Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 18, No. 1, p. 35-39. 2011

고속전단시험의 표준화를 위한 Sn3.0Ag0.5Cu 솔더볼의 전단특성

정도현[1] · 이영곤[2] · 정재필[1,†]

[1]서울시립대학교 신소재공학과, [2]서울시립대학교 신소재공학과 (현, 광주과학기술원)

Shearing Characteristics of Sn3.0Ag0.5Cu Solder Ball for Standardization of High Speed Shear Test

Do-Hyun Jung[1], Young-Gon Lee[2] and Jae-Pil Jung[1,†]

[1]Dept. of Mater. Sci. and Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea
[2]University of Seoul, presently GIST, Gwangju, Korea

(2011년 2월 16일 접수: 2011년 3월 22일 게재 확정)

초 록: 고속전단시험의 표준화를 위한 기초 연구의 일부로 Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu 솔더 볼의 고속전단특성에 대한 연구를 수행하였다. 고속전단 시험편 제작을 위해 직경 450 μm의 솔더 볼을 FR4 PCB (Printed Circuit Board) 위에 장착한 후 245°C 온도에서 리플로 솔더링을 행하였다. PCB 상의 금속 패드로는 ENIG (Electroless Nickel/Immersion Gold, i.e Cu/Ni/Au)와 OSP (Organic Solderability Preservative, Cu 패드)를 사용하였다. 고속전단 속도는 0.5~3.0 m/s 범위, 전단 팁의 높이는 10~135 μm 범위에서 변화시켰다. 실험결과로서, OSP 패드의 경우 전단 팁 높이 증가에 따라 연성 파괴가 증가하였으며, 전단속도 증가에 따라 연성파괴는 감소되었다. ENIG 패드의 경우에도 전단 팁 높이 증가에 따라 연성파괴가 증가하였다. 전단 팁 높이 10 μm(볼 직경의 2%)는 패드 박리 파괴가 대부분이어서 전단파면 관찰에는 부적절한 높이였다. 고속전단에너지는 OSP 및 ENIG 패드 모두 전단 팁 높이 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다.

Abstract: Shearing characteristics of Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu ball for standardization of high speed shear test were investigated. The solder ball of 450 μm in diameter was reflowed at 245°C on FR4 PCB (Printed Circuit Board) to prepare a sample for the high-speed shear test. The metal pads on the PCB were OSP (Organic Solderability Preservative, Cu pad) and ENIG (Electroless Nickel/Immersion Gold, i.e Cu/Ni/Au). Shearing speed was varied from 0.5 to 3.0 m/s, and tip height from 10 to 135 μm. As experimental results, for the OSP pad, a ductile fracture increased with tip height, and it decreased with shearing speed. In the case of ENIG pad, the ductile fracture increased with the tip height. The tip height of 10 μm (2% of solder ball diameter) was unsuitable since the fracture mode was mostly pad lift. Shear energy increased with increasing shearing tip height from 10 to 135 μm for both of OSP and ENIG pads.

Keywords: high speed shear test, Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu, solder ball, shearing tip height, shear energy

1. 서 론

전자 제품의 솔더 접합부에 대한 기계적 신뢰성 시험법으로는 인장시험, 전단시험, 낙하시험, 박리시험, 굽힘시험, 가속수명시험 등 다양한 방법이 있다.[1-4] 솔더 접합부에 미치는 충격력에 대한 신뢰성 시험으로는 일반적으로 낙하시험(drop test)이 많이 사용되지만, 낙하시험은 보드 레벨의 시험으로 비용이 많이 들고, 결과 해석에 상대적으로 장시간이 소요되는 단점이 있다.[5] 이러한 단점 때문에 낙하시험을 대체할 방법으로, 비교적 간단한 패키지 레벨 시험법인 전단시험이 있는데, 이 중 고속전단시험은 전단속도가 낙하시험을 대체할 만큼 충분히 빠르고, 비용이 적게 들며 결과 해석이 빠르고 시편 제작이 쉽다는 장점이 있다.[6]

