

솔더링 후의 냉각속도가 Sn-Ag-Cu 무연솔더 접합계면 특성에 미치는 영향

(Effect of Cooling Rates in Post-Soldering of Sn-Ag-Cu Lead-free Solder Joints)

정상원, 이혁모
한국과학기술원 재료공학과

Abstract

여러가지 Sn-Ag-Cu 솔더조성과 솔더링 후의 냉각속도에 따라 솔더링 접합부에서의 계면 미세 조직의 다양한 변화를 관찰해 보았다. 현재까지 Sn-Ag-Cu 3원계 공정점에 대한 정확한 연구가 미흡하고, 상용으로 제품화되고 있는 Sn-Ag-Cu 합금계는 3원계 공정조성에서 약간 벗어난 조성들을 선택하고 있다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 사용한 Sn-Ag-Cu 합금 조성은 Sn-3.5Ag, Sn-3Ag-0.7Cu, Sn-3Ag-1.5Cu, Sn-3.7Ag-0.9Cu, Sn-6Ag-0.5Cu로 선택하였으며, 각 조성에서 Lap Shear Joint를 제조하였다. 사용한 Solder pad는 Cu pad와 Cu pad 위에 Au/Ni를 plating한 것을 이용하였다. 리플로우 솔더링 조건은 250°C 이상의 온도에서 60초 실시하였으며, 리플로우 솔더링 후의 냉각속도를 달리하여 냉각시켰다. 솔더링 후의 냉각속도가 느려질수록 계면 금속간화합물(IMC)의 두께가 더욱 증가하며, 조대화되었다. 또한 솔더 조성의 영향에서 Cu와 Ag의 함량이 높을수록 계면 IMC의 두께가 증가되었으며, 이는 솔더내부에 형성된 IMC 입자들이 조대화되어 계면 IMC층에 결합되어 나타났기 때문이다.

1. Introduction

현재까지 연구들에서 Sn-Ag-Cu계의 3원계 Eutectic point에 대한 여러 가지 연구결과가 제시되고 있으나 아직까지 정확한 결론이 내려지지 않고 있으며, 그 중에서 가장 유력한 연구결과는 Sn-3.7Ag-0.9Cu라고 할 수 있다[1]. 하지만, 제품으로 출시되는 몇 가지 조성들은 이 조성에서 약간씩 벗어난 조성들이다[2]. 아직까지 Sn-Ag-Cu 3원계 공정조성의 근처 조성에 대한 연구들은 미흡하다고 할 수 있으며, 본 연구에서는 Sn-Ag-Cu 3원계 공정점 근처 조성으로 솔더볼을 제조하고 솔더접합부에서의 미세구조를 관찰하고자 하였다.

또한, 솔더링 공정에서 형성되는 IMC는 솔더접합부의 기계적 특성에 가장 큰 영향을 미치며 이는 전체 솔더접합부의 신뢰성에 결정적인 영향을 미친다고 할 수 있다[3]. IMC의 두께나 형상은 솔더 합금과 기판재료의 조성에 의해, 또는 솔더링 공정 중에 받게되는 열적 영향, 즉 솔더링 온도와 솔더링 시간 등에 의해 좌우될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 솔더합금의 다양한 조성 변화와 함께 솔더링 후의 냉각속도를 변화시킴으로써 계면 IMC의 미세조직에는 어떠한 영향을 미치게 되는지에 대해 알아보하고자 하였다.

2. Experimental

본 연구에서 결정한 솔더합금의 조성(wt%)은 (1)Sn-3.5Ag, (2)Sn-3.0Ag-0.7Cu, (3)Sn-3.0Ag-1.5Cu (4)Sn-3.7Ag-0.9Cu, (5)Sn-6.0Ag-0.5Cu이며 Fig. 1에 Liquidus projection 상태도와 함께 나타냈다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 (2), (3), (5)번 조성은 Sn-Ag-Cu 공정점 근처에서 액상과 함께 가장 먼저 석출할 수 있는 3가지 초정상 영역에 각각 포함됨을 알 수 있다. 솔더합금은 직경 760 μ m의 솔더볼 형

