

A:V Ratio 변화에 따른 Sn-37Pb, Sn-4.0Ag-0.5Cu Solder 접합부의 특성 연구 (A Study on Characteristics of Sn-37Pb and Sn-4.0Ag-0.5Cu Solder Joints as Various A:V Ratio)

한현주, 임석준, 문정탁, 이 진
엠케이전자 주식회사

Abstract

To investigate the relationships of solder joint characteristics with solder composition and A:V ratio (solder volume per pad area), Sn-37Pb and Sn-4.0Ag-0.5Cu solder balls with 330, 400, 450 and 457 μ m size were reflowed on same substrate.

Sn-37Pb and Sn-4.0Ag-0.5Cu was reflowed at 220 $^{\circ}$ C and 240 $^{\circ}$ C respectively by IR-type soldering machine. As a result of reflowed solder ball diameter(D) and height(H) measurement, D/H was decreased with solder ball size increment in range of 330~450 μ m. But, D/H was increased in the solder joint for 457 μ m size, it was caused possibly by decrement of solder ball height increment compared with solder volume increment. As a result of shear and pull test, joint strength with A:V ratio was high. Joint strength of Sn-4.0Ag-0.5Cu was higher than Sn-37Pb. However, Sn-37Pb had more stable solder joint of small standard deviation. A thick and clean scallop type Ni-Cu-Sn intermetallic compound layer was formed in high A:V ratio and Sn-4.0Ag-0.5Cu solder joint interface.

1. Introduction

패키지의 종류가 다양화됨에 따라 Ball Grid Array(BGA) 패키지에서는 그 종류 및 사용 목적에 따라 다양한 Size의 솔더볼을 사용하고 있다. 그 중에서 동일한 Pad Size의 Substrate가 몇 가지 Size의 솔더볼에 대해 공통적으로 사용되기도 한다. 이러한 경우, Pad의 면적(A)에 대한 솔더의 양(V) 즉, A:V Ratio가 달라지게 된다. Ekere 등이 2.0~3.6mm의 Pad Size에서 A:V Ratio의 증가에 따라 금속간 화합물의 성장 및 Dissolution이 빨라진다는 보고를 한 바 있으나, 실제 Assembly에서 사용되고 있는 미세 패키지에 대한 연구는 아직 보고되지 않았다.

한편, 현재 Assembly 공정에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 Sn-37Pb 합금은 Pb의 유해성으로 인해 그 사용이 규제됨에 따라, Pb-free 솔더로의 전환이 구체적으로 진행되고 있다. 그 중에서 Sn-4.0Ag-0.5Cu 조성은 가장 유력한 후보 합금 중 하나이다.

이에 따라, 본 연구에서는 Pad Size가 346.4 μ m인 Substrate 상에 330~457 μ m Size의 Sn-37Pb, Sn-4.0Ag-0.5Cu 솔더볼을 접합한 후, 접합 솔더볼 형상, 접합강도, 미세조직 관찰을 통해 솔더의 조성과 A:V Ratio 변화에 따른 접합부의 특성 변화를 살펴보고자 하였다.

2. Experiment

사용된 솔더볼은 Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu 조성이며, 330, 400, 450, 457 μ m size로 MK전자에서 제조되었다. 제조된 볼은 Cu/Ni/Au 도금층을 갖는 Substrate Pad위에 솔더링되었으며, 이때 사용된 Pad Size는 볼 Size에 관계없이 동일한 Size(346.4 μ m)였다. 솔더링은 IR 방식의 Reflow M/C을 사용하

여, Peak 온도를 Sn-37Pb는 220℃, Sn-4.0Ag-0.5Cu는 240℃로 각각 실시하였다. 표 1은 솔더볼 Size에 따른 각각의 A:V Ratio를 나타내었다.

Reflow 후 솔더볼의 Size(지름-D, 높이-H) 측정은 비접촉식 Auto-Size 측정기(NEXIV-VMR 3020, NIKON)를 이용하였다. 접합강도 측정을 위해 DAGE-4000을 이용하여 Shear Test와 Pull Test를 실시하였다. Shear Test는 Tip Height를 10 μ m, Test Speed를 200 μ m/sec로 하였으며, Pull Test는 50 μ m/sec의 속도로 하였다. Reflow된 솔더볼은 95% Ethanol-2%염산-3%질산 용액으로 Etching 후, SEM과 EDX를 이용하여 접합부 조직 관찰과 성분분석을 하였다.