전단시험의 규격으로 JEDEC의 전단시험에 관한 규정인 JESD22 B117[7]이 2001년에 제정되고 2006년에 개정되었다. JEDEC 규격에는 전단속도에 관해 저속(0.0001~0.0008 m/s)과 고속(0.01~1.0 m/s) 두 경우로 나누고 있고, 전단 팁 높이는 솔더범프 높이의 25% 이하로 제한하고 있다. 또한 JEDEC규격(JESD22-B117)은 760 μm 크기의 솔더 볼을 기준으로 규정되어 있다. 그러나, 최근 고속 전단시험은 전단속도를 1.0 m/s 이상으로 수행하는 경우도 많고, 고밀도 패키징으로 인하여 산업계에서 요구하는 솔더 볼의 크기는 더욱 작아지고 있다. 고속전단에 대한 기존의 연구로 Song 등[8,9] 이 전단속도를 3.0 m/s 까지 증가시켰으나 전단 팁의 높이가 50 μm 로 고정되어 있어서 팁

†Corresponding author
E-mail: jpjung@uos.ac.kr

높이의 영향에 대한 연구가 없다. 또, Chia 등의 연구 [10]에서는 최고 전단속도가 약 0.05 m/s 정도로 고속전단 연구에는 다소 부족함이 있었다. 저자들의 기존 연구[11]는 주로 전단 강도에 관한 것으로, 전단에너지 및 전단 모드의 상세한 분석에 관한 연구가 부족하다. 고속전단시험 규격의 보완을 위해서라도 좀 더 높은 고속 전단속도와 더 작은 솔더 볼에 대한 고속 전단시험이 필요하게 되었다.

이러한 산업계의 추세와 연구 상황에 따라 본 연구는 고속전단에 관한 규격의 미비한 점을 보완하고 고속전단에 관한 보다 다양한 연구를 수행하기 위한 기초 연구의 일부로 수행되었으며, 고속전단 파면 모드 및 전단 에너지에 미치는 전단 팁 높이의 영향에 대해 살펴보았다.

2. 실험 방법

2.1. 고속 전단시험 시편제작

시편 제작에 사용된 솔더 볼의 조성은 무연 솔더로 일반적으로 많이 사용되고 있는 Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu 이며, 솔더 볼의 직경은 450 μm로 하였다. PCB (Print Circuit Board) 기판으로는 FR-4를 사용하였으며, 기판의 크기는 15×15×1 mm(t)로 하였다. 기판의 패드는 OSP (Organic Solderability Preservative, Cu), ENIG (Electroless Nickel/Immersion Gold) 두 종류로 하였으며, 패드의 개구부는 솔더 볼의 70% 가량의 크기인 직경 320 μm로 형성하였다. ENIG층은 Cu/Ni/Au로 구성되었으며, 각 층의 두께는 각각 24 μm, 5.5 μm, 0.05 μm로 구성되었고, OSP 패드는 Cu 두께 24 μm로 하였다. 기판상의 Cu 패드는 8×8의 배열로 형성하였으며, 솔더 볼의 배열은 JEDEC 규격 (JESD22-B177A)에서 규정하고 있는 +자형 및 ㄱ자 배열 중, +자형은 전단 중 일부 볼이 전단 팁에 닿는 경우가 있기 때문에 본 연구에서는 ㄱ자 배열로 하였다 (Fig. 2 참조).

솔더 볼의 리플로(reflow)를 위하여 예열은 온도 150-180°C 범위에서 150초 동안 유지하였으며, 최고 온도 245°C에서 4초간 유지하였다. Fig. 1에 가열냉각 온도 곡선을 나타내었다.

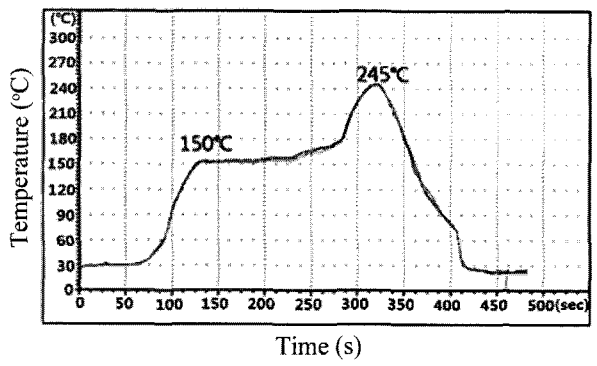


Fig. 1. Temperature profile for reflow soldering.

