

Sn- χ Ag-0.5Cu 무연 솔더의 파손특성에 관한 실험적 연구

정종설⁺, 이용성⁺, 신기훈^{*}, 정성균⁺⁺, 김종형⁺⁺⁺, 장동영⁺⁺⁺⁺
(논문접수일 2009. 2. 23, 심사완료일 2009. 4. 29)

An Experimental Study on the Failure Characteristics of Sn- χ Ag-0.5Cu Lead-free Solder

Jong-Seol Jeong⁺, Yong-Sung Lee⁺, Ki-Hoon Shin^{*}, Seong-Kyun Cheong⁺⁺,
Jong-Hyeong Kim⁺⁺⁺, Dong-Young Jang⁺⁺⁺⁺

Abstract

This paper presents an experimental study on the failure characteristics of SnAgCu lead-free solder balls. To estimate the effect of Ag, three types of SnAgCu balls are first prepared by varying the weight percent of Ag(1.0, 3.0, 4.0 wt%) and then analyzed by reliability tests such as thermal shock, high speed ball shear, and drop tests. Thermal shock test reveals that the higher the weight percent of Ag is, the longer the fatigue life becomes. To the contrary, high speed ball-shear test and drop test show that the shear strength and the fracture toughness of solder balls are inversely proportional to the weight percent of Ag, respectively. Reasons for these observations will be further investigated in the future work.

Key Words : Lead free solder(무연솔더), High speed ball shear test(고속전단시험), Drop test(낙하시험), Thermal shock test(열충격 시험)

1. 서론

높은 주파수 영역에서 다량의 데이터를 짧은 시간에 처리

해야 하는 컴퓨터나 휴대폰 등과 같은 제품들의 개발을 위해서는 반도체 칩이나 메모리 등의 부품들의 고집적화, 경량화, 소형화가 선행되어야 한다. 이에 따라 반도체 칩 제조분

* 교신저자, 서울산업대 기계공학과 (shinkh@snut.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172
+ 서울산업대 NID 융합기술전문대학원
++ 서울산업대 기계공학과
+++ 서울산업대 기계설계자동화공학부
++++ 서울산업대 산업정보시스템공학과

야에서는 칩 자체의 미세화, 집적화가 지속적으로 진행되고 있으며, 패키징 분야에서도 새로운 패키징 및 실장방법들이 개발되고 있다.

그 중에서 플립칩과 보드의 접합에 사용되는 솔더볼(solder ball)의 성분 중 납(lead, Pb)은 고밀도, 저용점, 연납땜성이 매우 뛰어나서 전자부품의 결합(soldering)에 널리 이용되어 왔다. 그러나 최근 전 세계적으로 환경오염에 대한 관심이 높아지면서 유럽의회와 유럽 각료이사회는 RoHS(전자부품 유해물질 지침), WEEE(전자제품 폐기물 지침)를 발표하고 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg), 육가크롬(Cr6+), 브롬계 난연제(PBB : Polybrominated phenyls, PBDE : Polybrominated dihenyl ethers)의 사용을 금지하였다^(1,2).

이와 같이 Pb 솔더의 사용으로 인한 환경오염을 줄이기 위하여 최근 Pb 솔더에 대한 대체 솔더로 Sn-xAg-0.5Cu 3원계가 가장 많이 이용되고 있다. 이 삼원계 솔더에서 Ag은 전기와 열전도도 및 젖음성과 퍼짐성이 다른 금속에 비해 뛰어나서 무연 삼원계 솔더에서 매우 중요한 성분이다. 그러나 최근 계속되는 Ag 가격의 폭등으로 인하여 Ag의 함량을 가능한 적게 하고 접합부의 신뢰성을 확보할 수 있는 솔더의 조성을 찾는 연구가 요구되고 있다. Sn-Pb와 Sn-Ag-Cu에 대한 비교 연구^(3,4) 및 접합부의 신뢰성 관련 연구⁽⁵⁻⁹⁾는 많이 이루어졌으나 Sn-Ag-Cu 솔더에서 Ag 함량별 특성비교 연구는 빈약한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 Sn-xAg-0.5Cu 솔더 볼에서 Ag의 함량의 변화에 따라서(1.0wt%, 3.0wt%, 4.0wt%) 솔더 볼의 접합특성을 평가하기 위하여 열충격 시험, 고속 전단 시험(High speed ball shear test) 그리고 낙하시험(Drop test)를 실시하고 각각의 실험에 대한 Ag의 함량별 파단특성 및 기계적 성질을 평가하여 Sn-xAg-0.5Cu 솔더 볼의 가장 우수한 Ag의 조성을 제시하고자 한다.

