

## Sn3.5Ag0.7Cu 솔더의 계면위치에 따른 금속간 화합물과 강도 연구

신규식, 박지호\*, 정재필\*

서울시립대학교 신소재공학과(현 전자부품연구원), 서울시립대학교 신소재공학과\*

## A Study on the of Intermetallic compound and shear strength of Sn3.5Ag0.7Cu ball with interface position

K. S. Shin, J. H. Park\*, J. P. Jung\*

Dept. of Materials Science & Engineering, University of Seoul

### Abstract

Intermetallic compound on the soldered interface plays important role on the bondability and mechanical properties of soldered joint. The formation of intermetallic compounds are influenced by many factors such as temperature, holding time, base metals and so on. On this study the effect of number of reflow times on the intermetallic growth was investigated. For the experimental materials, Sn-3.5Ag-0.7Cu solder ball of 0.3mm diameter and RMA-type flux were used. Thickness of intermetallic compound of solder ball by 2nd reflow showed nearly 60% higher than that of 1st reflow, and shear strength showed 10% higher value. Thickness and shear strength according to the position of interface such as upper side or lower side between two substrates were also investigated.

### 1. 서 론

최근 전자 산업에서의 환경 규제와 관련하여, 솔더의 무연화에 대해 많은 연구가 진행 중에 있다. 여러 가지 무연솔더 중 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더는 Sn-Pb를 대체할 수 있는 가장 유력한 후보 중 하나로 평가되고 있다. Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더의 용점은 218℃로서 무연솔더 후보중 Sn-37Pb에 근접한 것 중 하나이며, Cu를 함유하고 있기 때문에 솔더링 중에 Cu기판의 용출현상이 적다는 장점을 가지고 있다.

또한, 솔더링부의 강도도 양호하여 신뢰성 측면에서도 우수한 것으로 평가되고 있기 때문에<sup>1)</sup> 본 연구에서도 이 솔더를 실험재료로 선택하였다.

Fig. 1 (a)는 일반적인  $\mu$ BGA의 제조공정을 나타낸 것이다. 우선 개략적인 공정을 보면, 칩에 솔더볼을 올려놓은 후 1차 리플로를 거치면서 솔더볼과 칩이 접합을 이룬다. 이렇게 솔더볼이 접합된 칩을 PCB위에 올려놓고 2차 리플로를 행함으로써 솔더볼이 접합된 칩과 PCB를 접합한다. 이때 솔더와 기판사이의 아래쪽 계면에서 형성되는 금속간 화합물

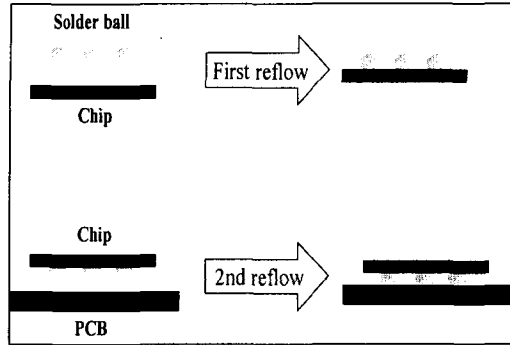


Fig. 1 General reflow process for  $\mu$ BGA

과, 솔더와 칩 사이의 위쪽 계면에서 형성되는 금속간 화합물에는 차이가 있을 수 있다. 그러나, 이러한 계면의 상하 위치변화에 따른 미세조직 변화에 관해서는 연구보고된 바가 거의 없는 형편이다.

따라서, 본 실험에서는 계면의 상하 위치변화에 따른 금속간 화합물과 전단강도를 조사하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 실험을 위해 유리에폭시 수지로 된 FR-4기판 위에 크기 0.28mm의 패드(pad)를 만들었으며, 패드재료는 Cu이다. 제작된 기판 위에 BGA용 RMA (Rosin Mildly Activated)형의 플럭스를 IPA (Iso-Propyl Alcohol)에 희석하여 분무하였다. 이 패드 위에 Sn3.5Ag0.7Cu조성의 직경 0.3 mm을 올려놓고 리플로 장치에서 가열하였다. 리플로 예열온도는 BGA용 플럭스의 활성화 온도인 150°C이며, 리플로 피크온도는 250°C, 컨베이어 속도는 0.6 m/min으로 하였다.<sup>4)</sup>

솔더링하는 시편의 위치, 즉 칩과 기판을 솔더링할 때 칩쪽과 기판쪽 계면의 금속간 화합물에 대한 조사를 하기 위해 실험을 행하였다. Fig. 2는 각 시편의 리플로 조건을 나타낸 그림으로, 시편 (1)은 1차 리플로한 시편, (2)는 2차 리플로된 시편(2nd 리플로로 표기), (3)은 1차 리플로된 시편을 뒤집어서 새로운 기판 위에 올려놓고 리플로한 시편(2nd up

