

무연 솔더 볼의 전단강도와 공정조건 최적화에 관한 연구

김경섭 · 선용빈* · 장호정** · 유정희*** · 김남훈**** · 장의구****
여주대학 전자학과, *경기대학교 산업정보대학원, **단국대학교 전자컴퓨터학부
한국전자통신연구원 광통신연구팀, *중앙대학교 전자전기공학부

A Study on the Process Condition Optimization and Shear Strength of Lead Free Solder Ball

Kyung-Seob Kim, Yong-Bin Sun*, Ho-Jung Chang**, Chung-Hee Yu***,
Nam-Hoon Kim**** and Eui-Goo Chang****

Electronic Engineering, Yeojoo Institute of Technology, Yeojoo 469-800, Korea
*Graduate School of Industrial Technology, Kyong-Gi University, Suwon 442-760, Korea
**Electronic Engineering, Dan-Kook University, Cheonan 330-714, Korea
***Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 205-350, Korea
****School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

초 록: 48 μ BGA 패키지에 Sn-37Pb 공정 솔더와 Sn-0.7Cu, Sn-3.5 Ag, Sn-2.0Ag-0.75Cu, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi 4종류의 무연 솔더를 적용하여, 미세 솔더 볼의 경도와 조성에 따른 솔더 접합부의 전단강도에 대해서 연구하였다. 실험 결과, 솔더 볼의 짓눌림은 Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi에서 0.043 mm로 큰 정도 값을 얻었다. 또한 전단 강도 값은 무연 솔더가 Sn-37Pb 솔더보다 높았으며, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0 Bi에서 최대 52% 높은 값을 나타내었다.

Abstract: The eutectic solder Sn-37Pb and the lead free solder alloys with the compositions of Sn-0.7Cu, Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-0.75Cu, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi were applied to the 48 BGA packages, and then it was discussed for the shear strength at the solder joints as the hardness and the composition of the small solder ball. As a result of experiments, the high degree of hardness with the displacement of 0.043 mm was obtained in Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi. The shear strength of the lead free solder was higher than that of Sn-37Pb solder, and it can be obtained the maximum value of about 52% in Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi.

Key Words: lead free, shear strength, hardness, μ BGA, soldering

1. 서 론

전자 제품의 소형·경량화, 고속화, 고기능화에 따라 솔더 볼을 사용하는 먼 실장 패키지 기술은 일반적인 패키징 기술이 되었다. 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 0.76 mm에 비해 작아진 0.3~0.35 mm이고,

0.75 mm의 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 진행되고 있다. 납이 함유된 솔더는 지난 50년간 솔더 페이스트와 외부 리드의 lead finish 재질로 사용되어 왔다. 특히 다양한 전자기기의 실장기관에 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.³⁻⁸⁾ 무연 솔더 재료는 용융 온도가 높아 기존 전자제품의 부품에 적용하기 어려워 용융 온도가 낮은 소재 개발이 우선적으로 연구되고 있다.

본 논문에서는 48 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. 실험

실험에 사용된 패키지는 48 μ BGA이며 Fig. 1에 패키지의 크기와 치수를, Fig. 2에 지름 300 μ m인 구리 패드 구조를 나타내었다. 패키지의 외관 크기는 6.3 \times 6.2 mm이고, 솔더 볼 크기는 지름이 0.35 mm이다. 패드 피치는 0.75 mm이며, 베이스 필름은 UPILEX-S 타입으로 두께는 50 μ m이다. 플럭스는 수용성인 WS609을 사용하였고, 솔더 볼의 조성으로 유연 솔더는 Sn-37Pb, 무연 솔더는 Sn-0.7Cu, Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-0.75Cu, Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi의 4종류를 사용하였다.

솔더 볼의 경도(hardness) 측정은 UTM (Universal Test Machine)을 사용하여 무게를 50~500 g까지 변화

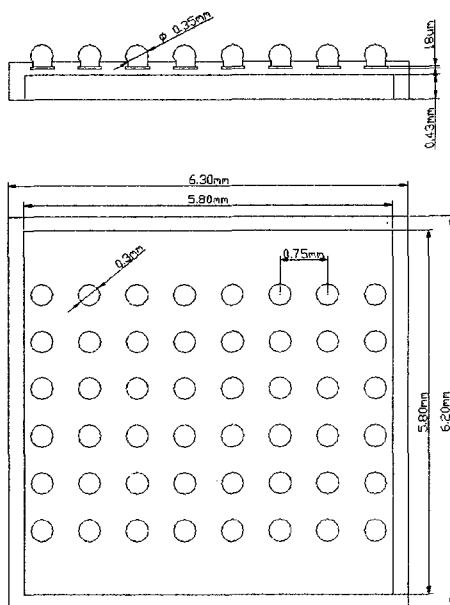


Fig. 1. Shape and size of 48 μ BGA.