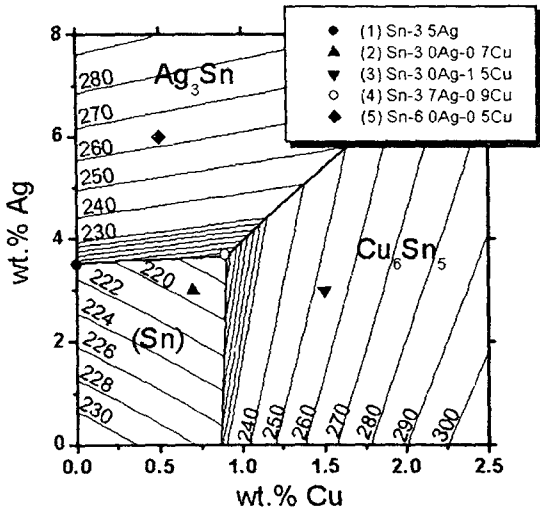


Fig. 1 Sn-Ag-Cu liquidus projection diagram

였으며, 보통 냉각의 경우에는 대기중의 알루미늄위에서, 느린 냉각의 경우에는 Tube furnace에서 상온까지 아주 천천히 냉각시켰다. 각각의 냉각속도는 16.67°C/sec, 1.6°C/sec, 0.0185°C/sec에 해당된다.

각 시편들의 단면 미세구조는 0.25 μ m의 Diamond paste로 미세연마 후 에칭액(92%CH₃OH-3%HNO₃-5%HCl 용액)을 이용하여 약 20~25초 정도 에칭하고 BS-SEM을 이용하여 관찰하였다. 또한 각 상의 조성분석은 EDS를 이용하였다.

3. Results and Discussion

(1) 솔더링 후 냉각속도의 변화

Fig. 2의 (a)와 (b)는 SEM 미세조직사진으로 부터 Image analyzing으로 기판과 솔더사이의 계면에서 형성된 IMC 층의 두께를 측정된 결과이다. Fig. 2 (a)는 Cu 기판의 경우이며, (b)는 Au/Ni/Cu 기판의 경우에 해당한다. 냉각속도가 느려질수록 계면 IMC 층의 두께는 더욱 증가됨을 알 수 있다. 이것은 솔더링시에 석출되는 계면 IMC 층과 함께 솔더링 후의 냉각시에도 냉각속도에 따라 계면 IMC 층이 크게 성장할 수 있으며, 솔더링 후의 냉각속도가 계면 IMC 층의 두께에 중요한 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

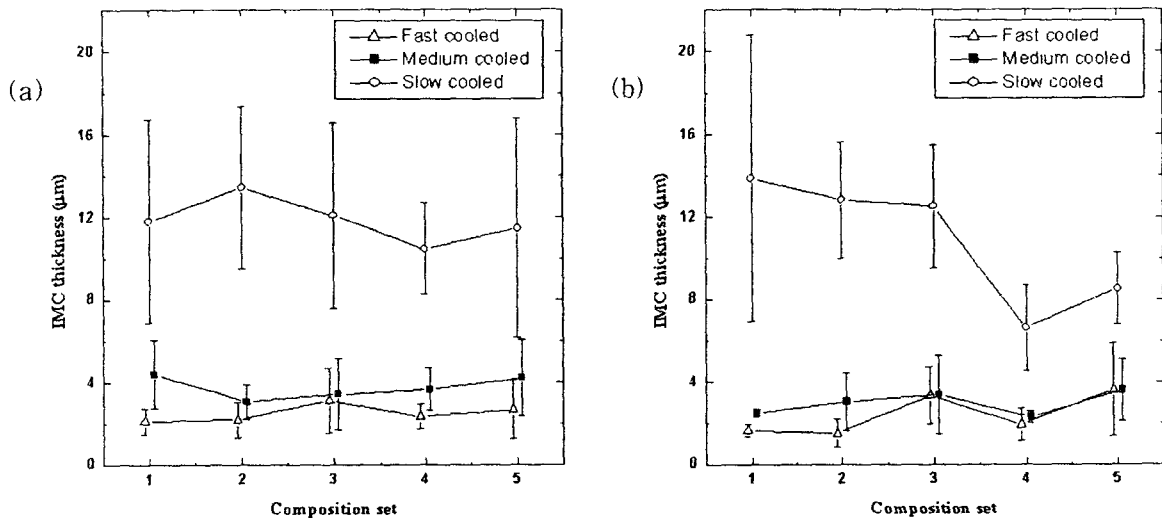


Fig. 2 Variation of interfacial IMC layer thickness; (a)Cu pad, (b)Au/Ni/Cu pad.

