

Sn-0.7Cu-xZn와 OSP 표면처리 된 기판의 솔더접합부의 고속 전단강도에 미치는 Zn의 영향

최지나 · 방제오 · 정승부[†]

성균관대학교 신소재공학부

Effect of Zn content on Shear Strength of Sn-0.7Cu-xZn and OSP surface finished Joint with High Speed Shear Test

Ji-Na Choi, Jae-Oh Bang, and Seung-Boo Jung[†]

School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University, 2066, Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16419, Korea

(Received January 6, 2016; Corrected March 7, 2017; Accepted March 10, 2017)

초 록: 본 연구에서는 Sn-0.7Cu-xZn 무연솔더와 OSP 표면처리 된 솔더접합부의 전단강도를 Zn 함유량에 따라 평가하였다. 다섯 종류의 Sn-0.7Cu-xZn (x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt.%) 솔더페이스트를 제작한 뒤, OSP(organic solderability preservative) 표면처리 한 PCB(printed circuit board) 기판의 전극에 리플로우 공정으로 180 μ m 직경의 솔더볼을 형성하였다. 전단강도는 두 가지 조건의 전단속도(0.01, 0.1 m/s)로 고속전단시험(high speed shear test)을 통해 측정하였고, 고속 전단시험 시에 측정된 F-x(Force-distance) curve를 통해 파괴에너지(fracture energy)를 계산하였다. SEM(주사전자현미경, scanning electron microscopy)과 EDS(energy dispersive spectroscopy) 분석을 통하여 단면과 파단면을 관찰하였고, 금속간 화합물(intermetallic compound, IMC) 층을 분석하였다. Zn 함유량이 증가함에 따라 금속간 화합물 층의 두께는 감소하였고, Zn 함유량이 0.5 wt.%일 때 가장 높은 전단 강도(shear strength)를 나타내었다. 전체적으로 높은 전단속도 조건의 전단강도 값이 낮은 전단속도 조건의 전단강도보다 높았다.

Abstract: We investigated effect of Zn content on shear strength of Sn-0.7Cu-xZn and OSP surface finished solder joints. Five pastes of Sn-0.7Cu-xZn (x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt.%) solders were fabricated by mixing of solder powder and flux using planetary mixer. 180 μ m diameter solder balls were formed on OSP surface finished Cu electrodes by screen print method, and the reflow process was performed. The shear strength was evaluated with two high shear speeds; 0.01 and 0.1 m/s. The thickness of the intermetallic compound(IMC) layer was decreased with increasing Zn content in Sn-0.7Cu-xZn solder. The highest shear strength was 3.47 N at the Zn content of 0.5 wt.%. As a whole, the shear strength at condition of 0.1 m/s was higher than that of 0.01 m/s because of impact stress. Fracture energies were calculated by F-x (Force-displacement) curve during high speed shear test and the tendency of fracture energy and that of shear strength were good agreement each other. Fracture took place within solder matrix at lower Zn content, and fracture occurred near the interface of OSP surface finished Cu electrode and solder at higher Zn content.

Keywords: High speed shear test, Lead free solder, Zn content, Shear strength, Fracture energy

1. 서 론

전자 제품에서 솔더는 전자부품 간의 기계적, 전기적 연결을 위해 사용되는 재료이다. 재료로는 Sn-Pb 유연 솔더가 기계적, 물리·화학적, 열적 특성 등이 우수하여 가장 광범위하게 사용되어 왔으나, Pb의 사용을 규제하는 법안인 RoHS(Restriction of hazardous substance in electrical

and electronic equipment) 규제가 2006년 7월부터 시행되면서. 유연 솔더를 납이 포함되어 있지 않은 무연 솔더로 대체하려는 연구가 활발히 진행되어 왔다.¹⁻³⁾

무연 솔더로는 Sn-Ag, Sn-Ag-Cu, Sn-Ag-Bi, Sn-Ag-Zn, Sn-Cu 등 여러 종류의 솔더가 연구되었으나 공정요인, 기계적, 전기적 특성, 신뢰성 등의 평가를 거쳐 실제로는 Sn-Ag-Cu 삼원계 솔더가 가장 많이 보급되었으며, 현재

[†]Corresponding author
E-mail: sbjung@skku.edu

© 2017, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Test conditions and materials of high speed shear test.

