

## Sn-3.5Ag-0.7Cu Micro-BGA의 Soldering성 연구

신규식 · 김문일 · 정재필 · \*신영의 · \*\*Kozo Fujimoto

서울시립대학교 재료공학과

\*중앙대학교 기계공학부

\*\*오사카대학 공학연구과

### A Study on The Solderability of Micro-BGA of Sn-3.5Ag-0.7Cu

Kyu Sik Shin, Moon Il Kim, Jae Pil Jung, \*Young Eui Shin and \*\*Kozo Fujimoto

Dept. of Materials Science and Eng., University of Seoul

\*School of Mechanical Engineering, Joong-Ang University

\*\*Graduate school of Engineering, Osaka University

**초 록:** 직경 0.3 mm의 Sn-37Pb 및 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더볼을 솔더링 온도와 기판의 이송속도 (conveyer speed)를 변화시켜 가며 리플로 솔더링 하였다. 리플로 솔더링 온도범위는 Sn-37Pb의 경우 220~240°C, Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우는 230~260°C로 하였다. 실험결과, 전단강도 측면에서 최적 솔더링 조건을 Sn-37Pb의 경우 솔더링 온도 및 컨베이어 속도가 각각 230°C, 0.7~0.8 m/min이고, Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우 각각 250°C, 0.6 m/min으로 나타났다. 또한 최고 전단강도 값은 Sn-37Pb의 경우는 555 gf이고 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우는 617gf이다. 접합계면의 분석결과 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>층의 두께는 Sn-37Pb의 경우는 1.13~1.45 μm이고 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우는 2.5~4.3 μm이다.

**Abstract:** Sn-37Pb and Sn-3.5Ag-0.7Cu solder balls of 0.3 mm diameter were reflow soldered with the variation of soldering peak temperature and conveyer speed of reflow machine. The peak temperatures for soldering were changed in the range of 220~240°C for Sn-37Pb and 230~260°C for Sn-3.5Ag-0.7Cu. As the results of experiments, optimum soldering condition for Sn-37Pb was 230°C of soldering temp., 0.7~0.8 m/min of conveyer speed. The optimum condition for the Sn-3.5Ag-0.7Cu was 250°C and 0.6 m/min. The maximum shear strength for the soldered joints of Sn-37Pb was 555 gf and of Sn-3.5Ag-0.7Cu was 617 gf. Thickness of the intermetallic compound Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> on the soldered interface was 1.13~1.45 μm for Sn-37Pb and 2.5~4.3 μm for Sn-3.5Ag-0.7Cu.

**Key words:** micro-BGA, reflow soldering, Pb-free solder, Sn-3.5Ag-0.7Cu, soldering condition, shear strength, intermetallic compound

### 1. 서 론

최근 급속한 반도체 산업의 성장으로 전자부품을 사용한 생활용품 및 산업용품의 전성기를 맞이하고 있다. 반도체의 경우 현재 고밀도 고집적화를 위해 점점 크기가 작아지고 용량이 급속도로 증가하는 추세에 있으며 그에 따른 패키징 방법도 크게 달라지고 있는 실정이다.

반도체 패키지의 3가지 기능은 칩을 보호하는 기능

과 device의 미세 pad pitch로부터 실장가능한 패키지 단자 pitch까지의 기계적 연결, 전기적 신호 및 전원을 chip에 전달하는 역할이다. 이러한 패키지의 형태중 현재 가장 발달된 형태가 Chip Size Package (CSP)이다 CSP란 chip size와 동등 혹은 거의 같은 크기의 패키지의 총칭으로 그 대표적인 예가 μBGA이다.