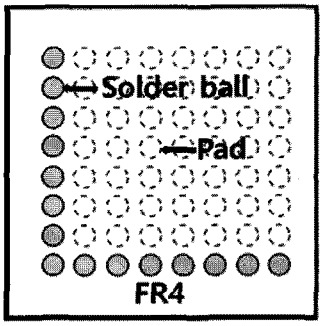


Fig. 2. Solder ball array for high speed test.

2.2. 고속 전단시험

JEDEC에서는 전술한 것처럼 전단 팁의 높이를 솔더 볼의 25%를 이하를 권장하고 있으며, 너무 낮을 경우에는 기판 표면과 접촉이 발생할 수 있다. 본 실험에서 전단 팁의 높이는 기판 표면으로부터 10 μm(볼 직경의 2%), 50 μm(볼 직경의 11%), 135 μm(볼 직경의 30%)으로 하였으며, 전단시험을 위한 솔더 볼의 전단속도는 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 m/s로 하였다. 고속 전단시험은 각 조건별로 20회 실시하였다. 고속 전단시험을 통하여 솔더 볼의 전단 강도 및 전단 에너지를 측정하였다. 전단 에너지의 측정은 이미지 분석 프로그램인 AxioVision Rel. 4.7 프로그램을 이용하여 측정하였다. 고속 전단시험 후 솔더 볼의 파괴모드 및 성분분석을 위하여 FE-SEM (Scanning Electro Microscope)와 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1. 고속전단 파괴 모드 분석

고속 전단파단면을 분류하기 위하여 EDS를 이용하여 면분석을 실시하였다(Fig. 3 참조). Fig. 3(a)에 보인 파면은 솔더에서 파괴된 연성파면으로, 파단면에서 Sn이 주로 검출되었다. Fig. 3(b)의 경우 Sn/Cu 접합계면에서 파괴된 취성파면으로, 파단면에서 Sn과 Cu가 골고루 검출되었다. 이 결과를 바탕으로 Cu가 Sn보다 검출되는 영역이 넓으면 준취성(quasi-brittle) 파괴, Sn이 Cu보다 많은 영역에서 검출되면 준연성(quasi-ductile) 파괴로 판단하였다. 또, 패드에서 파괴가 일어나는 경우(Fig. 3(c) 참조) 패드 박리(pad lift)로 분류하였으며, 총 5가지로 파면을 구분하였다.

Fig. 4는 OSP 패드의 파단모드 분포를 보인 것이다. 전단 팁의 높이가 증가할수록 패드 박리는 감소하고, 약간의 데이터 분산은 있으나 연성파괴 혹은 준연성파괴의 증가가 나타났다. 예를 들어, 전단속도 2.0 m/s일 때, 전단 팁의 높이가 10, 50, 135 μm으로 증가됨에 따라 패드 박리는 각각 85.4%, 66.7%, 56.3%로 감소하였으며, 준연성파

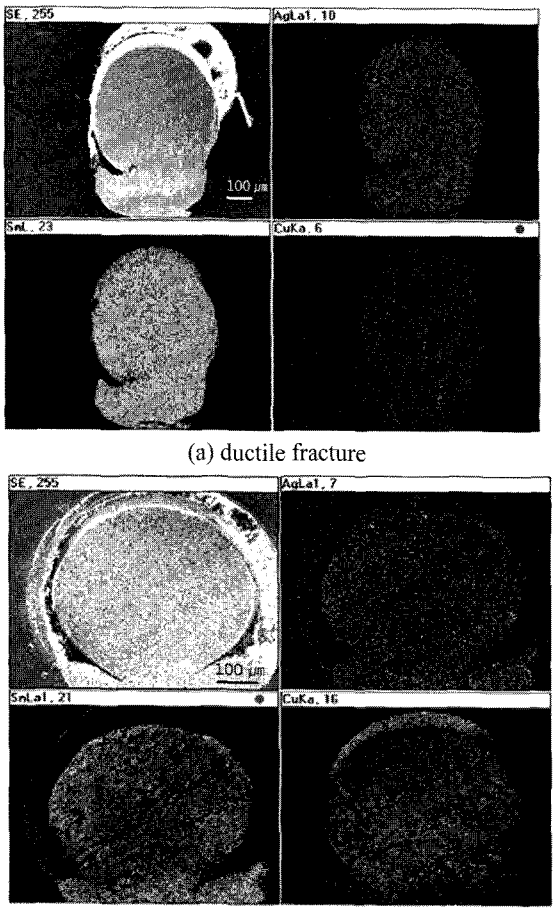


Fig. 3. Fracture surface modes of solder ball after high speed shear test and their EDS mapping analysis.

