reliability of Sn-3Ag-0.5Cu Lead-free SMT Joints with various plating materials

김미진*, 손명진*, 강경인*, 정계필*, 문영준**, 이지원**, 한현주**,

* 서울시립대학교 신소재 공학과

** 삼성전자 매카트로닉스센터

1. 서 론

기존의 전자산업에서는 Sn-37Pb 공정솔더를 사용하였으나, 최근 납의 환경적인 문제로 인하여 무연 솔더에 관한 연구와 적용이 세계적으로 진행되고 있다. 무연 솔더의 실용화와 관련하여 Sn-37Pb 솔더와 같은 만능의 솔더는 없지만, 그 중 도입이 가장 유력시 되는 것으로 Sn-Ag-Cu계 솔더가 있다.¹⁾ Sn-Ag-Cu에 대한 여러 가지 신뢰성 연구가 진행되어 왔다. 무연 솔더링부의 신뢰성에 영향을 미치는 인자는 솔더 재료 자체 보다는 기판표면처리, 부품의 도금재료가 큰 영향을 미친다는 연구결과도 있다²⁾. 실제로 Sn-Ag-Cu계 솔더를 사용한다면, 기판의 표면처리와 부품의 도금의 종류는 신뢰성에 매우 중요하며, 본 연구에서는 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더 접합부의 열충격 특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 Sn-3Ag-0.5Cu 조성의 솔더를 사용하였으며, FR-4 PCB의 표면처리는 OSP, Ni/Au도금 2종류로 제작하였다. 부품은 0.5mm pitch의 QFP의 Cu 리드위에 각각 Sn-15Pb, Sn-3Bi, Sn을 도금하였다. 스텐실을 이용하여 솔더 페이스트를 PCB위에 인쇄한 후, 이형 마운터를 사용하여 QFP 부품을 장착하였다. 장착된 부품은 IR 리플로우 장비를 사용하여 예열 온도 160~180℃, 피크온도 230℃로 솔더링하였다.

솔더링부의 신뢰성을 평가하기 위하여 -40℃/+85℃조건에서 열충격 시험을 실시하였다. 각 온도에서 30분씩 유지하여 1사이클 당 1시간이

소요되며 1000사이클까지 실험 하였다. 그림 1은 열충격 시험 조건에 대한 모식도를 나타 낸 것이다. 열충격 시험 전후의 강도의 변화를 측정하기 위하여 인장시험을 행하였다. 강도 측정 횟수는 QFP의 각 실험 조건 당 총 80개의 리드에 대하여 측정하였다.

솔더링부의 미세조직과 금속간 화합물은 SEM과 EDS를 사용하여 분석하였다.

3. 실험결과

3.1 기계적 특성

QFP 리플로우 직후의 리드의 초기 인장 접합 강도를 조사한 결과 (Fig.2), SnBi 도금을 제외하고는 기판 표면처리 변화에 따른 강도는 대체로 유사하였다. SnBi 도금 부품의 경우, Ni/Au 도금 기판이 OSP 처리 기판보다 약간 높게 나타났다.

기판 처리가 일정할 때 부품 도금 종류별 초기 인장 접합 강도를 비교해 보면 (Fig.2), Sn 도금 부품의 경우 대략 1,300gf의 이상의 높은 강도를 보였다. 또한 Sn-3Bi, Sn-15Pb 도금 부품은 각각 1200, 1080gf의 강도로 Sn도금 부품보다는 낮은 강도를 나타내었다.

그림 3는 1000 사이클 열충격 후의 부품 도금층 별 인장강도를 나타낸 그래프이다. OSP 기판 (a), Ni/Au표면처리 기판 (b)을 사용하고, 각기 다른 도금 부품을 사용한 경우, 1000 사이클 열충격 진행 과정에서 세가지 도금 부품 모두 강도의 급격한 저하는 나타나지 않았다. SnBi, SnPb

도금의 경우, 1000 사이클 후의 강도는 초기강도 대비 약 10% 정도의 강도저하를 나타내었다.

또, 기존에 주로 적용 되었던 Sn-37Pb 솔더 (OSP기판 처리, SnPb 부품도금)의 경우와 비교할 때, Sn-3Ag-0.5Cu 솔더를 사용한 부품의 열충격 특성이 우수함을 알 수 있었다.

부품 도금 종류별 열충격 특성을 비교해 보면, 무연 도금재(Sn, SnBi)로 도금한 부품의 강도가 SnPb도금 부품보다 우수한 열충격 강도를 나타내었다.