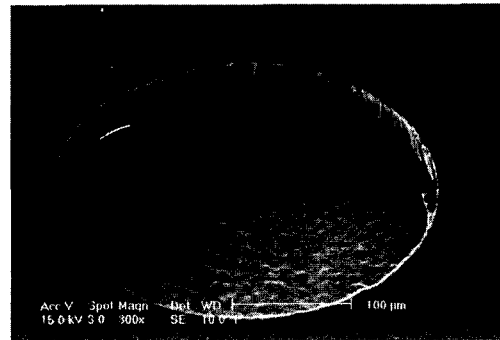


Fig. 2. SEM image of Cu pad.

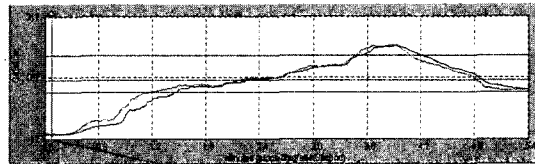


Fig. 3. Temperature profile for reflow soldering.

시켜 볼의 눌림 거리를 측정하였다. 이때 측정에 적용된 온도는 125°C이다. 또한 패키지의 열 응력을 최소화하기 위해 리플로우 솔더링 최대 온도를 250°C에서 240°C로 10°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. 시효 온도 170°C에서 0, 300, 600, 900시간 동안 시효처리 한 후에 전단강도를 측정하였다. 솔더 볼의 전단강도는 3개의 시편을 대상으로 분당 테스트 PTR-1000을 사용하여, 0.2 mm/sec 조건에서 실험하였다. 전단강도 값은 조성마다 3개 시편의 각각에서 25개의 솔더 볼을 대상으로 실험하였으며, 최대와 최소 값을 제외한 평균값을 구하였다. 미세 파단면의 관찰은 SEM (Scanning Electron Microscopy)과 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

솔더 볼의 경도는 강한 것이 테스트 소켓 접촉과 같이 반도체 테스트 공정에서 발생할 수 있는 외부의 충격에 강하기 때문에 솔더 볼 변형에 대한 불량을 최소화 할 필요가 있다. 솔더 볼의 경도를 측정하기 위해 하중을 변화시키면서 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 경도는 Sn-2.0Ag-0.7

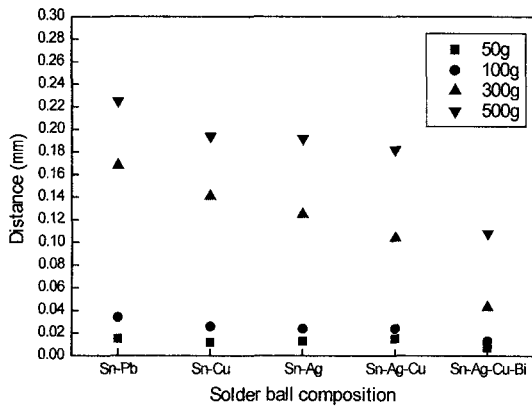


Fig. 4. Hardness on the solder ball composition.

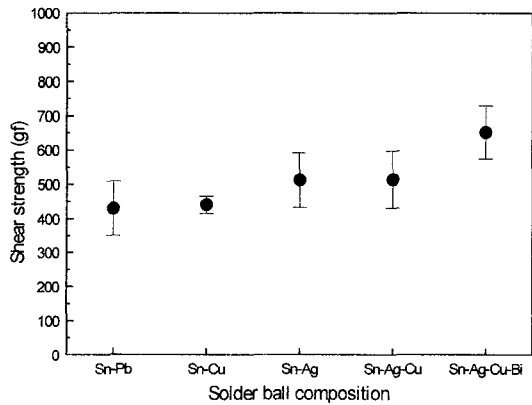


Fig. 5. Shear strength on the solder ball composition.

Cu-3.0Bi>Sn-3.5Ag-0.75Cu>Sn-3.5Ag>Sn-0.7Cu>Sn-37Pb 솔더 순이었다. 300 g 하중에서 측정된 변위량을 비교하면 Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi의 0.043 mm에서, Sn-0.7Cu는 약 230%, Sn-37Pb는 약 290% 정도 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Bi가 첨가되면 솔더 볼의 기계적 강도 값이 대폭 증가하기 때문에 변위량은 상대적으로 작아지는 결과로 나타나게 된다. 따라서 Sn-0.7Cu를 제외한 모든 무연 솔더는 테스트 공정에서 발생하는 볼 변형에 따른 불량률을 감소시키는 효과가 있을 것으로 판단된다. 하중 변화에 따른 경도 값 측정에서는 50~100 g의 결과는 솔더 볼의 조성에 대해 큰 경도변화를 나타내지 않았고, 300~500 g에서 경도값 차이가 뚜렷이 나타났다. 솔더 볼의 정확한 경도 값을 측정하기 위해서는 300~500 g 사이의 하중 값이 적절한 것임을 확인하였다.

