

BGA용 Sn-3.5Ag 볼의 리플로 솔더링 특성

한현주* · 정재필** · 하범용*** · 신영의*** · 박재용**** · 강춘식****

*서울시립대학교 재료공학과(현 MK Electronics)

**서울시립대학교 재료공학과

***중앙대학교 기계공학과

****서울대학교 재료공학부

Reflow Soldering Characteristics of Sn-3.5Ag Balls for BGA

Hyun Joo Han*, Jae Pil Jung**, Beom Young Ha***, Young Eui Shin***, Jae Yong Park****and Choon Sik Kang****

*Dept. of Materials Sci. & Eng., University of Seoul (Presently MK Electronics)

**Dept. of Materials Sci. & Eng., University of Seoul

***Dept. of Mechanical Eng., Choong-Ang University

****School of Materials Sci. & Eng., Seoul National University

Abstract

Reflow soldering characteristics of Sn-3.5Ag and Sn-37Pb balls for BGA(Ball grid Array) were investigated. Diameter of 0.76mm ball was set on a Cu/Ni/Au-coated pad and reflowed in air with changing peak soldering temperature and conveyor speed. Peak temperatures were changed from 240 to 280℃ for Sn-3.5Ag, and from 220 to 260℃ for Sn-37Pb balls. As results, heights of solder balls increased and widths decreased with peak soldering temperature. Through aging treatment at 100℃ for 1,000 hrs, average hardness of Sn-3.5Ag balls bonded at 250℃ decreased from 14.90Hv to 12.83Hv. And with same aging conditions, average shear strength of Sn-3.5Ag balls bonded at 260℃ decreased from 1727gf to 1650gf. (Received August 29, 2000)

Key Words : BGA(Ball Grid Array), Sn-3.5Ag, Sn-37Pb, Solder ball, Hardness, Shear strength

1. 서 론

현재 솔더가 사용되는 분야는 전자산업이 주류를 이루고 있으며, 전자 패키징에 사용되는 솔더는 칩과 기판 사이의 전기적·기계적 연결작용을 한다. 최근 전자부품의 미세·경량화 추세에 따라 솔더링 접합부의 미세화가 요구되면서, BGA(Ball Grid Array)가 관심의 대상이 되고 있다. BGA의 역사는 약 30년전으로 거슬러 올라가 IBM에서 처음 개발한 C4(Controlled Collapse Chip Connection)로부터 시작된다. 동일한 32×32mm 패키지 크기에서 QFP는 184핀인 것에 비해, BGA는 면적배열에 의해 600핀이 가능하다. 또한, 칩과 BGA패키지의 밑면에 있는 솔더 범프

(bump) 사이의 길이가 짧기 때문에, 동일한 핀 수에 대한 인덕턴스(inductance)값이 훨씬 작다. 주변단자 패키지의 경우 0.3~0.4mm의 미세피치(fine pitch)를 실장하는데 있어 장비나 개인의 한계가 발생하는 반면, BGA는 면적배열에 의해 피치 간격을 완화할 수 있을 뿐만 아니라 솔더의 표면장력에 의한 self-aligning 특성이 있어 생산성이 높은 장점을 가지고 있다. 그러나, BGA는 밀폐된 패키지가 아니기 때문에 저장 도중 흡수된 수분이 솔더링시 증발하면서 생긴 응력으로 인해 패키지에 균열이 발생하는 팝콘(pop-corn)현상과 접합 후 내부 검사 및 수정작업의 어려움, 높은 제조원가 등의 문제도 남아 있다.

Motorola社에서 개발한 가장 기본적인 PBGA(Plastic BGA)를 통하여, BGA 볼이 솔더링되는

BLM(Ball Limiting Metallurgy)층을 살펴보면 다음과 같다. 즉, 플라스틱 계통(FR-4, BT-resin 등)의 기판과 Cu패드 위에 Cu-Sn계 금속간 화합물의 성장을 억제하고 솔더링 특성(solderbility)을 유지하기 위한 Ni층, 솔더의 젖음특성(wettability)을 향상시키기 위한 Au층을 도금한 BLM이 형성된다.

