

P3 무연 솔더 볼의 공정조건 최적화에 관한 연구 (A Study on the Process Condition Optimization of Lead Free Solder Ball)

김경섭, 선용빈*, 장호정**, 유정희***, 김남훈****, 장의구****
여주대학 전자공학과, *경기대학교 산업정보대학원, **단국대학교 전자공학과,
한국전자통신연구원, *중앙대학교 전자전기공학부

Abstract

This article presents that the affecting factors to solderability and initial reliability. It was discussed that effect of the solder ball hardness and composition on the reliability of solder joints. In this study, lead free solder alloys with compositions of Sn-Cu, Sn-Ag, Sn-Ag-Cu, Sn-Ag-Cu-Bi were applied to the μ BGA packages. As a result of experiments, the high degree of hardness with the displacement of 0.22mm was obtained Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi. The shear strength of lead free solder was higher than of Sn-37Pb solder, and it was increased about 150% in Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi.

1. Introduction

고밀도 실장 패키지의 한 종류인 μ BGA(Micro Ball Grid Array)의 경우 최근 휴대폰, 노트북, 메모리 카드 등의 분야에서 폭넓게 채용되고 있는 추세이다. μ BGA는 기존의 BGA 패키지가 적용하고있는 솔더 볼의 크기가 0.76mm에 비해 작아진 0.3~0.35mm이고, 0.75mm의 미세 패드피치를 가지고 있다.¹⁾ 때문에 기존보다 솔더링성(solderability)과 미세 솔더 접합부의 신뢰성 관점에서 취약할 것으로 판단된다.²⁾

또한 환경에 대한 관심이 높아지면서 세계각국에서 납을 배제한 무연 솔더(lead free)의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 납이 함유된 솔더는 지난 50년간 솔더 페이스트와 외부 리드의 lead finish 재료로 사용되어 왔다. 특히 다양한 전자기기의 실장기판에 사용되어져 왔던 솔더 내부에 함유된 납의 환경 유해성 문제가 거론되면서 납을 대체하기 위한 무연 솔더 재료와 그 접합기술이 중요한 과제로 대두되고 있으며, 현재 활발한 연구가 진행되고 있다.^{3~6)} 무연 솔더 재료는 용융 온도가 높아 기존 전자제품의 부품에 적용하기 어려워 용융 온도가 낮은 소재 개발이 우선적으로 연구되고 있다.

본 논문에서는 μ BGA 패키지를 사용하여 현재 개발되고 있는 무연 솔더에 대한 공정 조건과 소재의 기계적 특성을 평가하여 Sn-37wt%Pb(이하 wt% 생략) 솔더와의 대체 가능성을 연구하였다.

2. Experimental

실험에 사용된 패키지는 48 μ BGA이며 Fig. 1에 패키지의 크기와 치수를, Fig. 2에 지름 300 μ m 인 패드 구조를 나타내었다. 패키지의 외관 크기는 6.3×6.2mm이고, 솔더 볼 크기는 지름이 0.35mm

이다. 패드 피치는 0.75mm이며, 베이스 필름은 UPILEX-S 타입으로 두께는 50 μ m이다. 플럭스는 수용성인 WS609을 사용하였고, 솔더 볼의 조성으로 유연 솔더는 Sn-37Pb를, 무연 솔더는 Sn-0.7Cu, Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-0.75Cu, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi의 4 종류를 사용하였다.

솔더 볼의 경도 측정은 UTM(Universal Test Machine)을 사용하여 무게를 50~500g까지 변화시켜 볼의 눌림 거리를 측정하였다. 이때 측정에 적용된 온도는 125 $^{\circ}$ C이다. 또한 패키지의 열 응력을 최소화하기 위해 리플로우 솔더링 최대 온도를 250 $^{\circ}$ C에서 240 $^{\circ}$ C로 10 $^{\circ}$ C 낮게 유지하였으며 온도가 낮아짐에 따른 젖음 불량을 방지하기 위해 유지시간(dwell time)을 5초에서 25초로 증가시켰다. Fig. 3에 실험에 사용된 무연 솔더의 리플로우 솔더링 온도 프로파일을 나타내었다.