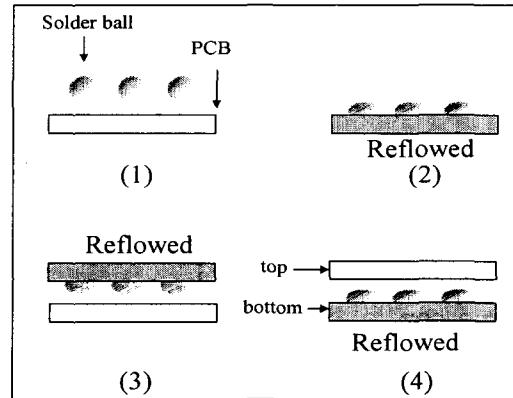


Fig. 2 Reflow soldering methods for the experiments (1)1st reflow (2)2nd reflow (3)2nd up (4) 2nd down

으로 표기), (4)는 1차 리플로된 시편 위에 새로운 기판을 올려놓고 리플로된 시편(2nd down으로 표기)이다. (2)의 경우는 실험실에서 주로 사용하는 2차 리플로 방식이며, (3)의 경우 일반적인  $\mu$ -BGA의 솔더링 공정에 사용하는 방식이다.

각 시편의 금속간 화합물의 성장과 접합강도를 측정하기 위해 주사전자 현미경과 전단시험기를 사용하였다. 전단시험기의 조건으로 팁과 기판사이의 거리는 10 $\mu$ m이고, 팁의 속도는 200 $\mu$ m/sec로 하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

Fig. 3은 1차 리플로된 시편의 단면 SEM 사진을 보인 것이다. 사진에서 보듯이 솔더와 패드 사이의 계면은 전형적인 Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간 화합물이 관찰되었다. 일반적으로 Cu기판과 Sn계 무연솔더 사이의 계면에서는 솔더링 초기에 Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub>가 관찰되며, Aging에 따라 Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub>와 Cu 기판 사이에 Cu<sub>6</sub>Sn의 금속간 화합물이 생성된다고 보고되어 왔다<sup>2)</sup>. 본 실험의 경우, 1차 리플로시 계면에서 생성된 Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간 화합물의 두께는 3.4  $\mu$ m정도이며 계면에서의 금속간 화합물의 형태는 부채꼴(scallop)형이다. 사진의 가운데에 있는 금속간 화합물은 Ag<sub>3</sub>Sn으로 주로 솔더

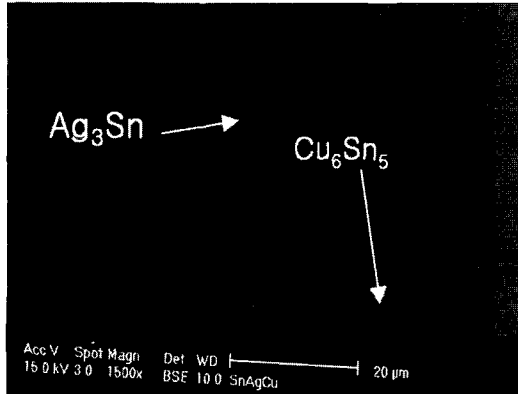


Fig. 3 Intermetallic compound observed on the Sn3.5Ag0.7Cu/Cu interface (soldering method : 1st reflow, see Fig 2-(1))

의 계면이나 솔더의 표면에서 솔더 내부로 성장하여 들어간 형태를 갖는 것으로 관찰되었다.

Fig. 4는 2차 리플로된 시편의 단면 조직 사진이다. 금속간 화합물의 형태는 Fig. 3과 같이 부채꼴형이나 그 크기에 있어서는 상당한 변화가 관찰된다. 즉, 금속간 화합물의 두께가 1차 리플로 시편의 경우에 비해 증가하며, 약 7~10μm까지 성장하고 있음을 볼 수 있다. 또, 계면에서 금속간 화합물의 두께가 성장함에 따라 금속간 화합물의 크기분포도 1차에 비해 균일해지는 것을 관찰할 수 있다.