괴는 각각 6.3%, 27.1%, 27.7%로 증가되었다(Fig. 4(c) 참조).

한편, 전단속도가 커질수록 패드 박리는 증가하고, 연성파괴는 감소하는 것으로 나타났다. 예를 들어 전단 팁의 높이 50 μm일 때 전단속도를 0.5, 1, 2, 3 m/s로 증가시킴에 따라, 패드 박리는 각각 13.6, 40.5, 65.2, 74.6%로 증가하였으며, 준연성 파괴는 각각 61.4, 26.2, 26.1, 4.4%로 감소하는 것으로 나타났다. 전단속도가 커질수록 연성파괴가 감소하는 이유는 높은 전단속도의 경우 낮은 전단속도에 비해 전단시험 시 솔더 볼 내부의 전위의 활성화 및 이동 시간이 충분하지 않아 전위가 엉키기 쉽다. 이로 인해 전단강도가 증가하는 것으로 사료되며 이 경우 파단면은 연성 파괴보다 취성 파괴 경향을 나타낸다.[12]

Fig. 5에 OSP 패드의 파단모드를 나타내었다. ENIG 패드의 경우 전단 팁의 높이가 증가할수록 패드 박리는 감소하고, 약간의 데이터 분산은 있으나 연성파괴 혹은 준연성파괴의 증가가 나타났다. 예를 들어 전단속도 3.0 m/s일 때 이러한 경향이 분명히 나타나는데, 전단 팁의 높이가 10, 50, 135 μm으로 증가됨에 따라 패드 박리는 각각 85.3%, 64.3%, 30.4%로 감소하였으며, 준연성 파괴는 각각 0%, 21%, 25.7%로 증가되었다(Fig. 5(d) 참조).

전단 팁의 높이가 일정할 때 전단속도가 커져도 패드 박리의 증가 경향은 특별히 관찰되지 않았으며, 연성파괴도 감소하는 경향을 나타내지 않았다. 예를 들어 전단 팁의 높이 50 μm일 때 전단속도를 0.5, 1, 2, 3 m/s로 증가시킴에 따라, 패드 박리는 각각 84.8, 86.4, 45, 64.2%로 일정한 변화 경향을 나타내지 않았으며, 연성파괴 및 준연성

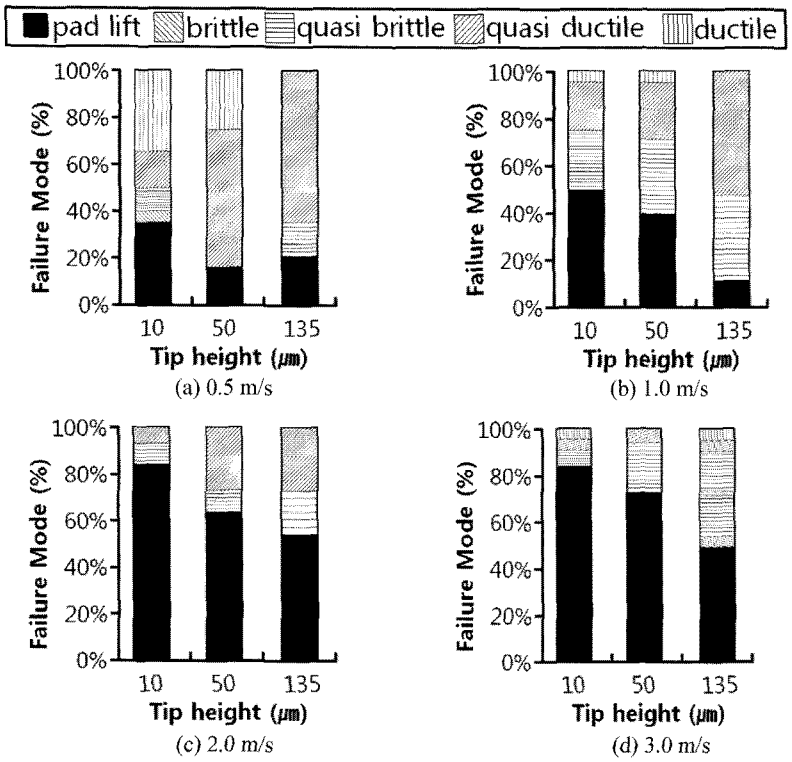


Fig. 4. Failure modes of solder ball obtained by high speed shear test according to shearing tip height for OSP pad.