Shear test condition	
Solder composition	Sn-0.7Cu-xZn (x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 wt.%)
Pad opening (μm)	120
Solder ball height (μm)	180
Substrate	FR-4
Electrode finish	OSP
Shear speed (m/s)	0.01 and 0.1
Shear height (μm)	30

Sn-3.0Ag-0.5Cu(SAC 305)가 업계의 표준으로서 가장 널리 사용되고 있다.³⁻⁷⁾

전자부품 산업에서 솔더의 비용 또한 무연솔더의 적용에 매우 중요하게 작용하는 요인이다. 최근에는 가격 경쟁력뿐만 아니라 낙하충격 신뢰성 측면에서도 Ag 함유량이 낮은 솔더에 대한 요구가 늘어나고 있다. 대부분의 무연 솔더 합금은 Sn-Pb 솔더 합금에 비해 2~3배 정도 높은 비용을 요구하는 반면, Sn-0.7Cu 솔더 합금의 경우는 Sn-Pb 솔더 합금에 비해 약 1.3 배 정도 높은 가격으로 다른 무연 솔더에 비해 비교적 비용면에서 경제적이다.⁸⁾ 그러나, Sn-0.7Cu 솔더는 SAC305 솔더에 비해 다소 낮은 특성으로 인해 제한적인 용도로만 사용되어 왔다.

Zn 원소는 Sn-0.7Cu 합금에 미소 합금 원소로 사용되어 효과적으로 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 원소로 알려져 있다. Zn 원소가 Sn-0.7Cu 솔더와 금속간 화합물 층에 분산되면서, Cu_3Sn_5 금속간 화합물 층이 보다 안정

상의 형태로 생성되며, Cu_3Sn 금속간 화합물 층의 과도한 생성을 억제하는 것으로 알려져 있다.⁹⁻¹⁰⁾

본 연구에서는 Sn-0.7Cu 모합금에 Zn 원소를 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt.% 첨가하여 삼원계 무연 솔더 합금을 제작하고 고속전단시험을 통해 Sn-0.7Cu-xZn 삼원계 무연 솔더의 기계적 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

Sn-0.7Cu 모합금에 Zn 원소를 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt.% 첨가하여 주조 공정을 통해 삼원계 무연솔더 합금을 제작하였다. 합금 자체의 특성 변화를 분석하기 위해 비커스 경도계를 이용하여 50 g의 하중으로 솔더 합금의 비커스 경도를 측정하였다.

제작된 솔더 합금을 아토마이징 공정을 통해 직경 20~38 μm 의 type-4 솔더 파우더로 제작하였다. 솔더 파우더와 플럭스(CVP-390, alpha metal corp.)를 공전 속도 600 rpm, 자전 속도 600 rpm, 교반 시간 10분으로 교반하여 솔더 페이스트를 제작하였다.

고속전단시험을 위하여 FR-4 PCB 기판을 제작하여 사용하였다. PCB의 전극부는 기판당 opening 120 μm 크기의 Cu 전극 23개로 형성되었다. 모든 PCB 전극은 organic solderability preservative(OSP) 표면처리를 실시하였다.

기판에 솔더볼을 형성하기 위하여 메탈 마스크를 이용해 솔더 페이스트를 기판 위에 도포하고 리플로우 공정을 실시하였다. 솔더 페이스트를 도포하기에 앞서 기판의 유기물 및 산화물을 제거하기 위해 10 vol% H_2SO_4 를 이용하여 산세 처리를 한 후, DI water로 수세 처리를 하