한편, 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 솔더는 Sn-37Pb 합금인데, Pb가 산성비에 의해 용출되어 환경을 오염시키므로¹⁻²⁾ 그 사용이 세계적으로 규제될 전망이다. 예로써, EU에서는 1997년 전자제품의 재활용(recycle)에 관한 법안(End of Life Electrical and Electronic Equipment)을 제시하여 Pb 등의 위험물질을 2004년 1월까지 배제할 것을 명기하였다³⁾. 또한, 일본에서는 2000년부터 Pb-free 솔더를 사용한 전자제품이 출시되고 있으며, 2001년부터는 대부분의 기업에서 Pb-free 솔더를 전자제품에 적용키로 밝힌 바 있다.⁴⁾

본 연구에서는 현재 상용화되고 있는 BGA용 기판에 Pb-free 솔더로서 가장 유력한 것 중 하나인 Sn-3.5Ag 솔더 볼을 사용하여 BGA 접합을 행한 후 솔더 볼의 크기변화 및 접합강도 등 솔더링 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험재료

본 연구를 위하여 상용의 솔더 볼 및 기판을 사용하였다. BGA 솔더 볼은 직경이 0.76mm인 Sn-3.5Ag이며, 비교재료로서 현재 상용중인 Sn-37Pb 공정합금을 사용하였다. 기판은 패드부의 지름이 0.7mm이고, Cu/Ni/Au 박막의 두께가 각각 17.5~20 μ m, 7~9 μ m, 3~4 μ m이다.

기판은 에탄올을 이용하여 약 2분간 초음파 세척하여 대기 중에서 건조하였다. 건조된 기판의 패드 위에 수용성 플럭스를 도포하고 그 위에 솔더 볼을 장착하였다.

2.2 솔더링

리플로 솔더링에 사용한 장비는 상용의 생산 라인용으로, Air/N₂ 분위기 겸용 방식이다.

시편이 컨베이어(conveyor)에 의해 이동하면서, '입구-예열 승온 영역-예열 등온 영역-본가열 영역-냉각 영역-출구' 순서를 거치며 솔더링이 이루어진다. 솔더링을 위하여 예열온도는 150 $^{\circ}$ C로 하고, 본가열

영역에서의 최고온도는 Sn-3.5Ag의 경우 240~280 $^{\circ}$ C, Sn-37Pb의 경우 220~260 $^{\circ}$ C까지 10 $^{\circ}$ C간격으로 하였으며, 컨베이어 이동속도는 0.4~0.6m/min의 조건에서 실험하였다. 본 실험조건에서의 가열곡선 예는 Fig. 1과 같다.

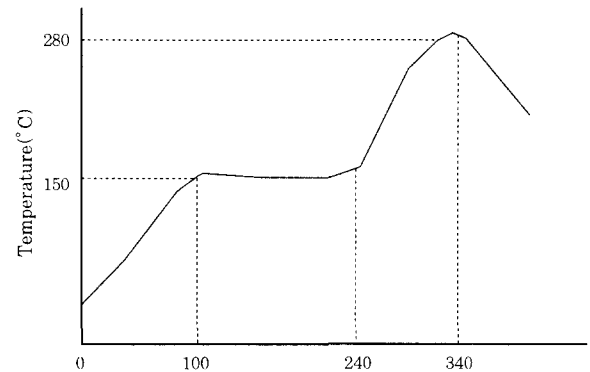


Fig. 1 The example of heating curve for the reflow soldering (peak temp. : 280 $^{\circ}$ C, conveyor speed : 0.4m/min)

2.3 솔더링부 특성 조사

리플로 솔더링 후 솔더 볼의 높이 및 폭의 변화를 측정하였다. 폭과 높이는 각 조건당 10회 실험한 후, 최대 및 최소값을 제외한 나머지 값들의 평균값을 취하였다.