μBGA는 최근 발표되고 있는 여러 가지 CSP package 중에서 real chip size package로서 기존 패키지와 비교하여 그 크기와 무게를 약 1/3 수준으로 줄일 수 있는 특

성을 가지고 있으며  $\mu$ BGA의 독특한 구조에 의하여 stress를 현저히 감소시킬수 있어 높은 성능과 신뢰성을 얻을 수 있다. 또한 주로 FLASH, SRAM과 DRAM같은 메모리 디바이스에 적용되며 일반 리드프레임 패키지보다 high speed를 요구하거나 면적과 무게를 줄이고 싶은 요구를 충족시켜 줄 수 있다.  $\mu$ BGA는 휴대폰, 디스크드라이브, 노트북, PDAs, 캠코더, 메모리 카드 그리고 많은 무선기기에 사용된다.<sup>1-3)</sup>

현재 일부 기업에서는  $\mu$ -BGA에 대한 연구가 진행되고 있으나 대부분의 기업에서는 그에 대한 연구가 충분히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 본 연구에서 사용된 Sn-3.5Ag-0.7Cu는 Pb-free solder로 사용이 유력한 합금이나, 지름 0.3 mm의 BGA soldering성에 대한 충분한 검토가 부족하다.

따라서 본 연구에서는 지름 0.3 mm Sn-3.5Ag-0.7Cu의 solder ball을 사용하여 솔더링성을 평가하였다. 또한 정밀한 솔더링성을 평가하기 위하여 솔더링조건, 접합계면, 접합강도를 평가하여 산업현장에서 요구되는 soldering 기술의 적용 근거가 되고자 하였다.

## 2. 실험

본실험을 위해 크기 0.28 mm의 패드(pad)를 만들었으며, 패드재료는 Cu이다. Cu를 선택한 이유는 현재 solder paste에 대한 Ni 및 Au coating에 대한 연구결과는 많이 나와 있으나  $\mu$ -BGA에 대해서는 아직 부족한 편이다. 따라서 연구를 위한 기초실험으로써 Cu를 사용 하였다. 제작된 기관위에 잔류잔사가 생기지 않는 RMA-type의 BGA용 flux를 사용하여 0.3 mm의 Sn-3.5Ag-0.7Cu 및 Sn-37Pb의 solder ball을 올려놓고 생산용 reflow machine을 사용하여 대기중에서 가열하였다. Reflow machine의 예열온도는 BGA용 flux의 활성화 온도인 150°C로 고정하였다. Sn-37Pb 솔더볼의 경우 reflow peak 온도를 220, 230, 240°C로 하였고 conveyer belt의 속도는 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 m/min으로 변

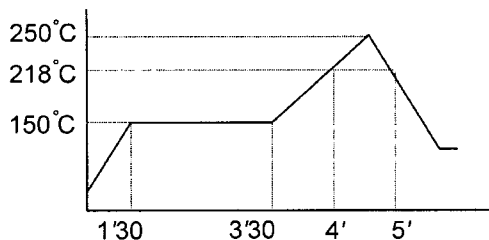


Fig. 1. Heating and cooling profile for the reflow soldering.

화시켰다. Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우 reflow peak 온도를 230, 240, 250, 260°C로 하고 conveyer belt의 속도는 Sn-37Pb와 같이 변화시켰다.

Fig. 1은 250°C의 reflow peak 온도에서 0.6 m/min의 속도로 reflow시 얻어진 온도 profile이다. 그림에서 우측이 가열의 시작을 나타내며, 전형적인 reflow soldering시 나타나는 양호한 온도 profile을 보여주고 있다.

솔더링부의 미세조직 관찰을 위해 etchant는 95% ethanol, 2% hydrochloric acid, 3% nitric acid를 사용하였으며, SEM (secondary electron microscopy)을 이용하여 금속조직을 관찰하였다. 또한 솔더링부의 전단강도는 미세전단시험기를 사용하여 측정하였으며 Fig 2.는 전단강도의 측정조건을 나타낸 그림이다.<sup>2)</sup> 각 시험의 전단시험 횟수는 30회로 하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 3-1 솔더링조건

$\mu$ -BGA의 양호한 솔더링 조건을 결정하기 위해 솔더링 peak 온도 및 conveyer speed를 변화시켜 접합결과를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1은 Sn-37Pb 솔더볼의 접합상태를 나타낸 것이다. 솔더링 peak 온도 220~240°C, conveyer 속도 0.6~0.9 m/min으로 하였을 때 모든 조건에서 양호한 접합을 이루었다.