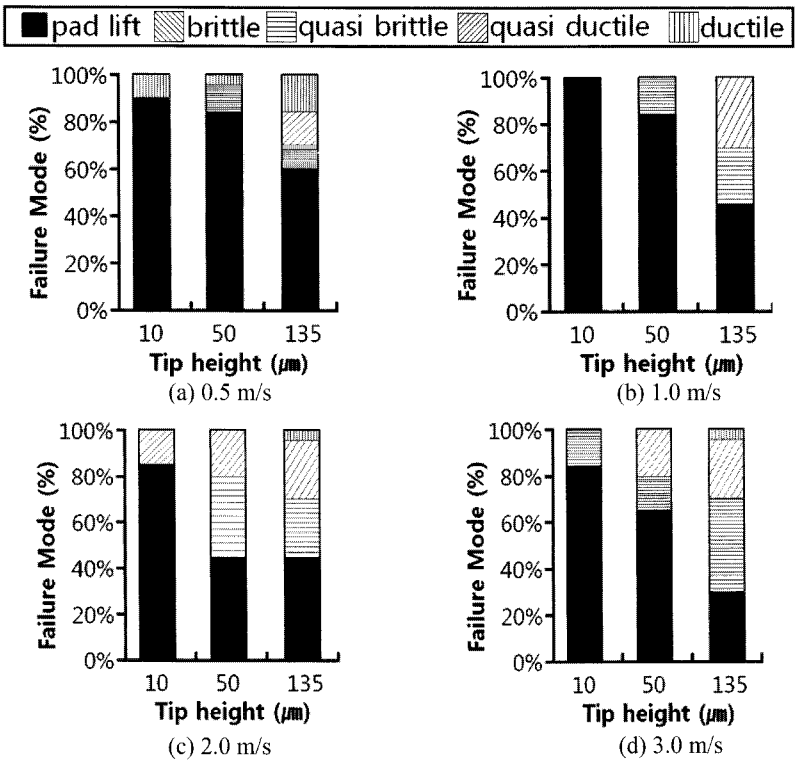


Fig. 5. Failure modes of solder ball obtained by high speed shear test according to shearing tip height for ENIG pad.

파괴도 특별한 파괴경향을 보이지 않았다. OSP 패드의 결과와 다른 ENIG 패드의 이러한 결과의 원인은 아직 분명히 밝히지 못 하였다. 금후 파면 및 상호 다른 금속간화합물의 특성(OSP의 경우 Cu6Sn5 등, ENIG의 경우 Ni3Sn4 나 (Cu,Ni)3Sn4 등)이나 Cu 패드의 접합 강도 등에 대한 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 5(b)의 결과에서 전단 팁의 높이가 10 μm(볼 크기의 2.2%) 전단속도 1.0 m/s일 때에는 전부 패드 박리가 발생하였으며, 다른 전단 속도에서도 패드 박리의 파괴 비율이 높게 나타났다. 패드 박리는 솔더의 파면형상을 정확히 판단하기 어렵기 때문에, 10 μm는 전단 팁의 높이로 적절치 않은 것으로 판단된다.