리플로 후 시편의 일부는 100 $^{\circ}$ C의 온도조건에서 200, 400, 600, 800, 1,000시간 동안 시효처리를 하였다. 그 후, 초기접합 상태와 시효 후의 시편에 대하여 각각 미세조직을 관찰하고, 경도값을 측정하였다. 접합부의 미세조직 및 금속간 화합물 관찰을 위해 주사전자현미경(SEM)과 EDX(Energy-Dispersive X-ray)를 사용하였다.

리플로 후 솔더 볼의 경도 측정은 마이크로 비커스(Micro-Vickers) 경도계를 이용하여 하중 10g을 15초간 유지하는 조건하에서 실시하였으며, 각 시편 당 7회 실시하여 최고·최저값을 제외한 나머지 값의 평균값을 취하였다.

접합 초기 상태와 100 $^{\circ}$ C에서 1,000시간 시효 후의 솔더 볼에 대해 미세전단시험기를 사용하여 전단강도를 측정하였다(Fig. 2 참조). 전단강도 측정 조건은 팁을 기판에서 10 μ m 떨어진 거리에서 200 μ m/sec의 속도로 전단응력을 가하는 것으로 하였다. 전단시험은 각 시편 당 15개의 솔더 볼을 측정하였다.

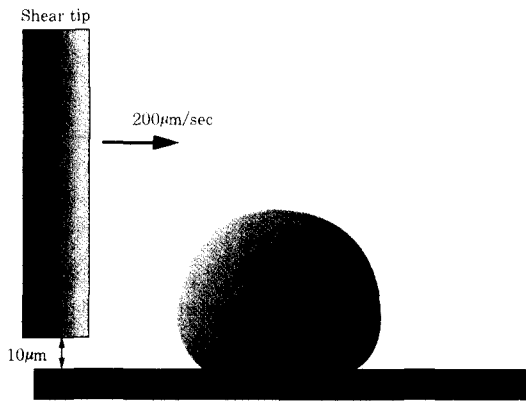
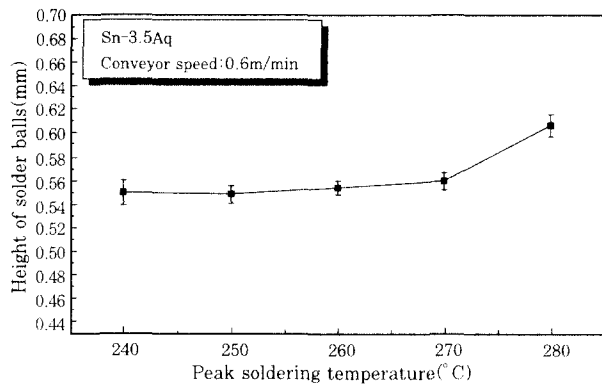


Fig. 2 Schematic diagram of shear test

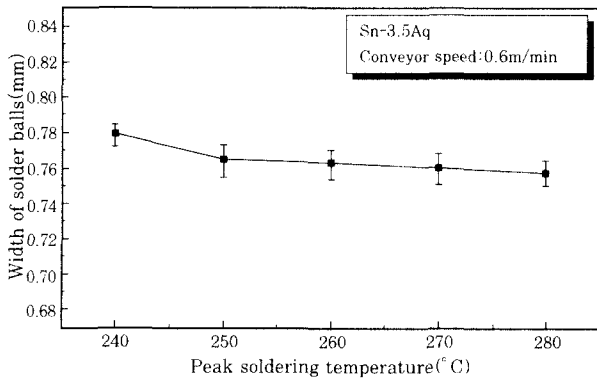
3. 실험결과 및 고찰

3.1 솔더 볼의 외관 형상

BGA의 솔더링 시 솔더볼의 크기가 불균일하게 되면, 미접합이나 이웃하는 솔더 볼과 브릿지(bridge)의 결함을 일으킬 수 있다. 이런 이유로, 본 실험에서는 솔더링 후 솔더 볼의 높이와 폭을 측정하여, 솔더 볼 크기의 균일성을 관찰하였다.