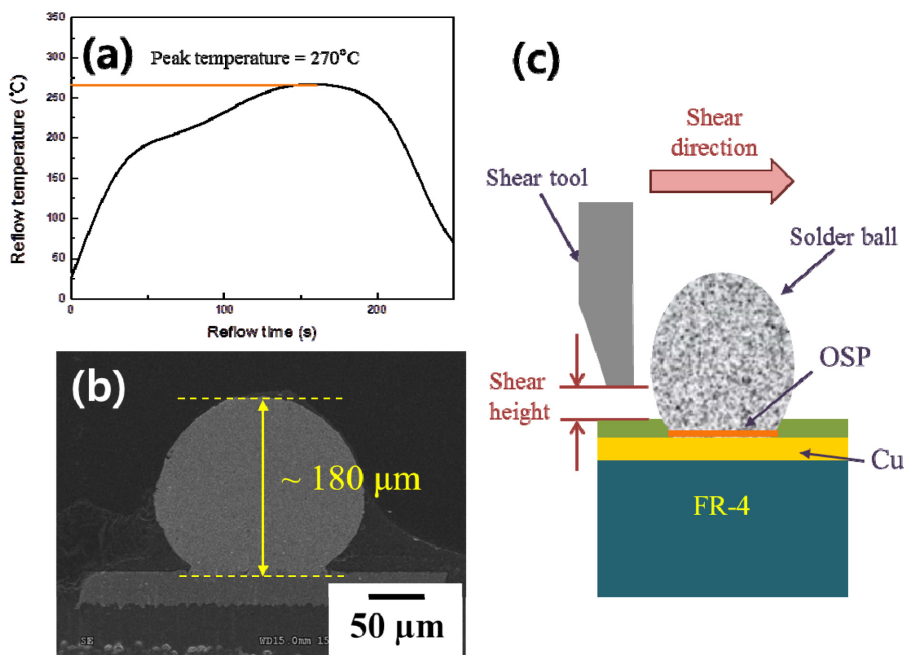


Fig. 1. (a) Reflow profile, (b) cross-sectional micrograph of Sn-Cu-Zn solder ball and (c) schematic diagram of high speed shear test.

였다. 리플로우 피크 온도는 270°C이며, 리플로우 프로파일을 Fig. 1(a)에 나타내었다. 리플로우 공정 후 형성된 솔더볼의 단면을 Fig. 1(b)에 나타내었으며, 솔더볼의 높이는 약 180 μm였다.

형성된 무연 솔더 접합부의 기계적 특성을 평가하기 위해 고속전단시험을 실시하였다. 솔더 접합부는 JEDEC 규격에 따라 전단속도 0.01, 0.1 m/s, 전단높이 30 μm로 고속전단시험을 실시하여 전단 강도를 측정하였고, 고속전단시험의 모식도를 Fig. 1(c)에 나타내었다. 고속전단시험시에 측정된 F-x(Force-displacement) curve를 통해 파괴에너지(fracture energy)를 산출하였다. 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM, S-3000H, Hitachi, Japan)을 이용하여 접합부의 단면과 고속전단시험 후 파단면의 미세 구조를 관찰하였고, EDS(energy-dispersive X-ray spectroscopy, 7021-H Horiba, Japan) 분석을 통하여 접합부의 IMC 생성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 Zn 함유량에 따른 솔더 합금의 비커스 경도 변

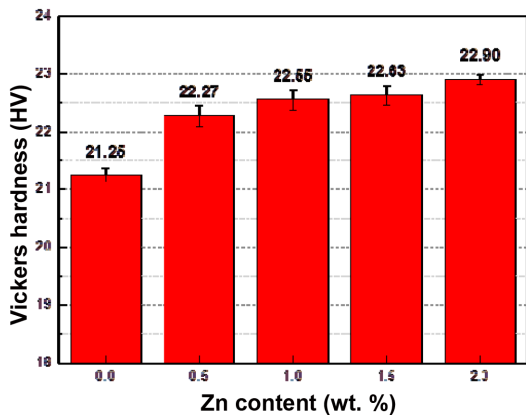


Fig. 2. Vickers hardness variation of Sn-0.7Cu-xZn solder alloy.

화를 나타낸 그래프이다. Sn-0.7Cu 모합금의 비커스 경도는 21.25 Hv로 측정되었으며, Zn 원소를 첨가한 경우, 비커스 경도값은 최대 22.90 Hv까지 증가하였으나, Zn 함유량에 따라 큰 변화는 관찰되지 않았다. 이는 Zn가 Sn-0.7Cu 솔더의 matrix에 고르게 분포되어 고용강화가 일어나면서 솔더 합금 자체의 경도가 향상된 것으로 사료된다.