태로 제조되었다.

기판은 Cu pad와 Au/Ni 층이 Electroplating 된 Cu pad, 2가지 형태(직경 640 μ m)이며, Ni층은 3 μ m, Au층은 0.1 μ m의 두께로 제조되었다.

이와 같이 준비된 솔더볼은 RMA flux로 도포하여 Convective reflow furnace를 이용하여 리플로우 솔더링을 실시하였다. 최고온도는 265°C이며, 250°C이상의 온도에서 1분 동안 유지하였다. 먼저 첫 번째 기판에서 솔더링을 실시하고 이를 다시 뒤집어 두 번째 기판에 솔더링을 실시하였다. 따라서, 솔더링이 완료된 접합부의 위쪽 기판은 두 번 솔더링한 것과 같다.

솔더링 후의 냉각속도는 3가지로 구분하여 냉각하였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

였는데, 빠른 냉각의 경우 수냉으로 급속하게 냉각하

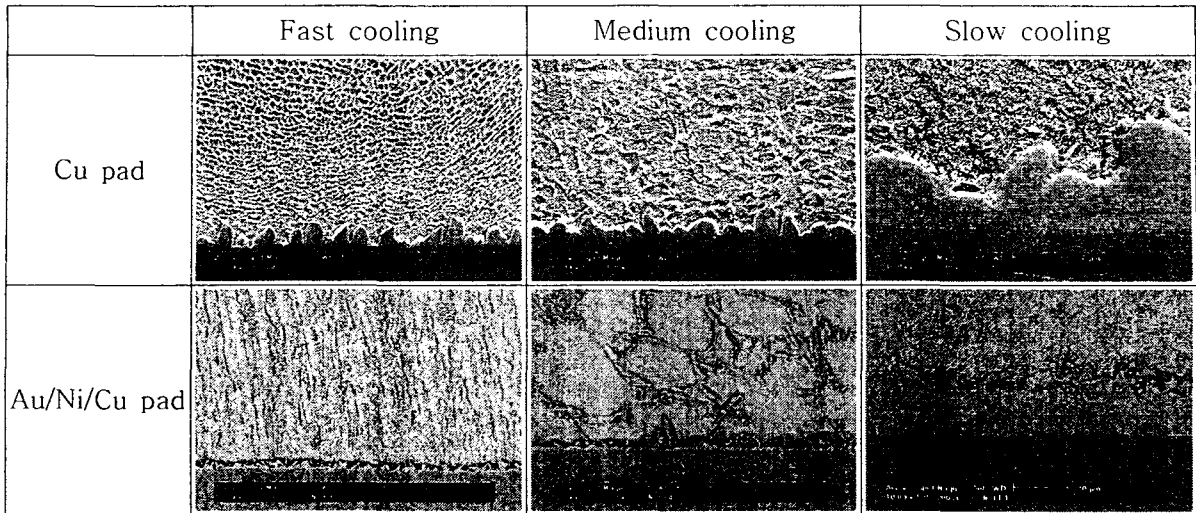


Fig. 3 SEM images of different cooling rates after soldering of composition set (2)