(a)



(b)

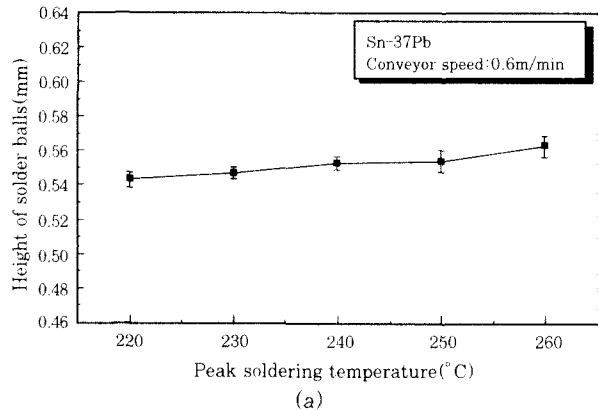
Fig. 3 Effect of peak soldering temperature on the height(a) and width(b) of Sn-3.5Ag solder ball

Fig. 3은 최고 솔더링온도에 따른 Sn-3.5Ag 솔더링 후 솔더 볼의 높이 및 폭의 변화를 나타낸 것이다. 높이 및 폭의 평균값을 살펴보면, 컨베이어 속도 0.6m/min의 조건에서 Sn-3.5Ag의 경우 최고 솔더링온도 240°C 및 280°C에 대해 솔더 볼의 높이는 각각 0.550mm, 0.607mm이고, 폭은 0.779mm, 0.757mm이다. 이와 같이 리플로 온도가 높을수록 높이는 증가하고, 폭은 감소하는 경향을 볼 수 있다.

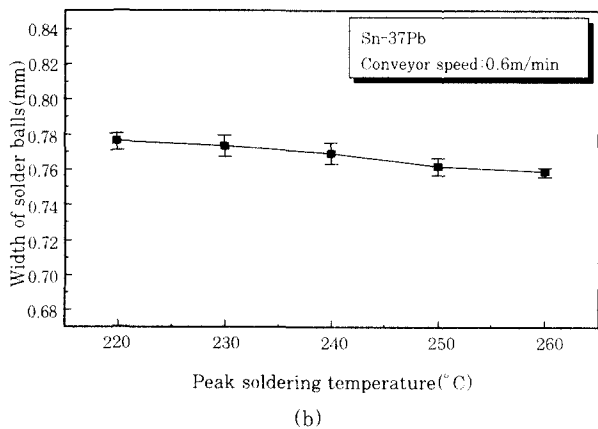
솔더 볼의 외관에 영향을 주는 변수로는 솔더 볼 자체의 중력, 액상 솔더볼의 표면장력값 등을 들 수 있다. 그러나, 중력의 영향은 0.76mm 직경의 작은 솔더볼에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고된 바 있다⁵⁾. Sn-3.5Ag의 경우 온도가 증가함에 따라 솔더의 표면장력이 미세하게 감소하여 솔더볼의 폭은 작아지고 높이는 증가한다⁶⁾. 따라서, 솔더볼의 외관 형상 변화의 주요인을 액상 솔더볼의 표면장력 변화로 생각한다.

한편, Fig. 4는 Sn-37Pb 공정 솔더볼의 리플로 솔더링 후 외관크기 변화를 보인 것이다.

온도에 따른 솔더볼의 높이 및 폭의 변화는 Sn-3.5Ag의 경우와 거의 유사한 경향을 보이고 있다.



(a)



(b)

Fig. 4 Effect of peak soldering temperature on the height(a) and width(b) of Sn-37Pb solder ball

즉, 솔더링 온도를 220℃에서 260℃로 증가시킴에 따라 솔더볼의 높이는 0.543mm에서 0.563mm로, 폭은 0.776mm에서 0.773mm로 변화한다. 또, 솔더링 온도가 250℃로 동일할 때의 Sn-3.5Ag와 Sn-37Pb 솔더볼의 높이는 각각 0.554mm, 0.548mm이고, 폭은 각각 0.762mm와 0.764mm이었다.