3.2 미세조직

3.2.1 솔더/기판의 미세조직

SEM과 EDS를 사용하여 열충격 전 후의 솔더 링부의 미세조직의 변화를 관찰하였다. Fig. 4에 OSP, Ni/Au 기판과 솔더의 초기 접합 계면과 열충격 1000cycle 후의 미세조직을 나타내었다. OSP 처리 기판의 경우, 접합 초기에 솔더/기판 계면에 약 2.6 μ m 두께를 가진 부채꼴 형태의 금속간 화합물이 형성되어 있는 것을 관찰하였다. 부채꼴 형태의 금속간 화합물은 Cu₆Sn₅로 판명되었다.³⁾ 그리고 솔더 내에서는 작은 입자 형태의 Ag₃Sn과 Cu₆Sn₅화합물이 형성되었다. 열충격 1000cycles 후, 솔더내에 Ag₃Sn, Cu₆Sn₅입자가 조대화 되었으며, 금속간 화합물의 두께도 증가하였다. 초기 접합부에 비해 금속간 화합물의 형태는 충상으로 변화한 것을 관찰 할 수 있었다.

한편, Ni/Au기판과 솔더의 초기 접합 계면에서는 1.6 μ m두께의 침상형태의 Ni₃Sn₄의 금속간 화합물이 생성되었으며 미세한 Ag₃Sn입자가 솔더내에 분산되어 있는 것을 관찰하였다. 1000cycles 후, 솔더/기판의 계면에 (Cu,Ni)₃Sn₄이 형성되었고, 솔더내에 침상의 Cu₆Sn₅상과 Ag₃Sn, Au₄Sn가 형성되었다. 금속간 화합물은 접합강도의 감소와 솔더링부 파괴의 원인이 되지만, 본 실험에는 열충격 진행에 따른 Cu₆Sn₅상의 성장이나 Ag₃Sn, Au₄Sn생성이 접합 강도 저하에 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

3.2.2 솔더/리드의 미세구조

기판/솔더의 계면과 동일하게 세가지 SnPb, SnBi, Sn 부품 도금층의 솔더/리드의 계면에도

Cu₆Sn₅ 화합물이 형성되었으며, 그 두께는 대략 2 μ m 정도이다. 솔더 내에는 Ag₃Sn 입자가 생성되어 있는 것을 관찰하였다. SnPb도금 리드의 경우, 열충격 1000cycle 후 Cu₆Sn₅금속간 화합물 위에 Pb-rich상이 존재한다. Pb-rich상은 Cu-Sn 화합물에 Pb의 매우 낮은 고용도 때문인 것으로 사료된다. 솔더내에 연성의 Pb-rich상의 존재는 SnBi, Sn도금 부품에 비해 낮은 강도를 갖는 가장 큰 원인이다. 또, Bi, Pb를 첨가한 경우가 Sn도금을 사용한 경우 보다 금속간 화합물의 성장률이 높았다. 이러한 결과는 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더에 5.7% Pb를 첨가한 경우, 30 $^{\circ}$ C정도 용점이 저하된 결과가 있다.⁴⁾ Sn-Pb 도금층의 Pb가 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더로 용해되어 솔더/리드의 계면의 용점을 저하시킬 수 있으며, 솔더가 상대적으로 장시간 액체 상태로 유지되어 Cu₆Sn₅의 성장을 촉진 시켰을 가능성도 추측할 수 있다. Cu₆Sn₅의 두께증가는 내부 결함의 증가와 스트레스를 유발하므로 강도 저하의 원인이 된다. Sn-Bi도금층의 Bi원소는 Pb와는 달리 첨가량이 매우 적어 솔더내에 잘 고용되어 편석되거나 Bi-rich상을 형성하지 않았다. 무연 리드 도금재로서, 안정된 신뢰성을 확보하기 위해서는 Sn, Sn-3%Bi 등과 같은 무연 도금재를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 특히 Sn도금층은 금속간 화합물의 성장률이 낮으며 높은 강도를 나타내었다.

4. 결 론

Sn-3.5Ag-0.5Cu 솔더와 가장 적합한 리드도금 재료와 기판 표면처리를 설정하기 위하여 다양한 부품 도금 재료(Sn-15Pb, Sn-3Bi, Sn)와 기판 표면 처리(OSP, Ni/Au) 대한 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더의 신뢰성을 평가하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) Sn-3.5Ag-0.5Cu 솔더는 부품도금재와 기판 표면처리에 관계없이 열충격 후 거의 강도의 저하가 없음을 관찰하였다. 기판 표면처리로서 OSP, Ni/Au기판을 사용한 경우, 표면처리의 종류가 접합강도에 큰 영향을 미치지 않았다.

2) 부품 도금층별 강도를 비교해 보면, Sn 도금 부품의 강도가 초기에 가장 높았으며 열충격 1000cycle 후에도 강도 변화가 거의 없어 우수한 열충격 신뢰성을 보였다. 반면에 Sn-Pb도금 부품

의 경우, 열충격 후 급격한 강도의 감소는 없으나 Pb-rich 상의 형성 및 금속간 화합물 성장률이 무연 도금재보다 빠르기 때문에 낮은 강도를 보였다. Sn-Bi도금 부품의 경우, Bi-rich을 형성하지 않고 Bi가 솔더내에 잘 고용되어 접합강도에 큰 영향을 미치지 않았다.