Fig. 3은 주사전자현미경을 이용해 분석한 솔더접합부의 단면을 보여준다. Sn-0.7Cu 솔더와 Cu 전극의 계면에는 Cu₆Sn₅ 금속간 화합물 층이 생성된 것을 관찰할 수 있으며, Zn 원소가 첨가된 Sn-0.7Cu-xZn 솔더와 Cu 전극의 계면에는 (Cu,Zn)₆Sn₅ 금속간 화합물 층이 관찰되었다. Zn 함유량이 높은 조건일수록 IMC의 평균 두께가 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며, IMC의 형상 또한 접합부에 고르게 분포되어있지 않고, 조대한 형상을 나타내었다.

Fig. 4는 고속 전단속도와 Zn 함유량에 따른 전단강도의 변화를 나타낸 그래프이다. 최대 전단강도는 Zn 함유량이 0.5 wt%인 조건에서 고속 전단속도 0.01 m/s와 0.1 m/s일 때, 각각 2.55 N과 3.47 N의 값을 나타내었으며, Zn 함유량이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 접합계면에 생성된 금속간 화합물 층의 종류와 그 두께는 솔더 접합부의 기계적 신뢰성과 깊은 상관 관계가 있고, 일정 두께의 금속간 화합물 층의 성장은 솔더 접합부의 기계적 강도 증가에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다.¹¹⁾ 본 연구 결과에서는 금속간 화합물의 두께가 약 3.2 μm일 때 가장 높은 전단 강도 값을 나타내었으며, 금속간 화합물 층의 두께가 감소하고 금속간 화합물 층이 계면 상에 일정하게 분포하지 않는 형상을 보이며 전단강도 값이 감소한 것으로 사료된다. 또한, 전체적으로 전단속도 0.01 m/s의 조건보다 전단속도 0.1 m/s의 조건에서 전단강도가 높게 나타났다. 일반적으로 전단 속도가 증가할수록, 솔더볼 자체의 소성변형에 대한 저항성 뿐만 아니라 솔더접합부에 가해지는 충격량의 영향이 커져 전단강도가 증가하는 것으로 알려져 있다.

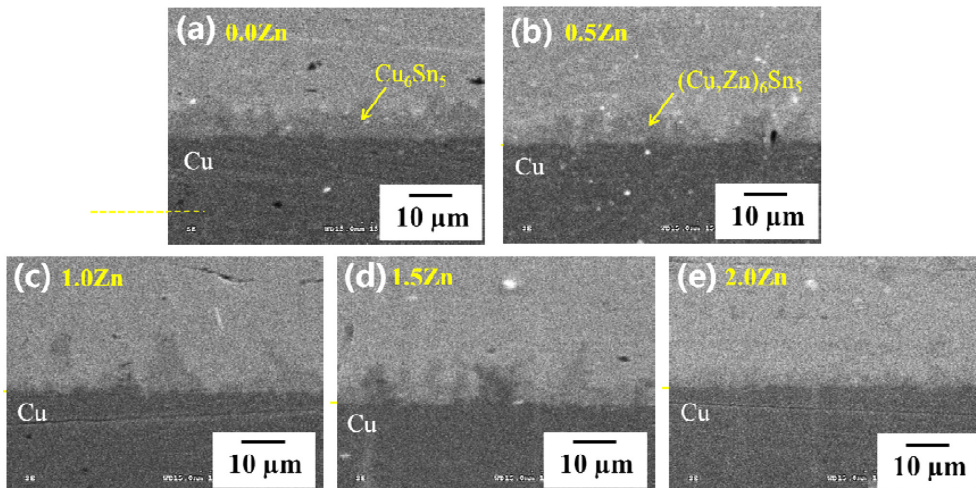


Fig. 3. IMCs formed at the Sn-0.7Cu-xZn solder/Cu interfaces.