3.2 솔더볼의 미세경도

Fig. 5는 Sn-3.5Ag 및 비교 재료인 Sn-37Pb를 사용하여 솔더링직후의 접합 초기상태와 시효 후 솔더볼의 마이크로 비커스(Micro-Vickers) 경도값을 보인 것이다. Sn-3.5Ag 솔더볼의 평균 경도값은 시효시간의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고있다. Sn-3.5Ag 솔더볼은 접합 초기상태와 100℃에서 1,000시간 시효한 경우에서 각각 14.90Hv와 12.83Hv이었다. 시효에 의한 경도감소 원인을 살펴보면 다음과 같다.

Sn-37Pb의 경우에는 100℃에서 시효시간을 증가시킴에 따라 시효 전 14.58Hv에서 1,000시간 시효 후 13.68Hv로 경도가 감소하였다. Sn-3.5Ag와 Sn-37Pb의 경도값을 비교하면, 초기접합 상태와 200,400

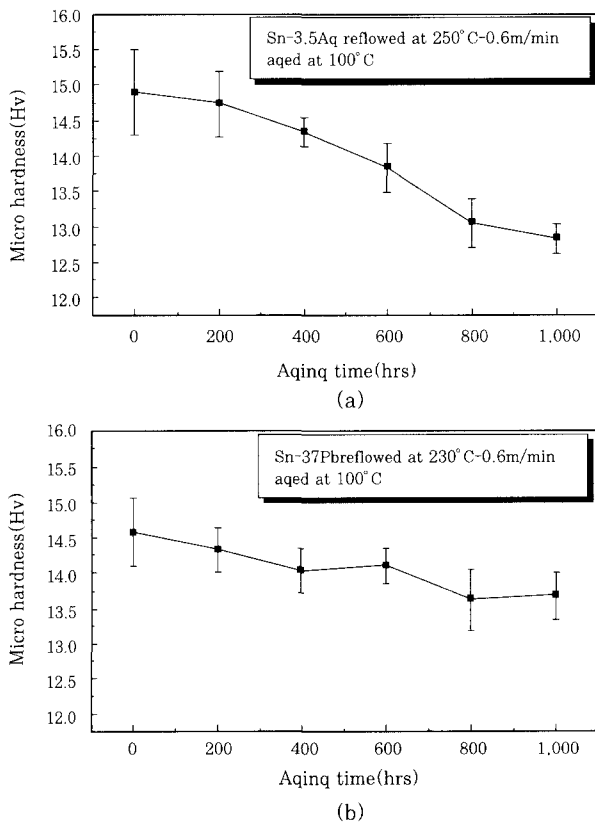


Fig. 5 Effect of aging time on Micro-Vickers hardness of Sn-3.5Ag (a), and Sn-37Pb (b) solder balls after reflow.

시간 시효 후 시편에서는 Sn-3.5Ag가 약간 더 큰값을 갖는다. 그러나 600~1,000시간 시효 후의 시편에서는 대체로 Sn-37Pb가 Sn-3.5Ag에 비해 더 높은 경도값을 갖는 것을 알 수 있다.

3.3 솔더볼의 접합강도

솔더볼 접합부의 전단강도는 접합온도, 컨베이어 속도 등 접합 공정조건은 물론, 모재 표면상태의 차이, 접합 계면의 결함 등 여러 조건에 의해 변화된다. 따라서, 접합 조건에 따라 실험값의 변화가 클 수 있으나, 접합부의 전단강도를 측정함으로써 리플로 솔더링 결과의 건전성을 평가할 수 있다.

Sn-3.5Ag 솔더볼 접합부의 초기전단강도 측정결과를 Fig. 6(a)에 보였다. 전단강도 값에 다소 변화폭이 존재하지만, 전체적으로 볼 때 솔더링 온도 260℃에서 평균적으로 가장 높은 강도값이 얻어졌으며 평균 강도값은 1,727gf이었다.

Fig. 6(b)는 Sn-3.5Ag 솔더 볼 접합부를 100℃에서 1,000시간 시효처리한 후의 전단강도값의 변화를 보인 것이다.