솔더 볼의 전단강도는 3개의 시편을 대상으로 분당 테스트 PTR-1000을 사용하여, 0.2mm/sec 조건에서 실험하였다. 전단강도 값은 조성마다 3개 시편의 각각에서 25개의 볼을 대상으로 실험하였으며, 최대와 최소 값을 제외한 평균값을 구하였다. 파단면의 관찰은 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하였다.

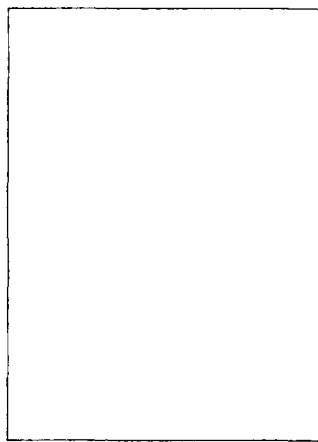


Fig. 1 Shape and size of 48 μ BGA

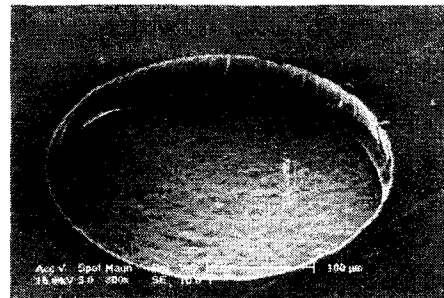


Fig. 2 SEM image of Cu pad

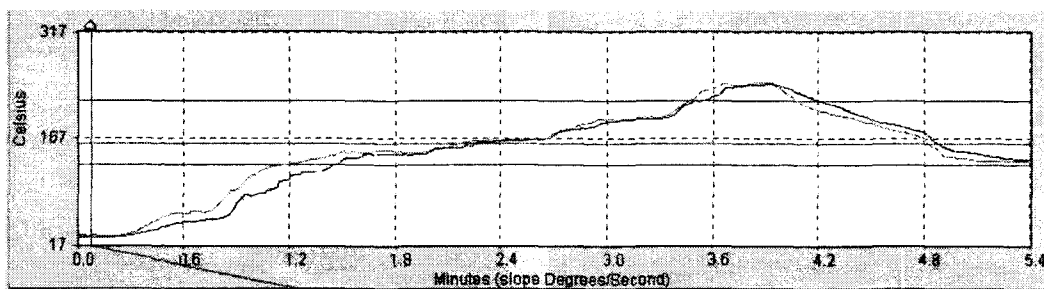


Fig. 3 Temperature profile for reflow soldering

3. Results and Discussion

솔더 볼의 경도는 강한 것이 테스트 소켓 접촉과 같이 반도체 테스트 공정에서 발생할 수 있는 외부의 충격에 강하기 때문에 볼 변형에 대한 불량을 최소화 할 필요가 있다. 솔더 볼의 경도를 측정하기 위해 하중을 변화시키면서 측정한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 경도는 Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi > Sn-3.5Ag-0.75Cu > Sn-3.5Ag > Sn-0.7Cu > Sn-37Pb 순이었으며, Sn-37Pb

에서 가장 낮은 경도 값을 얻었다. 300g에서 측정된 변위량을 비교하면 Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi의 0.043mm에서, Sn-0.7Cu는 120%, Sn-37Pb는 390% 정도 증가하였다. 이와 같은 결과는 Bi가 첨가 되면 솔더 볼의 기계적 강도 값이 대폭 증가하기 때문에 변위량은 상대적으로 작아지는 결과로 나타나게 된다. 따라서 Sn-0.7Cu를 제외한 무연 솔더에서는 테스트 공정에서 발생하는 볼 변형 불량률을 감소시키는 효과가 있을 것으로 생각된다. 하중 변화에 따른 경도 값 측정에서는 50~100g의 결과는 솔더 볼의 조성에 대해 큰 경도변화를 나타내지 않았고, 300~500g에서 경도값 차이가 뚜렷이 나타났다. 솔더 볼의 정확한 경도 값을 측정하기 위해서는 300g 이상의 하중 값이 적절한 것임을 확인하였다.