2. 시험편

본 연구에서는 Sn-xAg-0.5Cu 솔더 볼의 가장 우수한 Ag의 조성을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 JEDEC 규격⁽³⁻⁵⁾에 따라 시험편을 제작하였으며, 플립칩의 크기는 15×15mm로 제작하였고, 그림에서 A는 보드의 크기, B는 4-point bend 위치 그리고 C는 낙하 시험을 위한 고정 구멍 (mount hole)의 위치를 나타내고 있다. Table 1은 볼의 화학적 조성을 나타내고 있다. 표에서와 같이 시험편은 Ag의 함량에 따라서 세 가지의 시험편을 제작하였다.

Fig. 2는 패턴을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 패턴은

16채널로서 각 채널당 두 개의 라인과 2개의 볼을 직렬로 배선하였다.

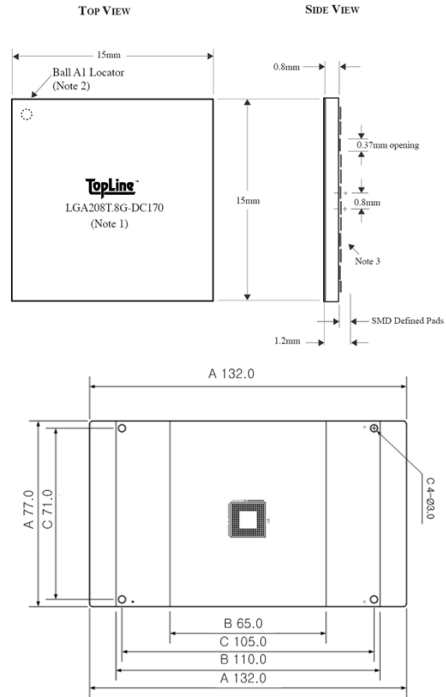


Fig. 1 Dimensions of a test specimen

Table 1 Compositions of solder balls (wt%)

	Sn	Ag	Cu
Sn-1.0Ag-0.5Cu	98.5	1.0	0.5
Sn-3.0Ag-0.5Cu	96.5	3.0	0.5
Sn-4.0Ag-0.5Cu	95.5	4.0	0.5

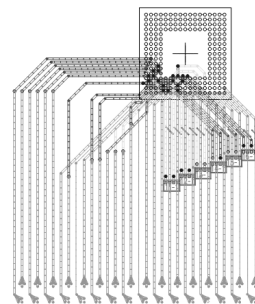


Fig. 2 Circuit patterns of a test PCB

3. 실험방법

3.1 열충격 시험

열충격 시험은 Fig. 3과 같이 디모스텍 3 연식(3 zone type) 열충격 시험기를 사용하여 가열시간 5분 유지시간 15분, 냉각시간 5분 유지시간 15분을 1사이클(cycle)로 실험을 실시하였다⁽¹⁰⁾. 이 때 온도범위는 -40℃~125℃이다. 또한, 볼의 파손유무를 판별하기 위하여 처음 300회 열충격 시험을 실시한 후 저항을 측정하였고, 이후 50회 단위로 볼의 저항을 측정하였다. 볼의 파손 유무는 실험 후 저항측정 결과가 초기저항의 2배가 넘으면 볼이 파손되었다고 규정하였다. 열충격 시험에 있어서 각 시험편은 Ag의 함량별로 3개의 보드를 칩의 방향에 따라서 각각 한 개씩 고정하여 실험하였다.