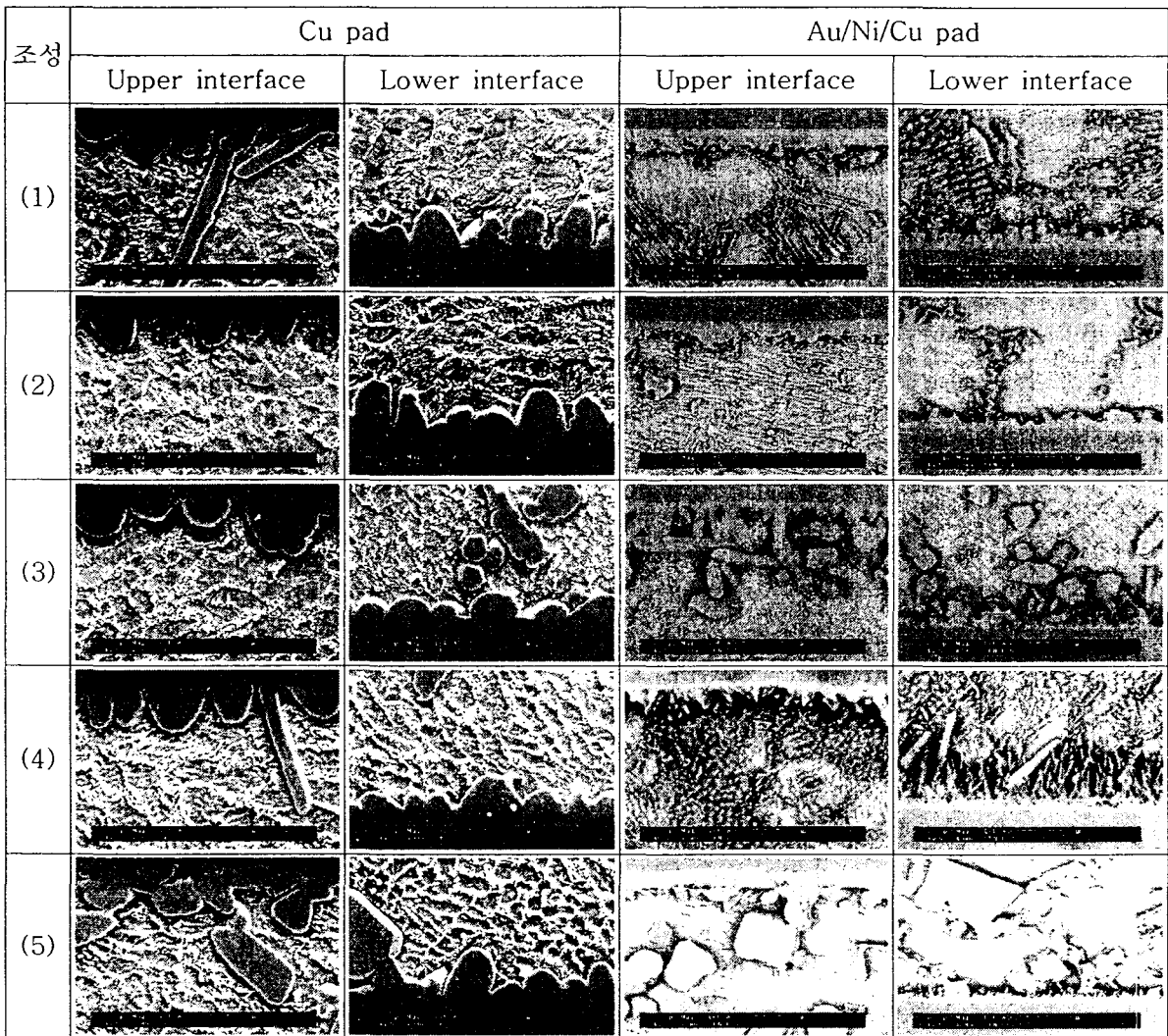


Fig. 4 Back scattered SEM images of interfacial IMCs which were medium-cooled after soldering

Fig. 3은 (2)번 합금조성에서 솔더링한 후 냉각속도를 다르게 한 경우의 계면 미세조직의 사진이다. Cu pad의 경우에는 냉각속도가 느려질수록 계면 IMC의 형상이 점점 조대화되는 것을 알

수 있다. 그러나, Au/Ni/Cu pad의 경우에는 Cu pad의 경우보다 조대화되는 경향은 약하지만 계면 IMC의 전체적인 두께의 성장이 크게 나타나고 있다.