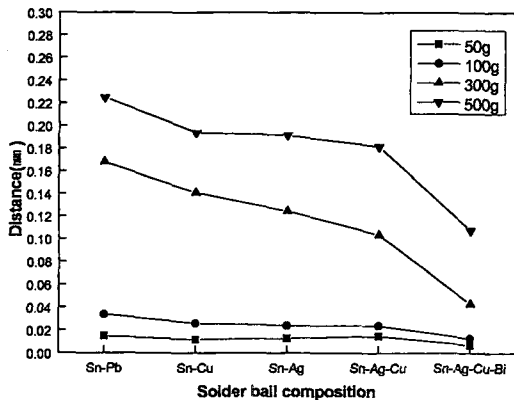


Fig. 4 Hardness of solder ball

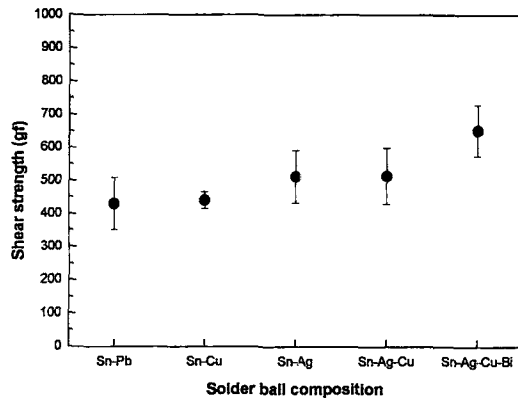


Fig. 5 Shear strength on the solder ball composition

리플로우 솔더링 공정에서 무연 솔더는 Sn-37Pb 솔더보다 용점이 높기 때문에 리플로우 솔더링시 기존 온도 프로파일 조건보다 높은 온도 영역을 설정하여야 한다. 그러나 솔더링 온도의 상승으로 패키지는 많은 열 응력을 받게 된다. 이러한 열 응력을 최소화하기 위해 최고 온도에서 유지시간을 길게 하고, 가능한 최고 온도를 낮게 유지할 필요가 있다. Sn-37Pb 솔더의 조건과 비교한 결과 용융 표면 조직, 전단강도에서 큰 차이점이 없었다. 전단강도는 Sn-3.5Ag-0.7Cu 조성의 솔더 볼을 측정 한 결과 240℃에서 514 gf을, 250℃에서는 524 gf를 나타내었다. 이와 같은 결과는 유지시간을 길게 하면 솔더 볼이 받는 열량이 많아지고, 솔더와 패드가 충분히 용융 반응을 하여 나타난 결과로 판단된다.

Fig. 5는 240℃, 25초의 리플로우 솔더링 조건에서 무연 솔더 조성별로 측정된 전단강도를 나타내었다. 그림에서와 같이 무연 솔더의 전단강도가 Sn-37Pb 솔더 보다 전반적으로 높음을 알 수 있었다. 특히, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi 솔더는 Sn-37Pb 솔더의 전단강도 값보다 약 200gf 증가하는 경향을 보였다. 이것은 솔더 볼에 함유된 Cu와 Bi로 인해 강도가 증가하고, Ag₃Sn과 같은 안정적인 금속간 화합물이 Sn 내에 분산된 것에서 기인한다. 그러나 Bi는 솔더의 강도는 증가하지만 취성으로 인해 연신율이 낮아지는 단점도 가지고 있다. Fig. 6은 3 종류의 솔더 조성을 대상으로 전단강도 실험 후 파단면의 형상을 나타내었다. 모든 솔더의 파단면에서 초기 연성 파단을 관찰할 수 있었다.

시편을 온도조건에 따라 시효 처리하여 솔더와 구리패드 사이에 형성된 금속간 화합물 층의 분석과 성장을 관찰하였다. Sn-37Pb 솔더의 경우 Cu와 Sn 그리고 Pb 사이에 형성되는 금속간 화합물은 Cu와 Pb의 고용도가 없으므로 Sn과 Cu가 고용되어 Cu₆Sn₅(η 상)와 Cu₃Sn(ε 상) 층이 관찰되었다. 무연 솔더의 경우에는 Cu₆Sn₅(η 상)와 Cu₃Sn(ε 상) 층이 관찰되었으며, 무연 솔더에 함유된 Ag와 Sn이 고용되어 Ag₃Sn(ε 상)이 관찰되었으나, 층을 형성하지 않고 덩어리 형태로 형성