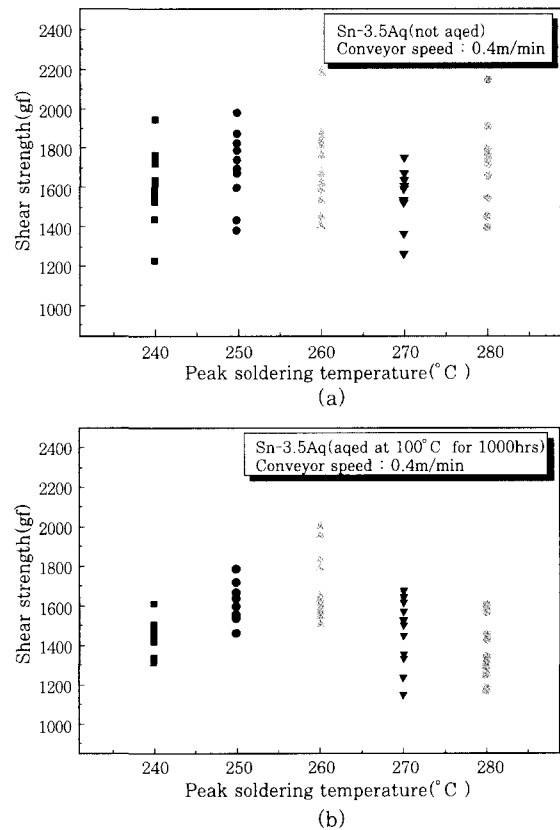


Fig. 6 Effect of peak soldering temperature on shear strength of Sn-3.5Ag before (a) and after aging (b)

시효 후 솔더링 온도가 전단강도 변화경향에 미친 영향을 보면, 시효 전과 대체로 유사함을 알 수 있으며, 전단강도의 절대값은 시효에 의해 감소하였다. 즉, 솔더링 온도 260℃에서 높은 전단강도 값이 얻어지며, 260℃에서 평균 1,650gf로 가장 높은 전단강도 값이 얻어진다. 그러나, 이러한 최적 접합온도는 가열중 기판의 이송속도에 따라 달라질 수 있으며, 본 결과는 0.4m/min.의 이송속도에서 얻어진 결과임을 유념하여야 한다.

Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)의 비교를 통해 시효 전, 후의 전단강도값을 비교해 보면, 시효 후의 전단강도 값이 감소되었음을 알 수 있다. 즉, 최고 전단강도값이 얻어졌던 260℃의 경우, 100℃에서 1,000시간 시효 처리에 의해 약 80gf의 전단강도가 감소하였으며, 접합 온도에 따라서는 약 150gf까지 감소되었다.

Sn-37Pb의 경우, 230℃-0.4m/min.에서 접합하였을 때 평균 1,390gf, 250℃-0.4m/min.에서 접합하였을 때 평균 1,534gf의 전단강도값을 얻었다. Sn-37Pb도 Sn-3.5Ag와 마찬가지로 100℃, 1000hrs 시효처리 후에는 접합부의 전단강도 값이 감소하였으며, 250℃의 경우 평균 1,534gf에서 평균 1,375gf로 약 11%정도 강도가 감소되었다.

Fig. 7은 100℃에서 600시간 시효시 본 연구에서 얻어진 Sn-37Pb 솔더와 Cu/Ni/Au 패드층과의 계면을 보인 것인데, 100℃에서 시효시간 증가에 따라 도상(島狀)의 Pb-rich상이 점차 넓어지는 것을 관찰할 수 있었다. Zhong 등⁷⁾에 의하면, Sn-37Pb 볼(직경 0.76mm)을 사용하여 Cu/Ni/Au 패드위에 솔더링한 후 150℃에서 1,000시간 시효하면 계면의 Ni₃Sn₄와 Ni₃Sn₂ 화합물과 솔더 사이에는 두께 약 5μm 정도의