(2) 솔더합금 조성의 영향

Fig. 2의 계면 IMC 층의 두께 결과에서 볼 수 있듯이 각 솔더합금 조성의 변화에 따라 계면 IMC 층의 두께도 영향을 받음을 알 수 있다. (4)번 조성인 Sn-Ag-Cu 3원계 공정조성에서 계면 IMC 층의 두께는 비교적 가장 낮게 나타났으며, (2)번 조성에서도 비교적 낮은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 Cu의 함량이 많은 (3)번 조성과 Ag의 함량이 많은 (5)번 조성에서는 비교적 두꺼운 값을 보여준다.

솔더링 후 보통으로 냉각한 경우에 각 합금조성에 따라 윗 계면과 아랫 계면의 미세구조 사진들을 Fig. 4에 나타내었다. 솔더링을 한번 거친 아랫 계면보다 솔더링 공정을 두 번 거친 윗 계면의 IMC의 두께가 크다는 것을 알 수 있다. 그리고, 전체적으로 Cu pad의 경우보다 Au/Ni/Cu pad의 경우에 계면 IMC 층의 두께가 낮음을 알 수 있다. 즉, Au/Ni/Cu pad의 경우 Ni층이 Sn과 Cu의 확산을 막고 계면 IMC층의 성장이 억제되었기 때문이다. 계면 IMC층은 Cu pad의 경우에는 Cu_6Sn_5 상으로 분석되며, Au/Ni/Cu pad의 경우에는 (1)번 조성은 Ni_3Sn_4 , 나머지 조성들은 $(Cu,Ni)_6Sn_5$ 상으로 분석되었다. 또한, Cu pad의 경우에 Ag_3Sn 상이 길게 성장하여 계면 IMC 층과 연결되는 경우를 관찰할 수 있으나, Au/Ni/Cu pad의 경우에는 길게 성장된 Ag_3Sn 상은 관찰되지 않았다.

Cu의 함량이 많이 포함된 (3)번 조성과 Ag의 함량이 많이 포함된 (5)번 조성의 경우에 계면 IMC층이 계면 근처의 솔더 내부에서 석출된 IMC 입자들과 결합하여 전체 IMC층의 두께를 더욱 증가시키고 있음을 알 수 있다. 이것은 특히 Au/Ni/Cu pad의 경우에 더욱 확연하게 관찰되는데, 그 이유는 계면 IMC의 조성과 솔더 내부의 IMC의 조성이 서로 약간의 차이를 가지기 때문으로 사료된다.

4. Summary

(1) 솔더링 후 냉각속도가 느려짐에 따라 계면 IMC의 두께가 점점 증가되고 있으며, 조대화된 형상을 관찰할 수 있다. 계면 IMC의 형성과 성장에 솔더링 후의 냉각속도의 변화가 주요한 영향을 미칠 수 있음을 예상할 수 있다.

(2) Au/Ni/Cu pad를 이용한 솔더 접합부에서 계면 IMC의 두께는 Cu pad의 경우 보다 더 작게 관찰되었으며, 냉각속도가 느려짐에 따라서, 계면 IMC가 조대화되는 경향은 크지 않고 전체 계면 IMC의 두께가 증가되었다.

(3) Sn-3.7Ag-0.9Cu 조성과 Sn-3.0Ag-0.7Cu 조성에서 계면 IMC의 두께가 가장 낮았으며, Sn-3.0Ag-1.5Cu 조성과 Sn-6.0Ag-0.5Cu 조성에서는 솔더내부의 IMC 입자들이 계면 IMC층과 결합하여 전체 IMC층의 두께가 더욱 증가하였다.

Acknowledgements

이 논문은 한국과학재단에서 지원하는 전자패키지 재료 연구 센터의 지원에 의해 이루어 졌음을 밝히며 이를 감사드립니다.

References

- [1] K.-W. Moon et al., J. Electron. Mater., vol. 29, p.1122 (2000).
- [2] D. W. Henderson et al., J. Mater. Res., vol. 17, p.2775 (2002).
- [3] W. K. Choi and H. M. Lee, J. Electron. Mater. vol. 29, p.1207 (2000).