Table 2는 솔더링 조건에 따른 Sn-3.5Ag-0.7Cu solder ball의 1차 reflow 후 솔더볼의 접합부의 상태를 표시한 것이다. 230°C에서는 0.7 m/min 이상에서, 240°C에서는 0.9 m/min 이상에서 접합이 불가능하였다. 반면

Table 1. Results of soldering of the Sn-37Pb ball

	0.6 m/min	0.7 m/min	0.8 m/min	0.9 m/min
220°C	bonded	bonded	bonded	bonded
230°C	bonded	bonded	bonded	bonded
240°C	bonded	bonded	bonded	bonded

Table 2. Results of soldering of the Sn-3.5Ag-0.7Cu ball

	0.6 m/min	0.7 m/min	0.8 m/min	0.9 m/min
230°C	bonded	not bonded	not bonded	not bonded
240°C	bonded	bonded	bonded	not bonded
250°C	bonded	bonded	bonded	bonded
260°C	bonded	bonded	bonded	bonded

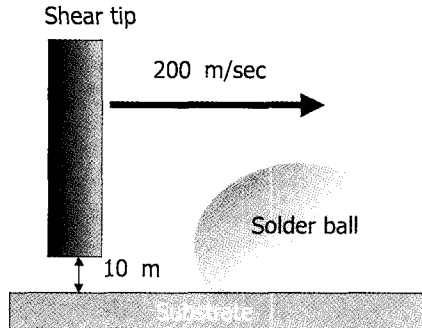


Fig. 2. Schematic diagram of shear test for the soldered ball.

230°C-0.6 m/min, 240°C-0.6~0.8 m/min, 250°C 및 260°C에서는 0.6~0.9 m/min의 범위에서 접합이 가능하였다.<sup>4)</sup>

Sn-3.5Ag-0.7Cu의 reflow 속도 및 peak 온도의 변화에 따라 솔더링을 실시한 결과, peak 온도가 증가할수록, conveyer belt의 속도가 감소할수록 양호하게 접합되었다. 그 이유는 Sn-37Pb의 용점은 183°C이고 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 용점은 217°C이므로 후자의 경우 conveyer belt의 속도가 빠르고 peak 온도가 낮은 조건에서는 solder의 용점에 비하여 낮은 입열량으로 인하여 solder가 충분히 용융되지 않았기 때문이라고 판단된다.

### 3-2. 접합계면

#### (1) Sn-37Pb 솔더볼

솔더링 접합부를 좀 더 상세히 관찰하기 위하여 입열량이 많을 때 (240°C 0.6 m/min), 적을 때 (220°C 0.9 m/min), 그리고 그 중간단계 (230°C 0.8 m/min)를 선정하여 SEM을 사용하여 금속간 화합물 및 미세조직을 분석하였다.

Fig. 3는 그림은 220°C 0.9 m/min에서 접합한 Sn-37Pb solder ball의 전체 단면을 위에서부터 아래로 내려오면서 찍은 SEM 사진이다. 사진에서 검은색으로 나타난 영역은 Pb-rich 영역이며 상대적으로 흰 부분은 Sn-rich 영역이다.<sup>5)</sup>

솔더의 상부에 보이는 미세한 조직은 급속히 냉각된 Sn-Pb 공정조직에서 흔히 볼 수 있는 것이고 하부의 조대한 조직은 Sn-Pb 공정조직의 서냉시 나타나는 조직이다.<sup>7)</sup> 냉각시 솔더볼의 상부에서는 대기중으로 급속히 열을 빼앗기지만 기판과 접촉되어 있는 계면 근처의 솔더의 경우 기판에 의해 열을 많이 방출하지 못했기 때문에 생긴 조직으로 판단된다.