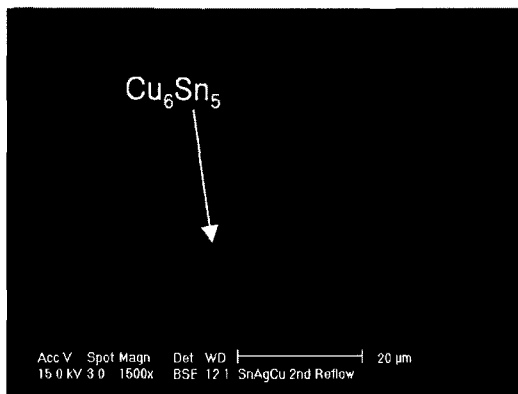


Fig. 4 Intermetallic compound observed on the Sn3.5 Ag0.7Cu/Cu interface (soldering method : 2st reflow, see Fig 2-(2))

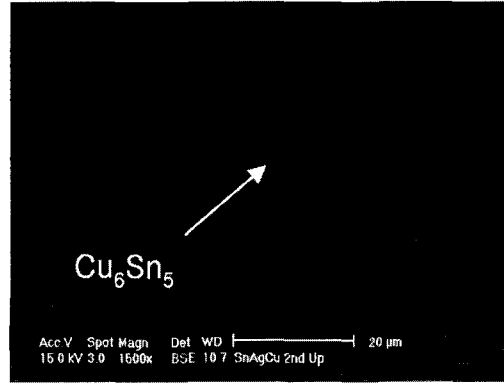


Fig. 5 Intermetallic compound observed on the Sn3.5 Ag0.7Cu/Cu interface (soldering method : 2nd up, top side, see Fig 2-(3))

Fig. 5는 1차 리플로된 시편을 새로운 기판 위에 뒤집어 올려놓고 reflow한 시편 (Fig. 2, (3) 번 시편)의 단면 SEM사진으로 윗쪽의 2차 리플로된 계면을 보여주고 있다. 금속간 화합물의 전반적인 크기는 1차 리플로한 시편의 금속간 화합물의 크기와 비슷하며, 성장한 형태는 1차 리플로된 시편에 비하여 균일하다.

Fig. 6은 1차 리플로된 시편을 새로운 기판 위에 뒤집어 올려놓고 리플로된 시편 (Fig. 2, (3) 번 시편)의 단면 사진으로 아래기판쪽의 1차 리플로된 계면을 보여주고 있다. 금속간 화합물의 전반적인

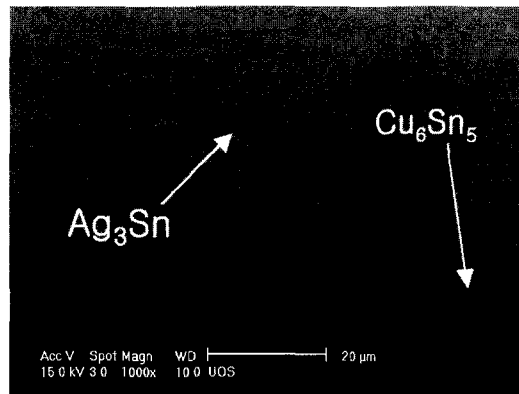


Fig. 6 Intermetallic compound observed on the Sn3.5 Ag0.7Cu/Cu interface (soldering method : 2nd up, bottom side, see Fig 2-(3))

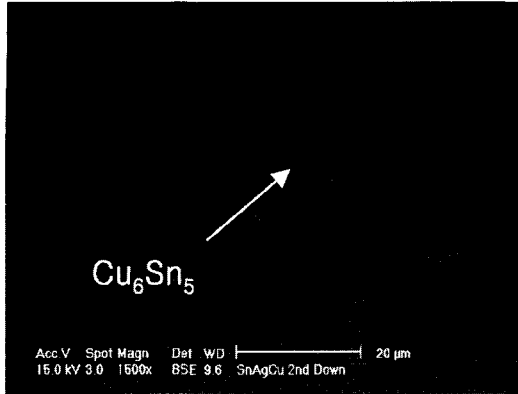


Fig. 7 Intermetallic compound observed on the Sn3.5 Ag0.7Cu/Cu interface (soldering method : 2nd down, top side, see Fig 2-(4))

크기와 균일도는 1차 리플로된 시편 ((1)번시편)의 금속간 화합물과 비슷하다.

Fig. 7는 1차 리플로된 시편 위에 새로운 기판을 올려놓고 리플로된 시편 (Fig. 2, (4)번 시편)의 단면 사진으로 top의 1차 리플로된 계면을 보여주고 있다. 계면에서의 금속간 화합물의 크기와 크기분포는 시편 Fig2-(3)의 2차 리플로된 계면의 것과 비슷하다.

Fig. 8은 1차 리플로된 시편 위에 새로운 기판을 올려놓고 리플로된 시편의 단면 사진으로 아래기판 쪽의 2차 리플로된 계면을 보여주고 있다.