Table 1. A:V ratio with solder ball size

Solder Ball Size	330 μ m	400 μ m	450 μ m	457 μ m
A:V Ratio	200	356	506	530

3. Results and Discussion

3-1. 접합 솔더볼 형상

솔더볼 Size의 변화에 따른 Reflow 후 D/H 값의 변화를 Fig.1에 나타내었다. D/H값이 클수록 솔더볼의 형상이 타원에 가까워지는 것을 의미한다. 실험결과, 330~450 μ m까지는 솔더볼 크기가 커질수록 D/H값이 감소하여 솔더볼이 타원에서 구형에 가까운 형상으로 변화하였으나, 457 μ m에서는 D/H가 증가하였다. 이러한 경향은 Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu 모두에서 동일하게 나타났다. 이것은 동일한 Pad 상에서 솔더의 양이 증가함에 따라 생성된 솔더볼의 높이도 함께 증가하여 구형에 가까워지다가, 솔더의 양이 일정 수준 이상이 되면 솔더양의 증가분에 비해 높이의 증가분이 적어져서 생성된 솔더볼의 구형도가 오히려 감소하는 현상을 보이는 것으로 생각된다. 이러한 현상은, 광학현미경을 통한 Visual 관찰에서 솔더볼과 Substrate가 이루는 각도(θ)가 330~450 μ m까지는 솔더볼의 크기가 커짐에 따라 감소하지만, 457 μ m Size에서는 다시 증가하는 것에서도 다시 한번 확인할 수 있었다(Fig.2). 이 원인은 450 μ m까지는 형상 유지를 위한 표면에너지 값이 솔더량에 대한 중력보다 우세하고, 457 μ m의 경우는 중력이 우세하기 때문으로 사료된다.

Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu의 두 조성 사이의 D/H값을 비교해보면, 330, 400 μ m Size에서는 Sn-37Pb가 더 작은 값을 보였다. 하지만, 450, 457 μ m Size에서는 Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu 두 조성에 대한 D/H값에 있어 큰 차이를 보이지는 않으나, 미소한 차이로 Sn-4.0Ag-0.5Cu가 더 작은 D/H값을 보이고 있다. 그러나, 이러한 현상은 실제 솔더볼 제조 시 표면장력이 큰 Sn-4.0Ag-0.5Cu가 Sn-37Pb 보다 더 양호한 구형도를 보이는 것과 비교하면 매우 상이한 결과이다. 솔더볼의 형상에 영향을 주는 인자로서는 표면장력 뿐 아니라, Reflow 조건, 온도에 따른 솔더의 밀도 변화 등을 생각할 수 있다. 따라서, 이와 같은 현상에 대한 원인 분석은 추가 실험을 통해 밝히고자 한다.

3-2. 접합강도

Fig.3은 Bondability 측정을 위한 Shear와 Pull Test 결과이다. 솔더볼 Size가 증가함에 따라 같은 Size의 Pad임에도 불구하고, Shear 값이 증가하는 경향을 보였다. 또한 Sn-37Pb 보다는 Sn-4.0Ag-0.5Cu가 더 높은 접합력을 보였다. 그러나, Standard deviation은 Sn-37Pb가 작아 더 안정적인 접합 상태임을 알 수 있다. Pull Test 결과도 같은 경향을 보인다. 이는 Sn-4.0Ag-0.5Cu가 Sn-37Pb에 비해 더 큰 강도값을 갖는 솔더 자체에 대한 특성으로 기인한다.

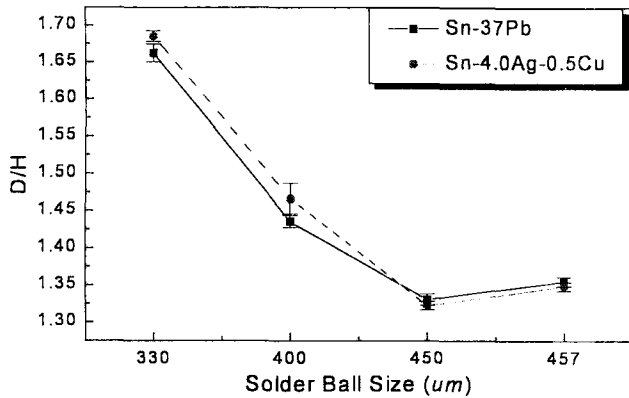


Fig.1 D/H value with solder ball diameter for Sn-37Pb and Sn-4.0Ag-0.5Cu after reflow.

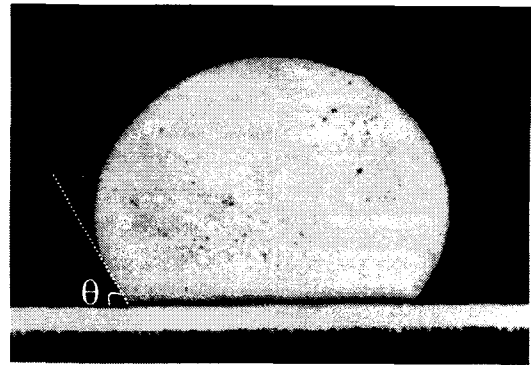


Fig.2 The shape of Sn-37Pb solder ball with 400um size after reflow.