Fig. 4는 접합부에서 성장한 금속간 화합물의 SEM

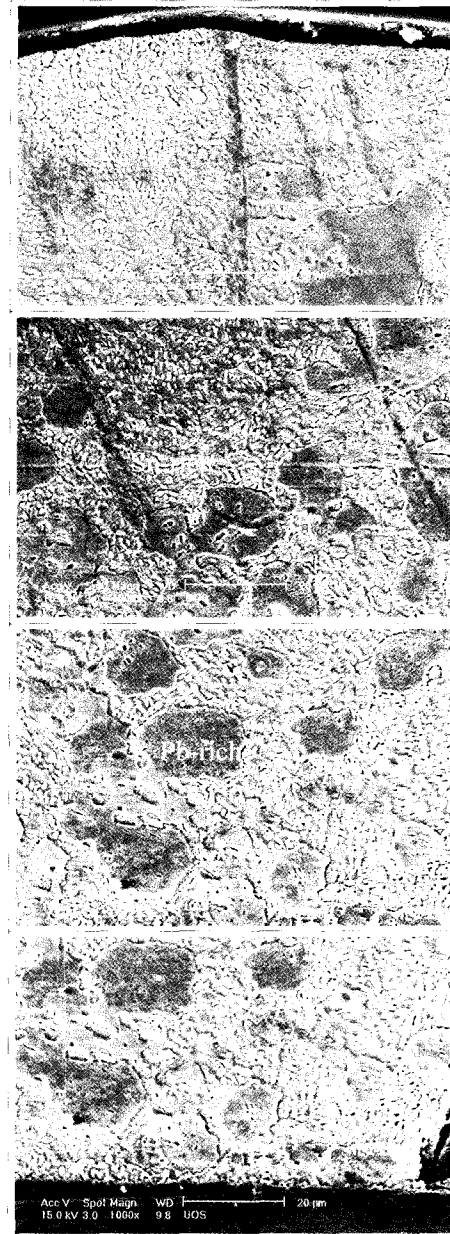


Fig. 3. Microstructure of the soldered joint of Sn-37Pb ball.

사진으로 EDS 분석결과 이 IMC 층의 성분은  $Cu_6Sn_5$ 로 판명 되었으며 계면에서의 금속간 화합물의 형태는 scallop형이다.<sup>7)</sup>

Fig. 5는 Sn-37Pb 솔더볼의 접합조건에 따른 계면에서의 금속간 화합물의 두께변화를 보인 것이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 220°C-0.9m/min에서 240°C-0.6m/

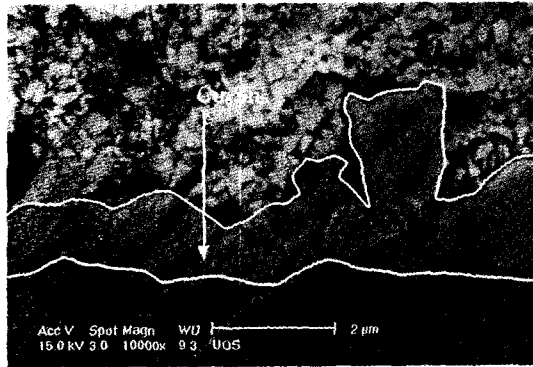


Fig. 4. Intermetallic compounds between Sn-37Pb solder ball and Cu-pad (soldering condition : 230°C 0.7 m/min).

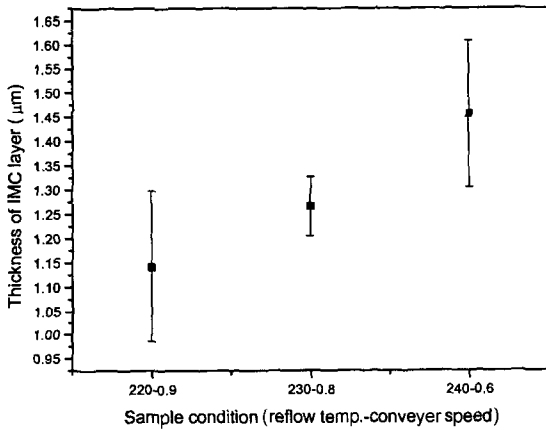


Fig. 5. Microstructure of soldered joint of Sn-3.5Ag-0.7Cu ball.

min까지 reflow온도가 증가하고 conveyer속도가 감소할수록, 즉 솔더볼이 받는 열량이 증가할수록 금속간 화합물의 두께는 1.13 μm에서 1.45 μm까지 증가하였다.