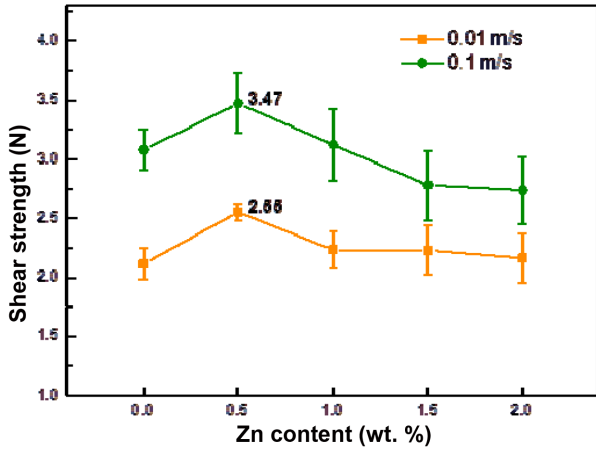


Fig. 4. Shear strength variation with Zn content.

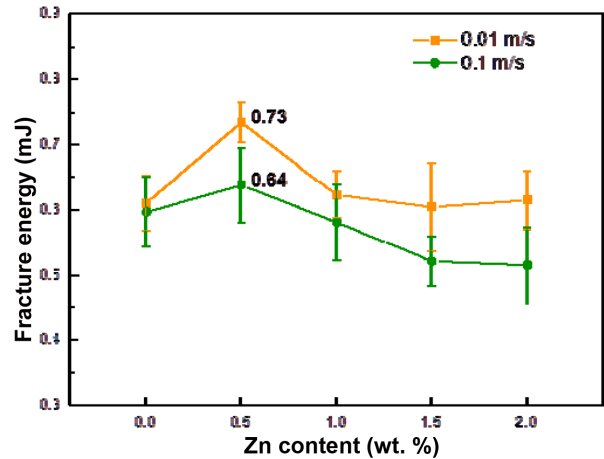


Fig. 6. Fracture energy variation with Zn content in Sn-0.7Cu-xZn solders.

Fig. 5에 고속 전단시험 시에 측정된 F-x curve를 나타내었다. F-x curve의 경향을 분석하여 전단속도가 전단강도와 파단모드에 미치는 영향을 간접적으로 평가할 수 있다. 전단속도 0.01 m/s의 조건에서는 전형적인 연성 파단의 형태를 보이며, 전단속도 0.1 m/s의 조건에서는 파괴가 일어나는 displacement 정도가 전단속도가 느릴 때보다 적게 나타났다. 이는 전단속도가 증가하면서 솔더접합부에 가해지는 충격량이 증가하고, 이에 따라 짧은 시간 안에 파단이 진행되면서 나타나는 결과로 사료된다.

Fig. 6은 전단시험 시 연속적으로 측정된 f-x curve (Fig. 5)의 면적을 통해 파괴에너지를 계산하여 나타낸 그래프이다. 두 가지 전단속도 조건에서 Zn 함유량이 0.5 wt% 일 때 가장 높은 파괴에너지 값을 나타내는 현상은 전단강도 측정 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 최고 파괴에너지는 Zn 함유량이 0.5 wt%인 조건에서 고속 전단속도 0.01 m/s와 0.1 m/s일 때, 각각 0.73 mJ과 0.64 mJ의 값을 나타내었다. 이러한 현상은 상기 전단강도 측정값과 마찬가지로 솔더접합부의 계면에 적절한 두께의 금속간 화합물 층이 생성되어 소성변형에 대한 저항성이 증가하여 높은 파괴에너지를 나타낸 것으로 사료된다. 일반적으로 고속전단시험의 전단속도가 증가하면 솔더에 가해