일반적으로 솔더 접합부의 Shear와 Pull Test 후 Failure Mode는 솔더볼 내부에서 파단이 발생하는 'Ball Failure', 솔더와 Pad의 계면에서 파단이 발생하는 'Bond Failure', Pad 자체가 뜯겨져 나가는 'Pad Failure'로 나뉘어진다. 본 실험에서의 Shear Test 후 Failure Mode는 두 조성 모두 100% Ball Failure가 발생하였다. 그러나 Pull Test에서는 Sn-37Pb는 98% 이상이 Ball Failure가 발생한 반면, Sn-4.0Ag-0.5Cu는 Ball Failure 뿐만 아니라 Pad Failure, Bond Failure가 함께 발생하였다. 특히, 솔더볼 Size가 증가함에 따라 Ball Failure 발생률은 감소하고 Pad Failure 발생률은 증가하여, 450um Size에서는 약 90%의 Pad Failure가 발생하였다. 이는 Ball Size가 커짐에 따라 볼과 Pad와의 접합력이 Pad와 Substrate와의 접착력 보다 크기 때문이다.

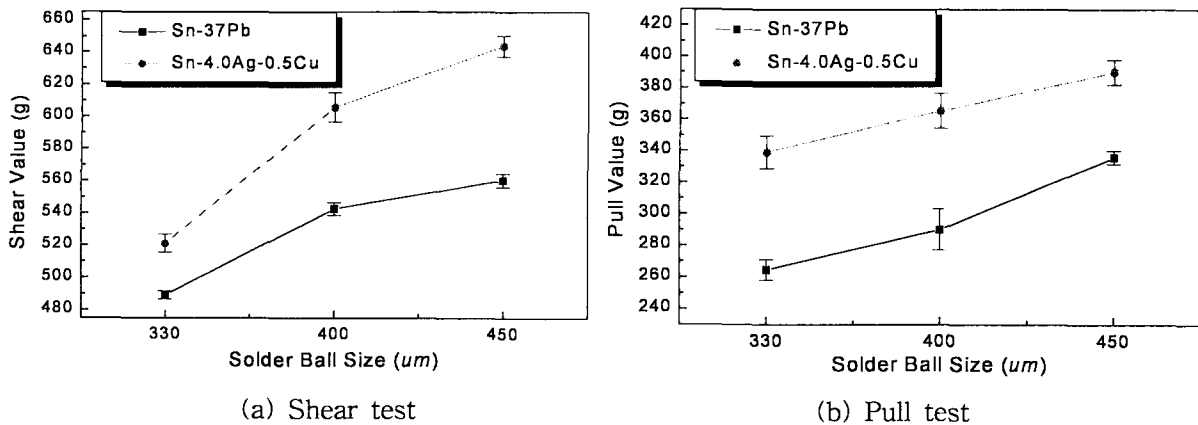


Fig.3 Shear and pull value with solder ball size for Sn-37Pb and Sn-4.0Ag-0.5Cu.

3-3. 접합부 미세조직

Fig.4, 5는 Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu의 Reflow 후 접합부의 단면을 보여준다. Fig.4의 솔더 내부 조직을 보면, Sn-37Pb는 Pb-rich상과 Sn-rich상으로 이루어진 Eutectic 구조이며, Sn-4.0Ag-0.5Cu는 초정역의 β -Sn상과 $Ag_3Sn + \beta$ -Sn 영역으로 조직이 이루어져 있다.

솔더와 Pad의 접합계면에서는 Sn-4.0Ag-0.5Cu가 Sn-37Pb에 비해 더 두꺼운 금속간 화합물층이 형성하였다(Fig.5). 또한, 동일 길이에 생성된 Scallop 수에서 Sn-37Pb가 Sn-4.0Ag-0.5Cu 보다 많아 Scallop의 크기가 작고 그 형상도 뚜렷하지 못하다. 이에 비해, Sn-4.0Ag-0.5Cu는 크고 뚜렷한 Scallop type의 금속간 화합물을 형성하는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 Sn-4.0Ag-0.5Cu가

Sn-37Pb와 비교해 상대적으로 Sn 함량이 높아 Pad부의 Ni 성분에 대한 고용도가 높기 때문에 발생하는 현상이다.

이와 유사하게 솔더볼 Size 증가에 따라 Sn-4.0Ag-0.5Cu의 접합계면에서 금속간 화합물의 두께가 성장하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 볼 Size 증가로 인해 전체 Sn 함량이 많아지기 때문으로 사료된다. 그러나, Sn-37Pb에서의 금속간 화합물 성장은 구분하기 힘들었다.