(2) Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더볼

Table 2의 접합조건에 따른 접합성의 결과를 좀 더 자세히 조사하기 위하여 reflow peak 온도와 conveyer속도에 따라 접합조건이 가장 좋을 때(260°C-0.6 m/min)와 좋지 않을 때(250°C-0.7 m/min)의 시편을 선정하여 SEM사진을 찍어 금속간 화합물 및 시편내부의 조직을 관찰하였다.

Fig. 6은 관찰된 미세조직을 보인 것으로서, 1차 reflow 된 solder ball의 전체 단면을 위에서부터 아래로 내려오면서 찍은 SEM 사진이다. 사진에서 보듯이 상부의 조대한 조직에서 하부의 미세한 조직으로의 금속

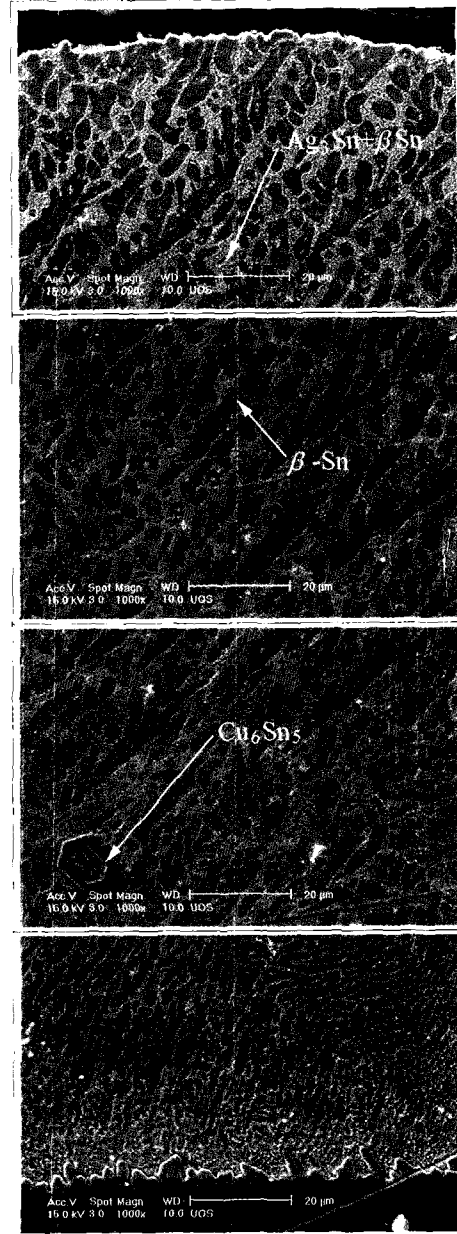


Fig. 6. Microstructure of soldered joint of Sn-3.5Ag-0.7Cu ball.

조직 변화를 보여 주고 있다. 여기서 금속조직의 성장 방향은 솔더의 상부표면으로부터 기판쪽으로 성장을 하였고 계면 근처의 금속조직은 등축형의 조직으로서 일반적인 금속의 주조조직과 비슷한 형태를 갖고 있다. 검은색으로 나타난 영역은 초정의 β-Sn상이며 상대적으로 밝은색으로 나타난 영역은 Ag<sub>3</sub>Sn+β Sn상이다.<sup>6)</sup>