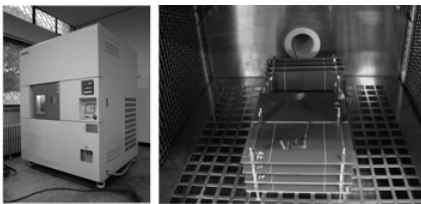


Fig. 3 Thermal shock tester



Fig. 4 High speed ball shear and pull tester (DAGE-SERIES-4000HS)

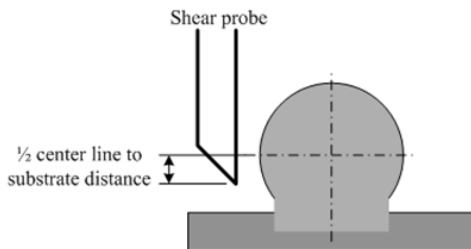


Fig. 5 Shear probe to BGA solder ball alignment diagram⁽¹¹⁾

3.2 고속전단시험

고속전단강도 시험⁽¹¹⁾은 Shear probe를 이용하여 솔더 볼을 수평방향으로 밀어서 솔더 볼의 파괴 시 강도를 측정하는 방법으로 Fig. 4와 같은 고속 솔더 볼 전단시험기를 사용하여 솔더 볼의 전단강도를 측정하였다. 솔더 볼에 대한 전단강도 측정은 Table 2와 같이 75 μ m 높이에서 1000mm/s의 속도로 전단하중을 가하여 측정하였다.

Fig. 5는 고속 솔더 볼 전단시험의 개략도를 나타내고 있다.

3.3 낙하시험

솔더 접합부의 낙하 충격 특성평가는 충격 가속도 (impact acceleration) 1500g로 실시하였다. 솔더 접합부의 파손은 100 Ω 로 하였고, 낙하 충격특성평가에 있어서 지속시간 (Duration time)은 0.5ms로 80회까지 실험을 실시하였다. Fig. 6은 솔더 접합부 낙하 충격 특성평가의 개략도를 나타내고 있다.

식 (1)은 충격 순간의 속도와 천이시간과의 관계를 나타내고 있다.

$$-a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{7.35m/sec}{0.5 \times 10^{-3}sec} = 14700m/sec^2 = 1500g \quad (1)$$