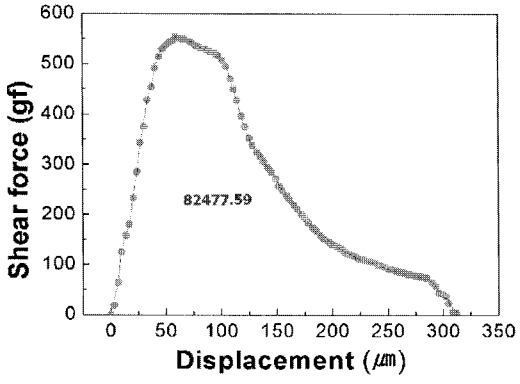


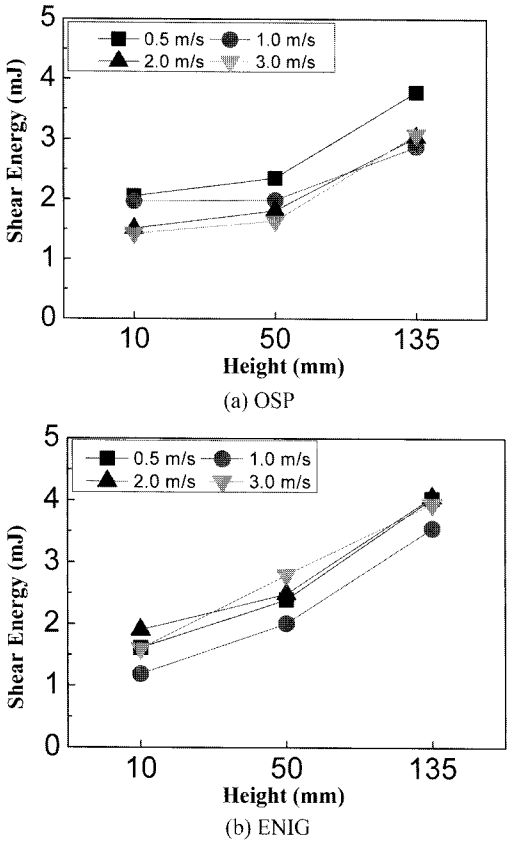
Fig. 6. Shear force vs. tip displacement curve during high speed shearing test.

3.2. 고속전단 에너지

고속 전단시험에서 전단 에너지가 전단 강도보다 솔더 범프 파면의 변화에 더 민감하기 때문에, 전단 파면 분석에는 전단 에너지가 전단 강도보다 더 유리하다고 알려져 있으며[6, 7], 본 절에서도 전단 팁 높이에 따른 전단 에너지변화에 대해 검토하였다. 전단 에너지는 다음과 같이 측정하였다. 즉, Fig. 6은 SAC305 볼을 OSP 패드에 솔더링한 후 0.25 m/s로 고속전단한 결과를 보인 것이다. 전단 에너지는 전단 강도-이동거리 곡선 아래의 면적에 해당한다. 곡선아래의 면적을 AxioVision Rel. 4.7 프로그램으로 계산하면 약 82478 gf·μm이 되며 이것은 0.82 mJ에 해당된다.

Fig. 7은 전단 팁 높이의 변화에 따른 전단 에너지 변화를 보인 것이다. OSP 패드의 경우, 전단 팁 높이가 높아질수록 전단에너지가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7(a) 참조). 예를 들어, 전단속도가 2.0 m/s 인 경우, 전단 팁의 높이를 10, 50, 135 μm로 증가시킴에 따라 전단 에너지는 각각 1.5, 1.8, 3.0 mJ로 증가되었다.

ENIG 패드의 경우도, 전단 팁 높이가 높아질수록 전단 에너지가 증가하는 경향을 보였다(Fig.7(b) 참조). 예를 들어, 전단속도가 2.0 m/s 인 경우, 전단 팁의 높이를 10, 50, 135 μm로 증가시킴에 따라 전단 에너지는 각각 1.9, 2.5, 4.1 mJ로 증가되었다. 전단에너지는 전단시험에서 얻어지는 전단거리-전단강도 곡선의 아래 면적으로부터 구한다.[11] 전단 팁 높이 증가에 따라 전단에너지가 증가하는



(a) OSP

(b) ENIG

Fig. 7. High speed shear energy of SAC305 solder ball with shearing tip height (solder ball diameter; 450 μm).