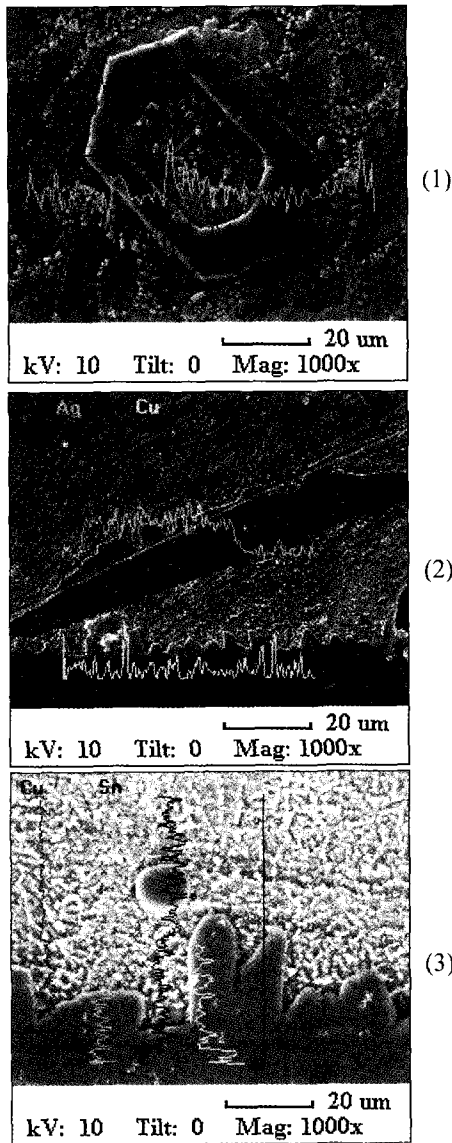


Fig. 7. Intermetallic compounds in the Sn-3.5Ag-0.7Cu solder ball, (1) hexagonal (Cu6Sn5) (2) needle (Ag3Sn) (3) scallop (Cu6Sn5).

Fig. 7은 Fig. 6의 솔더 볼 단면에서 볼 수 있는 금속간 화합물의 성분과 형태를 보여주는 것으로서 EDS line 분석을 한 결과이다.

솔더 내부에 존재하는 hexagonal형의 금속간 화합물은 EDS분석결과 Cu6Sn5로 판명되었으며 이 금속간 화합물은 속이 비어있는 육각형의 rod형이다. 또한 그 내부는 solder로 채워져 있다. solder ball과 Cu pad사이의 계면에서 내부로 성장하는 형태의 needle형의 금속

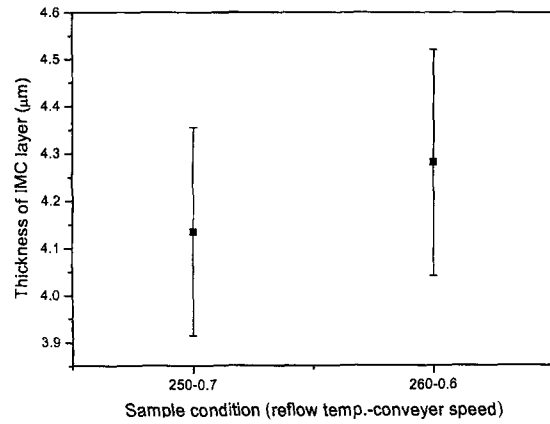


Fig. 8. Thickness of intermetallic compounds between Sn-3.5Ag-0.7Cu solder ball and Cu-pad.

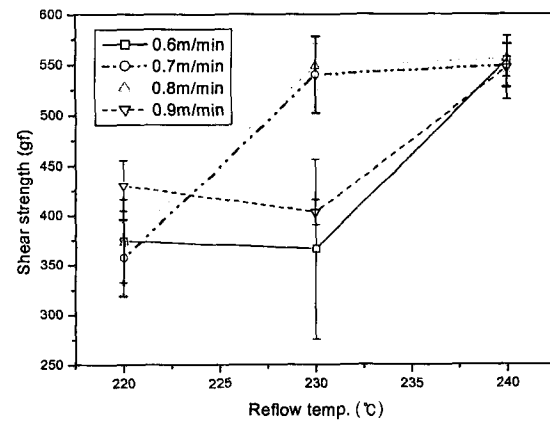


Fig. 9. Shear strength of Sn-37Pb soldered joints with peak temperature of reflow soldering.

간 화합물은 EDS분석결과 Ag3Sn으로 판명되었다. 계면에서 관찰된 scallop형의 금속간 화합물은 EDS분석결과 Cu6Sn5의 금속간 화합물로 판명되었으며 soldering의 reliability와 밀접한 관계를 갖고 있다. 즉, 이 금속간 화합물층의 두께는 솔더볼 접합부의 전단강도와 밀접한 관계를 갖고 있으며 최고의 전단강도 값을 갖는 금속간 화합물층 두께의 임계값이 존재한다.<sup>6,7)</sup>

Fig. 8은 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더와 Cu pad 사이의 접합 계면의 금속간 화합물의 두께측정 결과를 보인 것이다. Fig. 8에서 보듯이, peak 온도를 230°C-0.7 m/min에서 260°C-0.6 m/min로 reflow 온도가 증가하고 conveyer 속도가 감소할수록, 즉 솔더볼이 받는 열량이 증가할수록 금속간 화합물의 두께는 4.2 μm에서 4.4 μm까지 증가하였다.