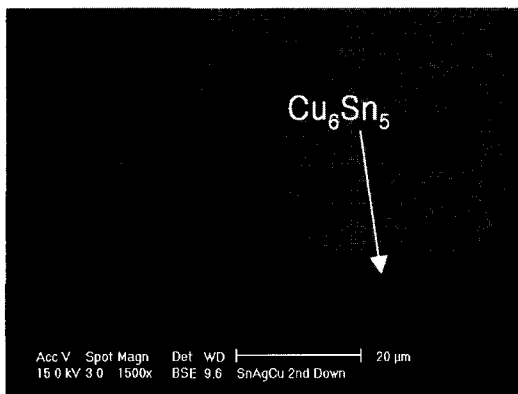


Fig. 8 Sample (4) (bottom) (reference Fig.2)

Fig. 9는 Fig. 2-(3)번 시편에서 1차, 2차 리플로된 계면의 금속간 화합물층의 두께차가 적은 이유에 대해 설명한 모식도이다. Sn-Ag-Cu계 솔더의 솔더링시 솔더 내부에도  $Cu_6Sn_5$ 의 금속간 화합물이 생성된다. 솔더내에 생성된  $Cu_6Sn_5$ 는 몇차례 리플로가 진행됨에 따라 Cu Sn의 비중차(Cu의 비중 : 8.92, Sn의 비중 : 7.28)에 의해 Cu가 많이 포함된  $Cu_6Sn_5$ 는 용융 Sn에 비해 상대적으로 무거우므로 솔더의 아래쪽 계면으로 침전된다고 보고되고 있다<sup>3)</sup>.

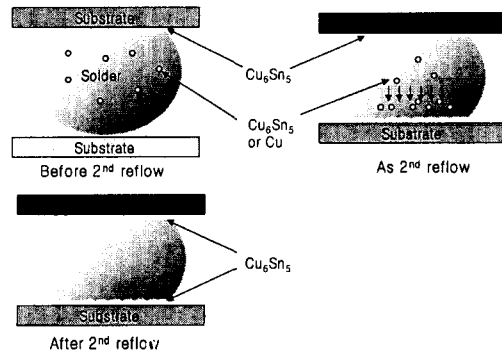


Fig. 9 The schematic diagram of IMC growth on the 1st and 2nd reflowed interface.

본 실험에서도 2차 리플로시 솔더내에 생긴  $Cu_6Sn_5$ 의 금속간 화합물 및 Cu 원자는 중력의 영향을 받아 솔더의 아래쪽 계면에 침전될 것이다. 침전된 금속간 화합물은 아래쪽 계면근처에서 결합되어 성장할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 현상에 의해 위쪽 계면에서의 금속간 화합물은 2차 리플로가 진행되었음에도 불구하고 1차 리플로된 아래쪽 계면에 비해 성장이 억제되었다고 판단된다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 Fig. 2-(1) 및 Fig. 2-(2)의 실험 방법으로 리플로한 계면에서의 금속간 화합물의 두께 및 전단강도의 변화를 정량적으로 나타낸 것이다. Fig. 10에서 2차 리플로시의 계면에서의 금속간 화합물의 두께 ( $5.3 \mu m$ )가 1차 리플로시 ( $3.4 \mu m$ ) 보다 약  $1.9 \mu m$  정도 증가한 것을 관찰할 수 있다. 또한 2차 리플로시의 전단강도 (440 gf)는 1차 리플로시 (500 gf) 보다

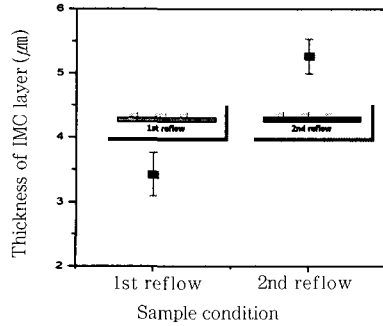


Fig. 10 Thickness of IMC layer on the Sn3.5Ag0.7Cu/Cu interface according to the 1st and 2nd reflow

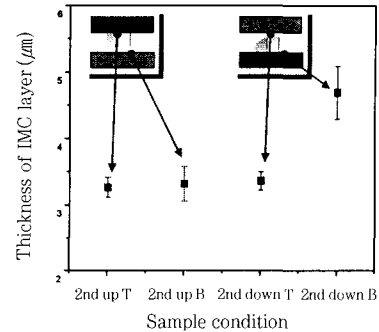


Fig. 12 Thickness of IMC layer according to the position of interface (T : Top side, B : Bottom side)