지는 충격량에 의한 영향이 증가하여 전단강도는 증가하지만, 솔더 내부보다는 솔더접합부의 계면에 가깝게 위치한 금속간 화합물 층에서 취성파괴가 발생하는 비율이 높아지게 된다. 따라서 전단속도가 증가할수록 파괴에너지도 급격히 감소하는 경향을 보이게 된다. 본 연구에서 전단속도에 따른 파괴에너지의 감소가 전단강도의 증가에 비하여 크지 않은데, 이는 Zn 함유량이 늘어날수록 금속간 화합물 층의 생성이 억제되므로 높은 전단속도 조건에서 금속간 화합물 층에 가깝게 파단이 발생하더라도 취성이 강한 금속간 화합물 층이 접합부의 파단에 미치는 영향이 감소하는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 고속전단시험 후 파단면을 분석한 결과이다. Sn-0.7Cu 조성과 Zn를 함유한 조성의 경우 파단면은 모두 연성 파단 형태를 나타내었으며 전단시험 시 파단은 대부분 솔더 내부에서 파단이 일어난 것으로 관찰되었다. 그러므로 솔더접합부의 전단강도에 미치는 영향은 금속간 화합물 층보다 솔더 합금 자체의 특성이 미치는 영향이 클 것으로 사료된다. 그러나 Zn 함유량이 1.5 wt% 이상의 조건에서 솔더 내부에 void가 발견되었으며 이는 전단강도 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이로

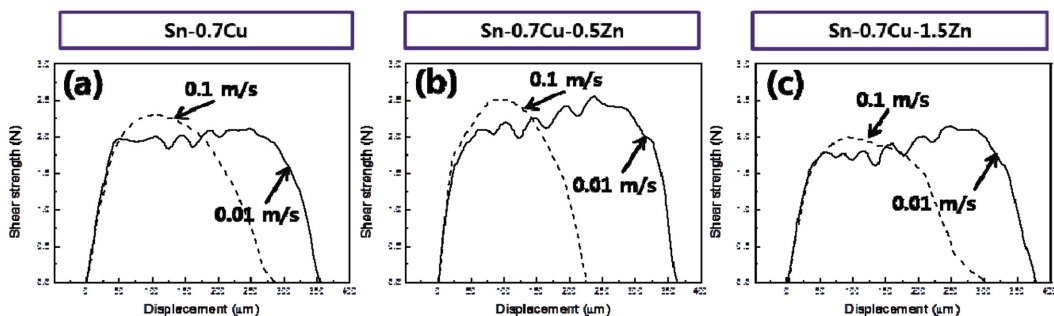


Fig. 5. F-x curves during high speed shear test of Sn-0.7Cu-xZn/OSP solder joints.

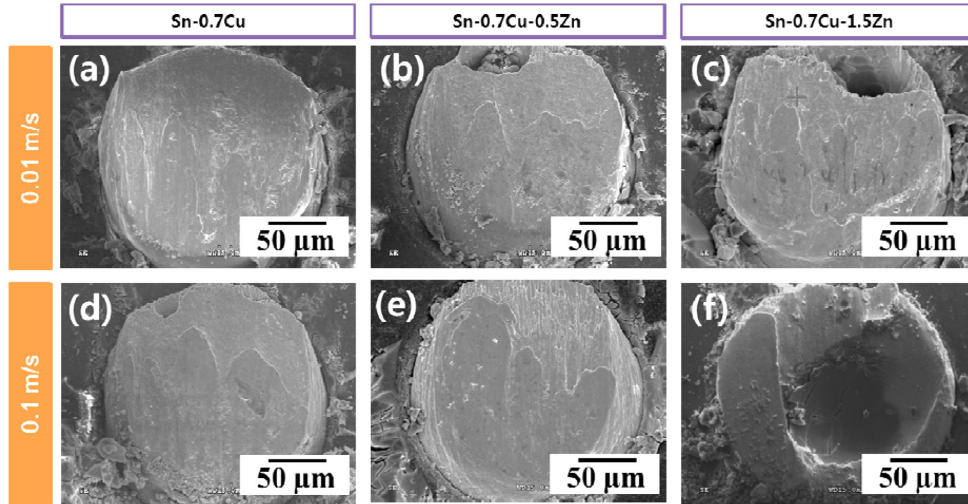


Fig. 7. Fracture surfaces of Sn-0.7Cu-xZn/OSP solder joints after high speed shear test.

인하여 솔더 합금 자체의 경도는 큰 차이를 보이지 않는 데에 비해 전단강도나 파괴에너지는 감소하는 경향을 보인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Sn-0.7Cu-xZn 삼원계 무연 솔더를 이용하여 OSP 표면처리된 Cu 전극에 솔더볼을 형성한 후, 고속전단시험을 통하여 Zn 함유량에 따른 전단 강도와 파괴 에너지를 측정하고, 미세구조를 관찰하였다.