Fig. 8에 보인 Sn-3.5Ag-0.7Cu에서의 금속간 화합물

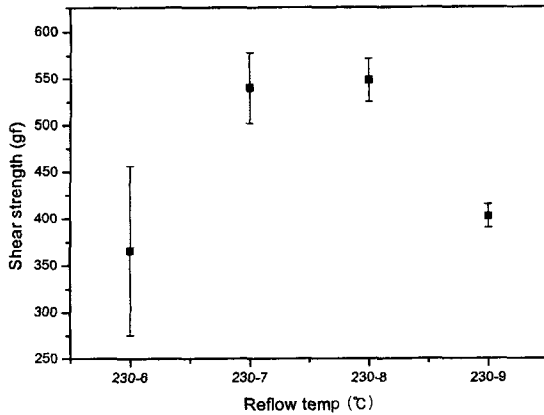


Fig. 10. Shear strength of Sn-37Pb solder joints with conveyer speed.

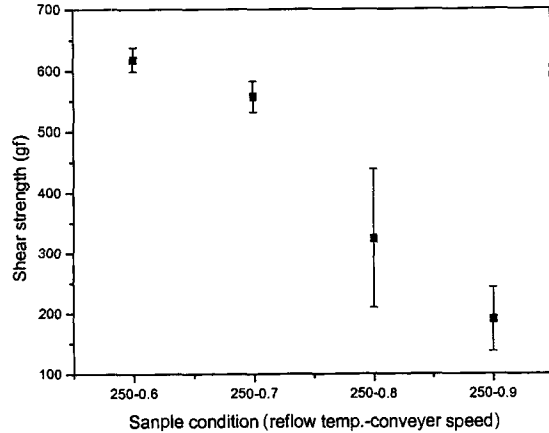


Fig. 12. Shear strength of Sn-3.5Ag-0.7Cu soldered joints with conveyer speed.

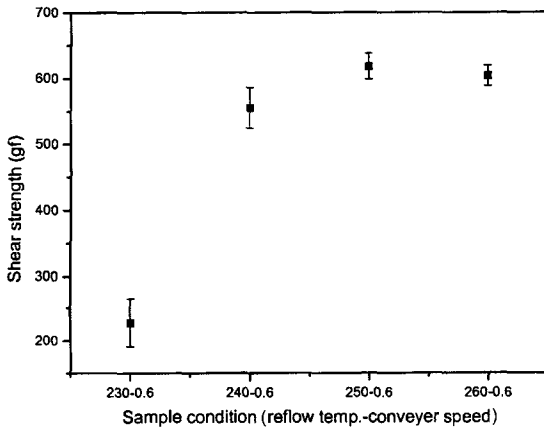


Fig. 11. Shear strength of Sn-3.5Ag-0.7Cu solder joints with peak temperature of reflow soldering.

두께(4.2  $\mu\text{m}$ ~4.5  $\mu\text{m}$ )는 Sn-37Pb에서의 금속간 화합물 두께(1.13  $\mu\text{m}$ 에서 1.45  $\mu\text{m}$ , Fig. 5참조)보다 약 3  $\mu\text{m}$ 정도 두꺼웠다. 이러한 원인 중 하나는 Sn-Ag-Cu의 경우 Sn-Pb에 비해 솔더링 온도가 높기 때문에 Cu-pad가 용융솔더로 용해되어 나오는 양이 많을 것이기 때문이다.

### 3-3 전단강도 시험결과

#### (1) Sn-37Pb 솔더볼의 전단강도

Fig. 9은 Sn-37Pb 솔더볼의 전단강도를 reflow peak 온도와 conveyer 속도에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 reflow peak 온도가 증가함에 따라 solder ball 접합부의 전단강도가 대체로 증가함을 알 수 있다.