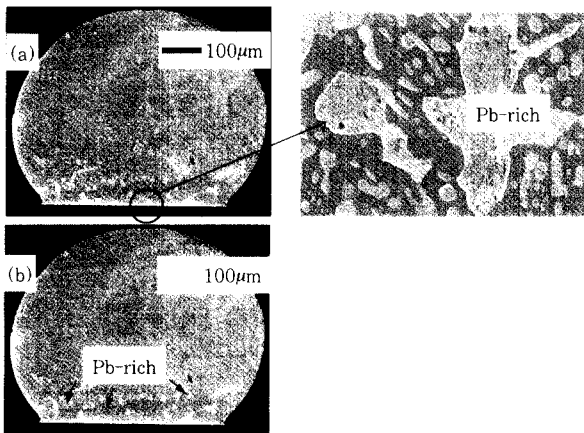


Fig. 7 SEM micrographs of Pb-rich colonies on Sn-37wt%Pb solder ball reflowed at 230℃ 0.4m/min. (a) not aged, (b) aged at 100℃ for 600hrs

Pb 층이 존재하며, 이 Pb 층은 약해서 열피로 응력하에서 파괴되기 쉽다고 한다. 본 연구에서는 Zhong 등의 결과에 비해 시효온도가 50℃낮아 Pb층까지는 발달하지 않고 Pb-rich 층이 확대되고 있는 것으로 판단된다.

한편, Zhong 등⁷⁾의 결과에 의하면 리플로(210℃, 1분)후 시효에 따른 전단강도 변화는 리플로 직후 1,300gf에서 1,000시간 시효후 800gf으로 약 40% 감소되었다고 한다. 이 값을 본 연구 결과(250℃, 0.4m/min)와 비교해 보면, 본 결과에서는 100℃, 1,000시간 시효에 의해 전단강도가 1,534gf에서 1,375gf로 약 10%감소 되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 BGA용 Sn-3.5Ag 및 Sn-37Pb 볼을 사용하여 리플로 솔더링할 때, 솔더링 온도변화에 따른 솔더 볼의 접합 특성을 조사하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 솔더링 온도 증가에 따라 접합된 Sn-3.5Ag 솔더 볼의 높이는 조금씩 증가하고, 폭은 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 즉 Sn-3.5Ag의 경우, 솔더링 온도를 240℃에서 280℃까지 증가시킴에 따라 솔더볼의 높이는 0.550mm에서 0.607mm로 증가하였으며, 폭은 0.779mm에서 0.757mm로 감소하였다.
2. 솔더볼의 경도는 접합후 100℃에서의 시효시간 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 즉, 250℃에서 접합된 Sn-3.5Ag 솔더볼의 시효전 경도값은 14.90Hv이고, 100℃에서 1,000시간 시효후에는 12.83Hv로 감소되었다.
3. 시효전 Sn-3.5Ag 솔더볼 접합부의 전단강도는 260℃에서 가장 높은 평균값 1,727gf가 얻어졌다. 100℃에서 1,000시간 시효에 의해 전단강도값이 감소되었으며, 감소폭은 평균 약 80~150gf 범위이다.

감 사 의 글

본 연구는 서울시립대학교의 학술연구조성비(1999년) 및 첨단장비지원(1998년)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Glazer, Microstructure and Mechanical Properties of Pb-Free Solder Alloys for Low-Cost Electronic Assembly : A

- Review Journal of Electronic Materials, Vol.23, No.8, pp.693~700(1994)
2. 홍순국, 實裝技術에 있어서의 環境影響, 대한용접학회지, Vol.13, No.4(1995), pp.24-26
 3. 大塚正久, 世界におけるPbフリーソルダの動向, Symposium on Actions for Environmental Concern in Electronics Assembly, Japan(1998), pp.1-10
 4. T.Takemoto, The recent situation of lead-containing solder regulation and replacement to environmentally compatible lead-free solder, 銲接學會誌, Vol.69, No.2(2000), pp.100-107
 5. K.W.Moon, Dynamic Aspects of Wetting Balance Tests, Journal of Electronic Packaging(1996), pp174-183
 6. 박재용, Wetting balance curve의 젖음력 해석 및 솔더 결합부 형상 예측에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문(2000)
 7. C.H. Zhong, Solder joint reliability of plastic ball grid array packages, Soldering & Surface Mount. Tech., Vol.11, No.1(1999), pp.44-48