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. 최고 온도 240°C에서 유지시간 25초 조건을 적용하여 제작된 시편을 Sn-37Pb 솔더의 기존 조건에서 제작된 시편과 비교한 결과 용융 표면 조직, 전단강도에서는 큰 차이점이 없었다. 초기 전단강도는 Sn-3.5Ag-0.7Cu 조성의 솔더 볼을 측정 한 결과 240°C에서 514 gf을, 250°C에서는 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°C, 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,

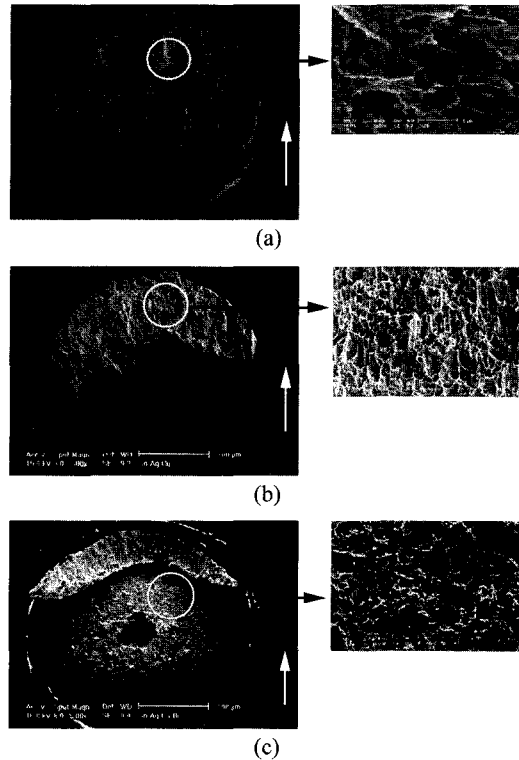


Fig. 6. Fracture surface of solder ball before aging (a) Sn-37Pb (b) Sn-3.5Ag-0.75Cu (c) Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi.

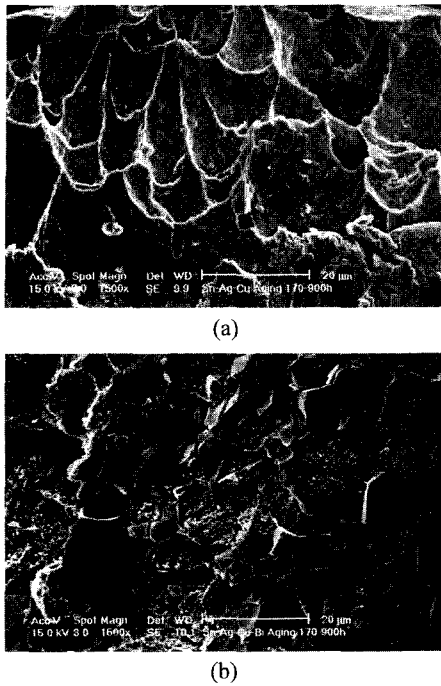


Fig. 7. Fracture surface of solder ball after aging at 170°C for 900 hrs (a) Sn-3.5Ag-0.75Cu (b) Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi.

Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi 솔더는 Sn-37Pb 솔더의 전단강도 값보다 약 220 gf 증가하는 경향을 보였다. 이것은 솔더 볼에 첨가된 Bi로 인해 강도가 증가하고, Ag_3Sn 과 같은 안정한 금속간 화합물이 Sn 내에 분산된 것에서 기인한다. 그러나 Bi는 솔더의 강도는 증가시키지만 취성으로 인해 연신율이 낮아지는 단점도 가지고 있다. Fig. 6은 3종류의 솔더 조성을 대상으로 시효처리 이전인 초기 전단강도 실험 후 파단면의 형상을 나타내었다. 모든 솔더의 파단면에서 초기 솔더 파단을 관찰할 수 있었다. 시효처리 한 후의 파단면에서는 연성파단 부분과 전단강도가 증가한 것을 볼 수 있었다. 전단강도 값의 증가는 금속간 화합물 층의 일정 두께까지는 두께의 증가에 따라 전단강도 값이 증가하나, 그 이상의 두께에서는 솔더 볼의 전단강도 값이 감소한다. 즉, 240°C, 25초의 리플로우 솔더링 조건에서는 임계 화합물 층의 두께를 넘어서지 못한 것으로 판단된다. 전단 파면을 관찰한 결과 Bi가 첨가된 솔더에서는 잔물결(dimple)형태의 연성파괴를 보였고, 재료는 시효처리에 따라 연성파괴에서 취성파괴로 천이됨을 관찰할 수 있었으며, 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