Fig. 10는 reflow 온도가 230°C일 때 conveyer 속도를 증가시키기에 따라 Sn-37Pb solder ball 접합부의 전단강

도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 0.7 m/min~0.8 m/min conveyer 속도 일 때 전단강도가 가장 우수하게 나타났다. 이것은 Sn-37Pb solder의 경우 reflow 온도를 230°C로 고정하였을 때 conveyer 속도가 0.7~0.8 m/min의 경우에 최대 전단강도를 갖는 금속간 화합물의 두께가 임계값에 도달된 것으로 판단되나, 정확한 원인을 밝히기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 상태이다.

#### (2) Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더볼의 전단강도

Fig. 11은 conveyer 속도를 0.6 m/min으로 고정시키고, soldering peak 온도변화에 따른 전단강도 변화를 나타낸 그림이다. 230°C에서 260°C로 reflow peak 온도를 증가시키기에 따라 전단강도는 227 gf에서 603 gf로 증가하였으며, 최고강도는 250°C에서의 617 gf이다.

Fig. 11로부터 soldering의 최적온도는 250°C인 것으로 판단되어, peak 온도를 250°C로 고정시키고 conveyer speed를 변화시키며 solder ball의 접합실험을 행하였다. Fig. 12는 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더볼의 접합부 전단강도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 conveyer speed를 0.6 m/min에서 0.9 m/min으로 증가시키기에 따라 전단강도는 617 gf에서 189 gf로 감소하였다. 이것은 솔더볼이 받는 열량이 적어짐에 따라 솔더가 충분히 패드와 반응할 만큼 용융되지 못하여 접합강도가 떨어지는 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

Sn-3.5Ag-0.7Cu 및 Sn-37Pb 조성의 직경 0.3mm의  $\mu$ -BGA 솔더볼을 사용하여 reflow soldering을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전단강도 및 계면에서의 금속간 화합물의 두께를 비교 분석한 결과 0.3 mm Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더볼의 최적 reflow soldering 조건은 peak 온도 250°C, conveyer 속도 0.6 m/min이다. 또한, Sn-37Pb 솔더볼의 최적조건은 230°C, 0.7~0.8 m/min이다.

2. 0.3 mm 솔더볼의 1차 reflow 후 접합부 전단강도는 Sn-37Pb의 경우 최고 555 gf, Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우 최고 617 gf가 얻어졌다.

3. 솔더볼 접합계면을 SEM을 사용하여 분석한 결과, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>층이 관찰되었으며 그 두께는 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우 약 4.2~4.5 μm, Sn-37Pb의 경우 약 1.13~1.45 μm정도인 것으로 확인되었다.

4. 최대 전단강도 값을 갖는 금속간 화합물의 두께에는 임계값이 존재한다. Sn-3.5Ag-0.7Cu의 경우 금속간 화합물의 두께는 250°C-0.6 m/min에서 4.2 μm 이고, Sn-37Pb의 경우 230°C-0.8 m/min에서 1.25 μm 이다.

### 감사의 글

이 논문은 2000년 한국 과학재단 특정기초연구과제

연구비 지원에 의해 작성되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

### Reference

1. 월간반도체, "μBGA", 1999, 1월호, 전자자료사, 서울, pp. 34-35
2. 한현주, "Reflow 공정변수에 따른 BGA Soldering 특성에 관한 연구", 서울시립대학교 석사논문 [2000] 1-27
3. 월간반도체, "CSP의 기초와 실장기술 (1)", 1999, 3월호, 전자자료사, 서울, pp. 118-119
4. 정재필외 4명, "초소형 조정밀 전자용 soldering 공정 기술개발", 통상산업부 보고서, 2000
5. Se Young Jang, Kyung Wook Paik, "Eutectic Sn/Pb solder bump and under bump metallurgy : interfacial reactions and adhesion" Soldering&Surface Mount Technology, 1998, pp. 29-37
6. Paul G.harris, Kaldev S. Chaggar "The role fo inter-metallic compounds in lead-free soldering", Soldering&Surface Mount Technology, 1998, pp. 28-52
7. D. R. Frear, W. B. Jones, K. R. Kinsman "Solder Mechanics" TMS, pp. 2-7, 53-57, 245-255