Table 2 Experimental condition of high speed shear test

Load(kgf)	Shear speed (mm/s)	Shear height (μ m)	Number of tests
5	1000	75	20

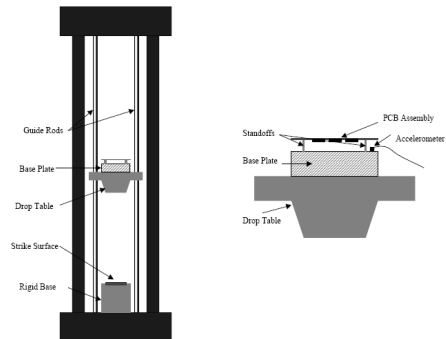


Fig. 6 Typical drop test apparatus and mounting scheme for PCB assembly⁽¹²⁾

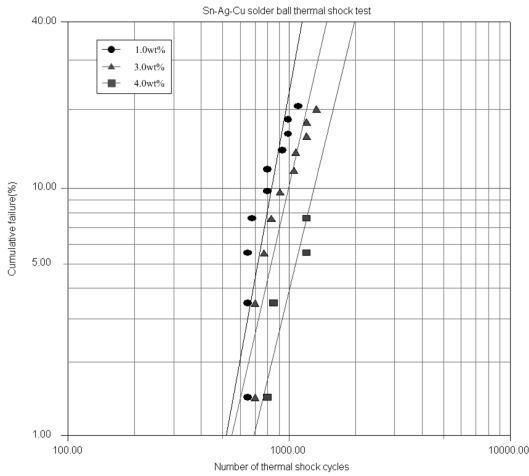


Fig. 7 Weibull probability plot of thermal shock failure with solder ball

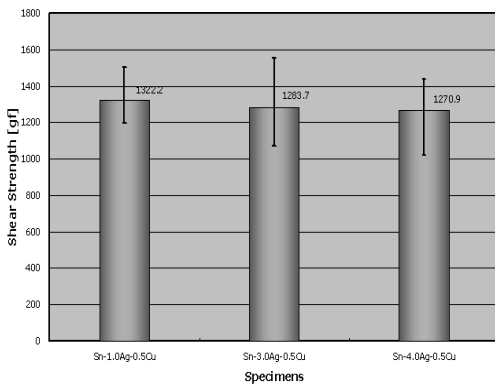


Fig. 8 Shear strength of three different solder balls

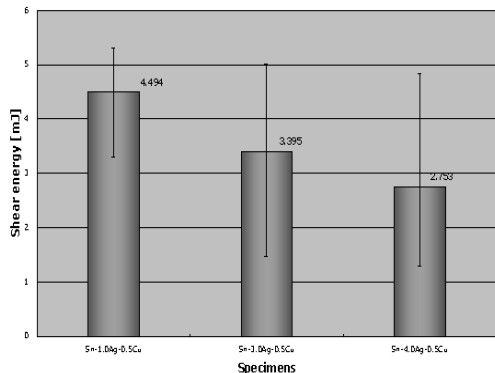


Fig. 9 Shear energy of three different solder balls

4. 실험결과

4.1 열충격시험

Fig. 7에서는 Ag의 함량 변화에 따른 열충격 시험 결과를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 열충격 시험 결과 Ag 1.0wt%, 650회에서, Ag 3.0wt%, 700회에서, Ag 4.0wt%에서는 800회의 열충격 후 최초의 파손이 일어났으며 Weibull++ version 6를 이용하여 수명을 예측 한 결과 Ag 1.0wt%, 1900회, Ag 3.0wt%, 2800회, Ag 4.0wt% 3500 회에서 모든 볼이 파손될 것으로 예측이 되었다. 이 결과로부터 Ag의 함량이 증가 할수록 내구한도가 길어짐을 알 수 있었다.

4.2 고속전단시험

Ag 함량의 변화에 따른 고속전단시험 결과 Fig. 8과 같이 전단강도는 각각 약 1322.2gf, 약 1283.7gf 그리고 약 1270.9gf로 측정되어 Ag의 함량이 증가함에 따라서 전단강도는 저하됨을 알 수 있었다.

Fig. 9는 고속전단시험을 통한 전단에너지의 변화를 나타내고 있다. 실험결과 전단강도와 마찬가지로 전단에너지는 각각 약 4.49mJ, 약 3.39mJ 그리고 약 2.75mJ로 측정되어 Ag의 함량이 늘어남에 따라 전단에너지는 감소함을 알 수 있었다.

4.3 낙하시험

솔더 접합부 낙하 충격 특성평가 결과 솔더 볼의 파손은 Ag의 함량에 관계없이 모든 시험편에서 대각선 방향의 가장 자리에 위치한 볼이 가장 먼저 파단이 일어났다. 이는 낙하 충격 시 가장자리에 위치한 볼의 변위 량이 가장 많기 때문으로 사료된다. 또한, 볼의 파손에 있어서 가장자리에서의 파손 이후 근접한 볼이 차례로 파손됨을 알 수 있었다.

80회 시험 후 파손되지 않고 볼의 생존 확률은 Ag 1.0wt%는 86.25%, Ag 3.0wt%에서는 47.5%, Ag 4.0wt%에서는 37.5%로 나타났으며 Weibull 분포에 의한 수명예측에서는 Ag 1.0wt%는 380회, Ag 3.0wt%, 280회, Ag 4.0wt% 260 회에서 모든 볼이 파손되는 것으로 예측이 되었다. 이 결과로부터 Ag의 함량이 낮을수록 낙하 특성은 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 10은 솔더 접합부 낙하 충격 특성에 대한 Weibull 분포를 나타내고 있다.

Table 3은 Weibull plot 해석 결과를 나타낸다.