이유는 패드 파괴가 많은 10 μm의 경우, 전단거리가 50, 135 μm 높이에 비해 상대적으로 짧기 때문에 전단에너지가 적은 값을 보이는 것으로 판단된다. 반면, 전단 팁 높이가 50, 135 μm로 높아질수록 연성파괴가 증가하고 패드 파괴가 줄어들므로 전단거리가 길어져서 전단거리-전단강도 곡선의 아래 면적이 커지기 때문에 전단에너지가 증가되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

Sn-3.0%Ag-0.5%Cu 솔더 볼(직경 450 μm)을 ENIG 및 OSP 패드 위에 리플로 솔더링한 후, 전단 팁 높이(10~135 μm) 및 전단속도(0.5~3.0 m/s)를 변화시키며 고속전단 시험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전단 팁 높이 및 전단속도에 따른 전단파면은 연성파괴, 준연성파괴, 취성파괴, 준취성파괴, 패드 박리 5가지로 나누어졌다. 이 중 전단 팁 높이 10 μm(솔더 볼 직경의 2%)인 경우, 대부분 패드 박리가 발생하여 파괴 특성 파악에는 부적절한 높이였다.

2. OSP 패드의 경우, 전단 팁의 높이가 증가할수록 패드 박리는 감소하고, 연성파괴 혹은 준연성파괴의 증가 경향이 나타났다. 또, 전단속도가 커질수록 패드 박리는 증가하고, 연성파괴는 감소하는 것으로 나타났다. ENIG의 경우 전단 팁의 높이가 증가할수록 패드 박리는 감소하고, 준연성파괴의 증가가 나타났다.

3. ENIG 및 OSP 패드 시편 모두 전단 팁의 높이를 10 μm에서 135 μm로 증가시킴에 따라 전단속도에 무관하게 전단에너지는 증가하였으며, 이는 전단 팁 높이를 높일수록 연성파괴 비율이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 표준기술력향상사업(B0009825)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. Ko, S. Yoo and C. Lee, "Evaluation on Reliability of High Temperature Lead-free Solder for Automotive Electronics", J. Microelectron. Packag. Soc., 17(4), 35 (2010).
2. I. Jang, J. Park and Y. Ahn, "Standardization of Bending Impact Test Methods of Sn-Ag-Cu Lead Free Solder Ball", J. Microelectron. Packag. Soc., 17(1), 55 (2010).
3. W. S. Hong and C. Oh, "PoF Based Accelerated Life Prediction with 3 Dimensional Packaging Technology Development", J. Kor. Weld. Join. Soc., 27(3), 10 (2009).
4. Y. Lee, K. Kim, J. Ahn, J. Yoon, M. Ko and S. Jung, "Effect of Multiple Reflows on the Mechanical Reliability of Solder Joint in LED Package", J. Kor. Inst. Met. & Mater, 48(11), 1035 (2010).
5. Y. L. Huang and K. L. Lin, "The Micro-impact Fracture Behavior of Lead-free Solder Ball Joints", J. Mater. Res, 23(4), 1057 (2008).
6. C. Yeh and Y. Lai, "Support Excitation Scheme for Transient Analysis of JEDEC Board-level Drop Test", Microelectronics & Reliability, 46, 626 (2006).
7. ESD22-B117A, JEDEC Solid State Technology Association (2006).
8. F. Song, S. W. R. Lee, K. Newman, B. Sykes and S. Clark, "High-speed Solder Ball Shear and Pull Tests Vs. Board Level Mechanical Drop Tests: Correlation of Failure Mode and Loading Speed", Proc. 9th Electron. Packag. Technol. Conf. (EPTC), Reno, 1504, IEEE (2007).
9. F. Song, S. W. R. Lee, K. Newman, B. Sykes and S. Clark, "Brittle Failure Mechanism of SnAgCu and SnPb Solder Balls during High Speed Ball Shear and Cold Ball Pull Tests", Proc. 9th Electron. Packag. Technol. Conf. (EPTC), Reno, 364, IEEE (2007).
10. J. Y. H. Chia, B. Cotterell and T. C. Chai, "The Mechanics of the Solder Ball Shear Test and the Effect of Shear Rate", Mater. Sci. Eng. A, 417, 259 (2006).
11. Y. Lee, H. Lee, J. Moon, J. Park, S. Han and J. Jung, "Characteristics of the High Speed Shear Test for Sn-3.0wt%Ag-0.5wt%Cu Solder Ball Joints", J. Kor. Inst. Met. & Mater, 47(9), 580 (2009).
12. C. R. Siviour, D. M. Williamson, S. J. P. Palmer, S. M. Walley, W. G. Proud and J. E. Field, "Dynamic Properties of Solders and Solder Joints", Journal de Physique IV, 110, 477 (2003).