Sn-0.7Cu 모합금에 Zn 원소를 첨가하면서 비커스 경도가 증가하는 것을 확인하였다. Zn 함유량이 0.5 wt.%의 조건에서 가장 높은 전단 강도를 나타내었고, Zn 함유량이 증가할수록 전단 강도가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 Zn 함유량에 따라 생성되는 금속간 화합물 층의 두께와 형상에 따른 것으로 사료된다. 또한, 고속전단시험의 전단속도에 따라서 다른 형태의 F-x curve가 측정되어, 전단속도가 솔더 접합부의 전단강도에 미치는 영향을 평가하였다. 전단속도가 높을수록 전단 강도가 증가하며, 파괴 에너지가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 Zn 함유량이 증가할수록 금속간 화합물 층의 두께가 감소하므로 전단속도가 증가함에 따른 취성파단의 분율은 감소하는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다(No. 20154030200870).

References

1. Label, Product ID, and R. oHS Compliance Engineer, "Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council, Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)", sEU (2003).
2. S. W. Chen, S. W. Lee, and M. C. Yip, "Mechanical properties and intermetallic compound formation at the Sn/Ni and Sn-0.7wt.%Cu/Ni joints", J. Electron. Mater., 32(11), 1284 (2003).
3. J. W. Yoon, W. C. Moon, and S. B. Jung, "Interfacial Reaction of ENIG/Sn-Ag-Cu/ENIG Sandwich Solder Joint during Isothermal Aging", Microelectron. Eng., 83, 2329 (2006).
4. J. H. Ahn, K. S. Kim, Y. C. Lee, Y. Kim, and S. B. Jung, "Regulation in Shear Test Method for BGA of Flip-chip Packages", J. Microelectron. Packag. Soc., 17(3), 1 (2010).
5. J. M. Koo, C. Y. Lee, and S. B. Jung, "Effect of Reflow Number on Mechanical and Electrical Properties of Ball Grid Array (BGA) Solder Joints", J. Microelectron. Packag. Soc., 14(4), 71 (2007).
6. M. Abtey and G. Selvaduray, "Lead free Solders in Microelectronics", Mat. Sci. Eng. R., 27(5), 95 (2000).
7. J. Glazer, "Microstructure and Mechanical Properties of Pb-free Solder Alloys of Low-cost Electronic Assembly: a Review", J. Electron. Mater., 23(8), 693 (1994).
8. D. R. Frear, J. W. Jang, J. K. Lin and C. Zhang, "Pb-free solders for flip-chip interconnects", J. Minerlas. Metal. Mater. Soc., 53(6), 28 (2001).
9. G. Zeng, S. D. McDonald, Q. Gu, Y. Terada, K. Uesugi, H. Yasuda, K. Nogita, "The influence of Ni and Zn additions on microstructure and phase transformations in Sn-0.7Cu/Cu solder joints", Acta Materialia, 83, 357 (2015).
10. M. G. Cho, S. K. Kang, S. K. Seo, D.-Y. Shih, and H. M. Lee, "Interfacial reactions and microstructures of Sn-0.7Cu-xZn solders with Ni-P UBM during thermal aging", J. Electron. Mater., 38(11), 2242 (2009).
11. J. W. Yoon and S. B. Jung, "Effect of Surface Finish on Inter-

- facial Reactions of Cu/Sn-Ag-Cu/Cu(ENIG) Sandwich Solder Joints”, *J. Alloys. Compd.*, 448(1), 177 (2008).
12. J. W. Yoon, S. W. Kim, J. M. Koo, D. G. Kim, and S. B. Jung, “Reliability investigation and interfacial reaction of ball-grid-array packages using the lead-free Sn-Cu solder”, *J. Electron. Mater.*, 33(10), 1190 (2004).
 13. J. W. Yoon, S. W. Kim, and S. B. Jung, “Effect of reflow time on interfacial reaction and shear strength of Sn-0.7Cu solder/Cu and electroless Ni-P BGA joints”, *J. Alloys. Compd.*, 385(1), 192 (2004).