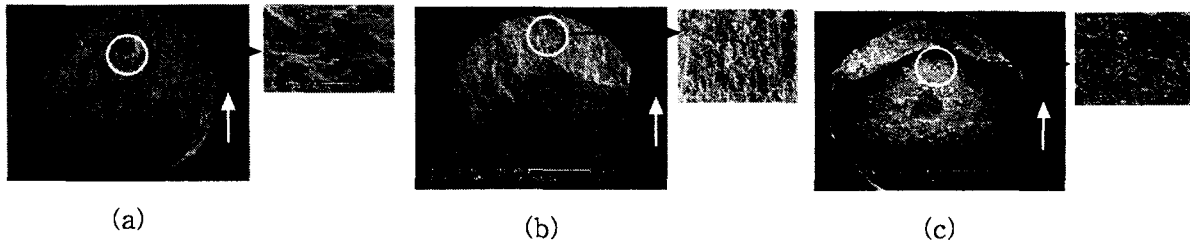


Fig. 6 Fracture surface of solder bump after shear strength test (a) Sn-Pb (b) Sn-Ag-Cu (c) Sn-Ag-Cu-Bi

되었다. Fig. 7에 각각의 조성에서 170°C, 900시간 시효처리 과정을 거친 뒤 형성된 금속간 화합물 층을 나타내었다. 금속간 화합물 층은 무연 솔더 조성에서는 두께가 약 5~6 μm 수준으로 형성되어 큰 유의차가 없었다. 그러나 Sn-37Pb 솔더에서는 무연 솔더보다 많은 약 8 μm 로 형성되었다.

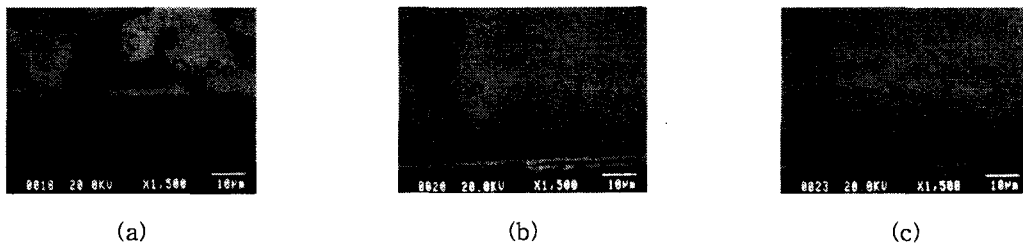


Fig. 7 Phases of the intermetallic compound layer after aging at 170°C for 900hrs (a) Sn-Pb (b) Sn-Ag-Cu (c) Sn-Ag-Cu-Bi

Sn-0.7Cu를 제외한 3 종류의 무연 솔더는 Sn-37Pb 솔더보다 큰 경도 값과 높은 전단강도 값을 나타내었다. 실제 전자제품이 사용되는 낮은 온도에서는 내부 조직의 변화가 적게 일어나 높은 강도를 장시간 유지할 수 있을 것이다. 따라서, 무연 솔더는 기계적 특성측면에서 Sn-37Pb 솔더를 대체할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- [1] J.Fjelstad, I.Mach, "Infrastructure for BGA packaging", Semiconductor Fabtech., (1998).
- [2] P.Boysan, "Influence of process variables on the reliability of microBGA package assemblies", IEEE, Trans. on Com., Vol. 21, pp.430~436 (1998).
- [3] S.K.Kang, Sarkhel, "Lead(Pb) free solders for electronic packaging", J.Electronic Materials, Vol. 23, pp.701~707 (1994).
- [4] Yoshiharu Kariya, Yasunori Hirata, "Effect of Thermal Cycles on the Mechanical Strength of Quad Flat Pack Leads/Sn-3.5Ag-X(X=Bi and Cu) Solder Joints," Journal of Electronic Materials", Vol. 28 , No. 11, pp.1263~1269 (1999).
- [5] D.Yoshitome, Y.Tanaka, "Development of reliable Sn-Ag lead free solder", Microjoining and Assembly Technology in Electronics", pp.403~408 (1999).
- [6] Kazuto Akagi, "Tacking of an unleaded solder", SEMICON Korea, pp.229~237 (2000).