EDX 분석 결과, 접합계면에 형성된 금속간 화합물은 Ni-Cu-Sn계임을 알 수 있었다.

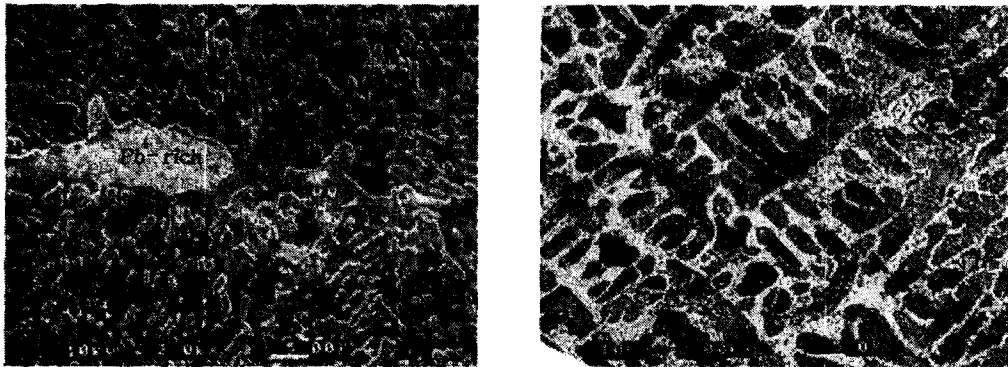


Fig.4 The microstructure of Sn-37Pb(left) and Sn-4.0Ag-0.5Cu(right).

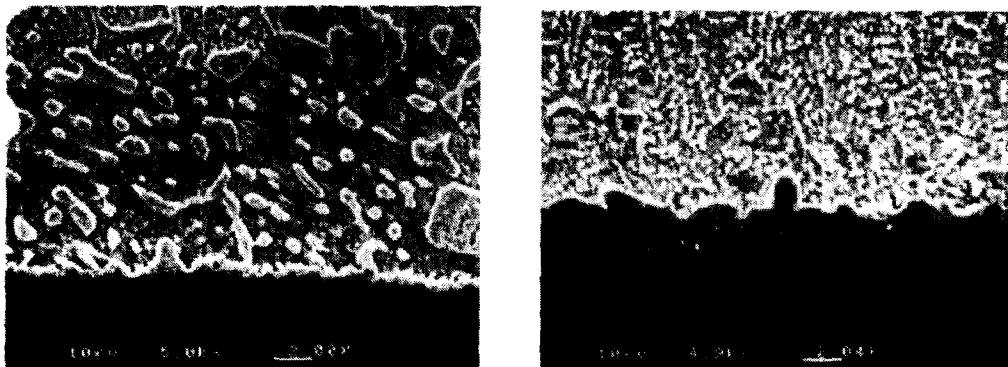


Fig.5 The intermetallic compound layer of Sn-37Pb(left) and Sn-4.0Ag-0.5Cu(right) with 450µm size.

4. Conclusion

330, 400, 450, 457µm의 Sn-37Pb와 Sn-4.0Ag-0.5Cu 조성의 솔더볼을 동일한 Substrate 상에 접합하여, 솔더의 조성과 A:V Ratio 변화에 따른 접합부의 특성 변화를 관찰하였다.

1) 접합부 형상 관찰에서, 330~450µm 범위에서는 솔더볼의 크기가 커질수록 D/H값이 감소하여 솔더볼의 형상이 구형에 가까워지다가, 457µm에서는 D/H가 증가하는 변화를 보였다.

2) Shear 값, Pull 값 모두 솔더볼이 커짐에 따라 증가하였고, Sn-4.0Ag-0.5Cu가 Sn-37Pb 보다 더 높은 접합강도를 보였다. Pull Test에서 Sn-4.0Ag-0.5Cu는 솔더볼 Size 증가에 따라 Pad Failure의 발생률이 증가하였다.

3) Sn-4.0Ag-0.5Cu의 접합계면에 형성된 금속간 화합물층이 Sn-37Pb에 비해 더 두껍고 Scallop의 형상이 뚜렷하였다. 또한, Scallop의 두께는 솔더볼이 클수록 커졌다.

References

- [1] N. N. Ekere, B. Salam , R. Durairaj, and R. Horsley, The 1st International Symposium On Micro-joining, Seoul, Korea, p.57~63 (2001).
- [2] 신규식, 김문일, 정재필, 신영의, Kozo Fujimoto, "Sn-3.5Ag-0.7Cu Micro-BGA의 Soldering성 연구", 마이크로전자 및 패키징 학회지, Vol.7, No.3, p.55~61 (2000).
- [3] Iver E. Anderson, Kenneth Kirkland and Wayne Willenburg, "Implementing Pb-free Soldering", Guid to Lead-free Soldering, SMT, p.6~9 (June 2001).