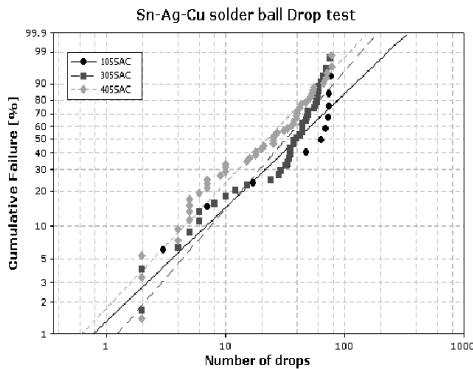


Fig. 10 Weibull probability plot of drop to failure with solder ball

Table 3 Results from weibull analysis of drop to failure data of lead free solder joints

Solder ball	Shape parameter	Scale parameter	Correlation coeff.
Sn-1.0Ag-0.5Cu	1.07888	55.5319	0.94
Sn-3.0Ag-0.5Cu	1.30421	42.1661	0.957
Sn-4.0Ag-0.5Cu	1.18862	30.066	0.978

5. 결론

본 논문에서는 Sn-γAg-0.5Cu 솔더 볼의 파단특성을 연구하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 열충격 시험 결과 Ag의 함량이 증가함에 따라 열충격 특성은 우수하게 나타났다.
- (2) 고속 전단 시험결과 Ag 함량이 낮을수록 고속전단강도 값은 높게 나타났다. 고속 전단 시험에서 고속전단 시 에너지 값은 전단 강도가 높을수록 에너지 값 또한 높게 나타남을 알 수 있었다.
- (3) 80회 낙하 시험 결과 Ag 함량이 낮을수록 낙하 특성은 우수하게 나타났다.
- (4) 열충격 시험과 고속전단, 낙하 시험 결과를 비교하면 Ag 함량에 따른 파단 특성이 서로 상반되기 때문에 향후 추가적인 실험을 거쳐 최적의 조성을 찾을 필요가 있다.

후 기

본 연구는 서울특별시 산학연 협력사업(과제번호 10890, 3D Microsystem Packaging을 위한 접합공정 및 장비개발)의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) European Union Directive, 2003, *Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment(RoHS)*, DIRECTIVE 2002/95/EC, EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL.
- (2) European Union Directive, 2003, *Waste electrical and electronic equipment (WEEE)*, DIRECTIVE 2002/96/EC, EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL.
- (3) Nah, J. W., Kim, J. H., Lee, H. M., and Paik, K. W., 2004, "Electromigration in flip chip solder bump of 97PB-3Sn/37Pb-63Sn combination structure," *Acta Materialia*, Vol. 52, pp. 129~136.
- (4) Jang, S. Y., Wolf, J, Kwon, W. S., and Paik, K. W., 2002, "UBM(Under Bump Metallization) Study for Pb-free ElectroplatedBumpile:b-nterfcBe Reaction and Electromigration," 2002 Electronic Components and Technology Conference.
- (5) Shed, A., 2004, "Accumulated creep strain and energy density based thermal fatigue life prediction models for SnAgCu solder joint," 54th ECTC, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 737~746.
- (6) She, A., 2001, "Predicting Solder Joint Reliability for Thermal, Power, and Bend Cycle within 25% Accuracy," 2001 *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 255~263.
- (7) Hossain, M. and Agonafer, D., 2004, "Strain based Approach for Predicting the Solder Joint Fatigue Life with the Addition of Intermetallic Compound using Finite Element Modeling," 2004 *International Society Conference on Thermal Phenomena*, pp. 358~367.
- (8) Darveaux, R., 1997, "Solder Joint Fatigue Life

Model, in Design and Reliability of Solders and Solder Interconnections,” *Miner. Meta. Mater. Soc.*, pp. 213~218.

- (9) Shin, K. H., Kim, H. T., and Jang, D. Y., 2007, “An Analysis on the Thermal Shock Characteristics of Pb-free Solder Joints and UBM in Flip Chip Packages,” *Transactions of KSMTE*, Vol. 16, No. 5.
- (10) JEDEC, 2004, *Thermal Shock*, JESD22-A106B, Joint

Electron Device Engineering Council, VA, USA.

- (11) JEDEC, 2000, *Solder Ball Shear*, JESD22-B117A, Joint Electron Device Engineering Council, VA, USA.
- (12) JEDEC, 2006, *Board Level Drop Test Method of Components for Handheld Electronic Products*, JESD22-B111, Joint Electron Device Engineering Council, VA, USA.