시편을 시효 처리하여 솔더와 구리패드 사이에 형

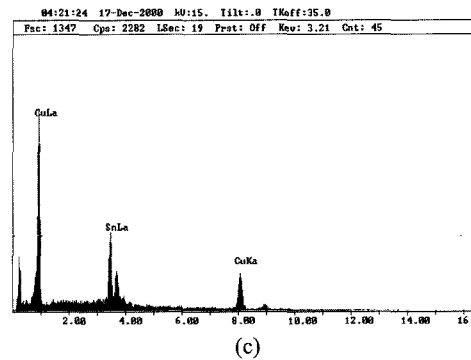
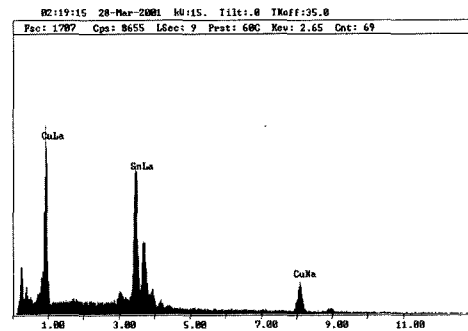
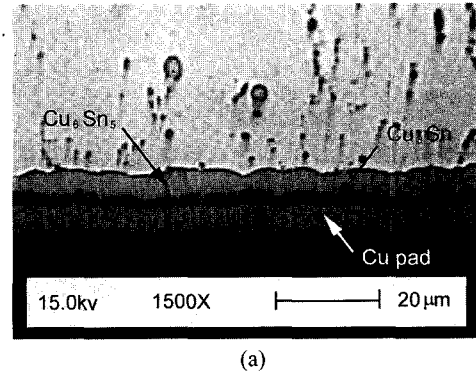


Fig. 8. Phases of the intermetallic compound layer by aging at 170°C for 900 hrs (a) SEM (b) Cu_6Sn_5 (c) Cu_3Sn .

성된 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 솔더쪽에 형성되는 Sn rich 화합물인 Cu_6Sn_5 와 구리쪽에 형성되는 Cu rich 화합물인 Cu_3Sn 층이 관찰되었다. 무연 솔더에서는 Cu_6Sn_5 와 Cu_3Sn 층이 관찰되었으며, 무연 솔더에 함유된 Ag와 Sn이 고용되어 Ag_3Sn 이 관찰되었으나, 층을 형성하지 않고 덩어리 형태로 형성되었다. Fig.

8(a)에 Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi 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 형성되었으며, Sn-37Pb 솔더와 비교하여 금속간 화합물 두께 변화에는 큰 차이가 없었다. 그러나 Sn-37Pb 솔더에서는 무연 솔더보다 두꺼운 약 8 μm 로 형성되었다. Fig. 8(b)와 (c)는 EDS 분석 결과로 솔더와 구리 패드 계면에서 형성된 금속간 화합물인 Cu_6Sn_5 와 Cu_3Sn 으로 사료된다.

4. 결 론

μBGA 에 Sn-37Pb 공정솔더와 4종류의 무연솔더를 접합하여 초기 솔더 볼의 경도와 시효처리에 따른 시효강도를 전단강도 값을 비교하여 검토하였다.

Sn-0.7Cu를 제외한 3종류의 무연 솔더는 Sn-37Pb 솔더보다 최대 290% 증가된 경도 값과 약 52% 향상된 전단강도 값을 나타내었다.

Sn-2.0Ag-0.7Cu-3.0Bi 솔더에서는 Sn-37Pb 솔더의 전단강도 값보다 약 220 gf 증가하는 경향을 보였다. 따라서 반도체 테스트 공정과 실제 전자제품이 사용되는 낮은 온도에서는 솔더 볼의 경도 증가에 따른 테스트 공정의 수율 향상 효과와 솔더 접합부 내부 조직의 변화가 적게 일어나 보다 향상된 신뢰성을 장시간 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. Fjelstad and I. Mach, "Infrastructure for BGA packaging," Semiconductor Fabtech., (1998).
2. P. Boysan, "Influence of process variables on the reliability of micro BGA package assemblies," IEEE, Trans. on Com., Vol. 21, pp. 430-436 (1998).
3. M. Schaefer and R.A. Fournelle, "Theory for intermetallic phase growth between Cu and liquid Sn-Pb solder based on grain boundary diffusion control," Journal of Electronic Materials, Vol. 27, pp. 1167-1176 (1998).
4. Yoshiharu Kariya and 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 and 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).
7. 신영의, 이석, "48 μBGA 에 적용한 무연솔더의 시효 처리에 대한 금속간 화합물의 특성," 마이크로전자 및 패키징학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 37-42 (2001).
8. 김경섭, 장의구, 선용빈, "플립 칩 솔더 범프의 접합강도와 금속간 화합물의 시효처리," 마이크로전자 및 패키징학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 35-41 (2002).