3) OSP처리 기판과 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더의 계면에 Cu₆Sn₅화합물이 형성되었으며 열충격 1000 cycle 후에도 Cu₃Sn화합물은 관찰되지 않았다. Ni/Au처리 기판의 경우, 칩상의 Ni₃Sn₄형성 하였으며 열충격 1000cycle 후, 접합계면에 (Cu,Ni)₃Sn₄이 생성되었다. Cu₆Sn₅, Ni₃Sn₄등과 같은 금속간 화합물을 취성을 갖고 있지만, 파단 모드를 관찰해 보면 솔더 또는 솔더/리드의 계면, 동박 파단의 경우이기 때문에 기판 표면처리에 따른 강도의 변화가 없었다.

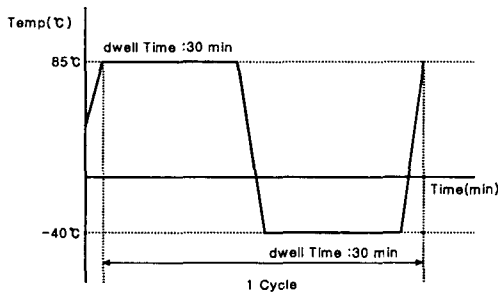


Fig. 1 Thermal shock profile.

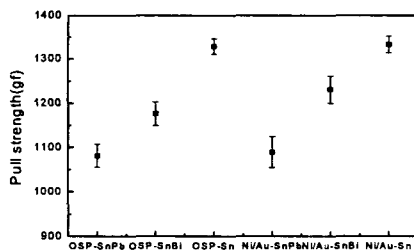
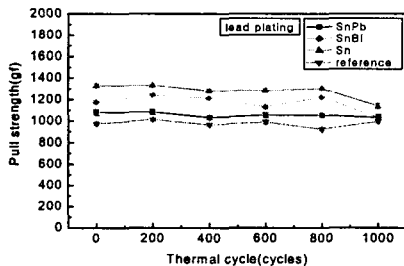
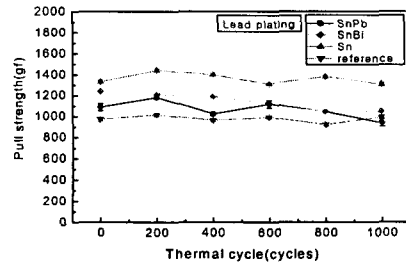


Fig. 2. Pull strengths of QFP leads as soldered state.



a) OSP-PCB



b) Ni/Au-PCB

Fig3. Pull strength after thermal shocks (-40°C/+85°C)

(*reference : Sn-37Pb solder, OSP-PCB, SnPb-Lead)

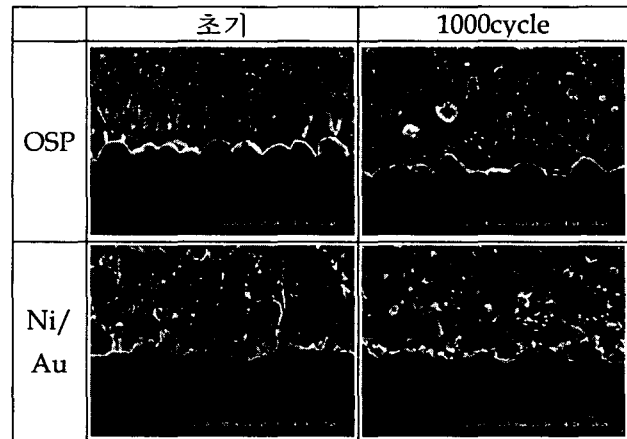


Fig. 4 Interfacial microstructure of Sn-3Ag-0.5Cu Joints on various PCB treatment.

참고문헌

1. Yoong-Sun Kim, Keun-Soo Kim, Chi-Won Hwang, Katsuaki Suganuma. Effect of composition and cooling rate on microstructure and tensile properties of Sn-Zn-Bi alloys. Journal of Alloys and Compounds 352 (2003) 237-245.
2. T.Hirano, K. Fukuda, K. Ito, T. Kiga, Y. Taniguchi. reliability of Lead Free Solder Joint by Using Chip Size Package. IEEE 2001 285-288.
3. Yu Qiang, Shiratori Masaki, Kim Do-Seop. Strength evaluation
4. Akio Hirose, Toshio Fujii, Takeshi Imamura, Kojiro F. Kobayashi. Influence of interfacial reaction on reliability of QFP joints with Sn-Ag based Pd-free solders. Materials Transactions. Vol. 42, No. 5(2001) pp.794-802