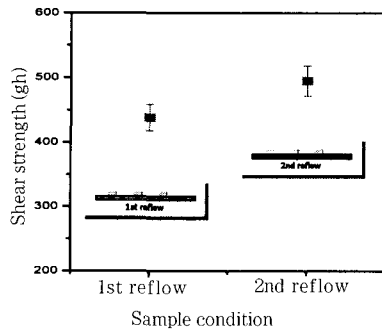


Fig. 11 Shear strength of Sn3.5Ag0.7Cu ball on the Cu-pad according to the 1st and 2nd reflow

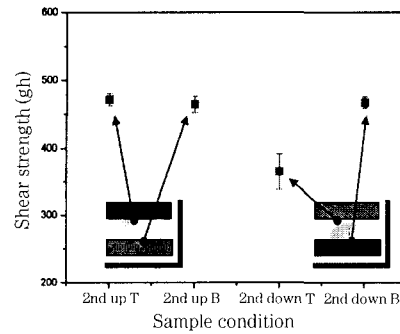


Fig. 13 Shear strength of IMC layer according to the position of interface (T : Top side, B : Bottom side)

60 gf 정도 높은 것으로 나타났다. 일반적으로는 금속간 화합물의 두께가 임계값 이상인 경우에 그 두께가 증가할수록 전단강도는 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 실험 결과의 경우는 이와 상반된 현상을 보이고 있는데, 원인은 아직 분명히 밝히지 못하였다.

Fig. 12 및 13은 계면의 위치에 따른 금속간 화합물층의 두께 및 전단강도 변화를 보인 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 2nd up 및 2nd down의 경우, 각각 1차 및 2차 리플로 후의 금속간 화합물층의 두께 변화는 전단강도 값의 변화경향과 비슷하다. 그러나 2nd up의 1차 리플로된 면(2nd up B쪽)과 2nd down의 1차 리플로된 면(2nd down T쪽)의 계면에서의 금속간 화합물의 두께는 비슷하지만 전단강

도 값에서 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 본 실험에서 계면에서의 금속간 화합물층의 두께 및 보고된 것처럼 서로 반비례 관계에 있지 않다는 것을 알 수 있었다.

또한 모든 솔더링 조건에서의 접합시편을 비교할 때에 2차 리플로된 계면의 전단강도는 약 500 gf 정도이나, 1차 리플로된 계면의 경우 2nd up에서만 전단강도 값이 약 500 gf 정도로 높게 나왔으며, 나머지의 경우는 약 400 gf 정도로 나타났다. 따라서 솔더링 방법이나 위치에 따라 전단강도 값이 20% 가량 차이가 날 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

Sn-3.5Ag-0.7Cu 조성의 직경 0.3 mm인  $\mu$ -BGA 솔더볼을 1차 및 2차 리플로 솔더링 한 후, 계면의 금속간 화합물과 접합강도를평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2nd 리플로시의 금속간 화합물층은 1st 리플로시의 두께는 약  $3.5\mu\text{m}$ 로 2nd 리플로의 경우가 약  $1.9\mu\text{m}$ 정도 증가하였다.

2) 평판 기판 위에 단순 1,2차 리플로를 실시한 후 상기 시편에 대해 2nd 리플로시의 전단강도는 약 500 gf, 1st 리플로시의 전단강도는 약 450 gf로, 2nd 리플로의 경우가 약 50 gf 정도 증가하였다.

3) 1차 리플로된 시편을 새로운 기판 위에 올려놓고 리플로한 시편의 경우 1차 및 2차 reflow 된 계면에서의 금속간 화합물층의 두께가 비슷한 이유는 솔더링중 솔더 내에 생긴  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 의 금속간 화합물층의 침전에 의한 것으로 판단된다.

4) 두개의 기판을 솔더링 하는 경우, 윗 기판 쪽과 아랫 기판쪽의 금속간 화합물의 두께 및 전단강도가 서로 차이가 많이 존재한다는 것을 확인하였다.

#### 5. 참고 문헌

1. エレクトロニクス 実装 における 環境問題シンポジウム (2000) pp 77
2. 한현주, 2000, "Reflow 공정변수에 따른 BGA Soldering 특성에 관한 연구", 서울시립대학교 석사논문 pp. 34-35.
3. J. S. Ha, J. Y. Park, J. P. Jung and C. S. Kang Mater. Trans. 42, (No. 5) (2001) 817
4. 신규식, 김문일, 정재필, 신영의, Kozo Fujimoto, J. Microelec. Packaging Soc. 7, (No. 3), (2000) 55