

솔더 층의 증착 순서에 따른 저 융점 극 미세 솔더 범프의 볼 형성에 관한 연구

진정기 · 강운병 · 김영호
한양대학교 재료공학부

Formation of Low Temperature and Ultra-Small Solder Bumps with Different Sequences of Solder Layer Deposition

Jeong-Gi Jin, Un Byoung Kang and Young-Ho Kim
Division of Materials Engineering, Hanyang University

초 록: UBM층과의 젖음 특성 및 표면 산화정도가 미세 피치를 갖는 저 융점 솔더 범프의 볼 형성에 미치는 영향을 연구하였다. Au/Cu/Cr 과 Au/Ni/Ti UBM 위에 공정 조성에 가까운 In-Ag와 공정 조성의 Bi-Sn 솔더를 솔더 층의 증착 순서를 달리하여 증발 증착한 후 lift-off 공정과 열처리 공정을 사용하여 솔더 범프를 형성하였다. In-Ag 솔더의 경우 In이 UBM 층과 접한 범프가, 또한 Bi-Sn 솔더의 경우 Sn을 먼저 UBM 층위에 먼저 증착시켜 리플로 한 범프가 솔더 볼 형성 경향이 다른 범프에 비해 높았다. 구형의 솔더 범프 형성 정도는 UBM 층과의 젖음 특성에 따라 크게 달라졌다.

Abstract: The effects of wettability and surface oxidation on the low temperature and ultra-fine solder bump formation have been studied. Difference sequences of near eutectic In-Ag and eutectic Bi-Sn solders were evaporated on Au/Cu/Cr or Au/Ni/Ti Under Bump Metallurgy (UBM) pads. Solder bumps were formed using lift-off method and were reflowed in Rapid Thermal Annealing (RTA) system. The solder bumps in which In was in contact with UBM in In-Ag solder and the solder bumps in which Sn was in contact with UBM in Bi-Sn solder showed better bump formability during reflow than other solder bumps. The ability to form spherical solder bumps was affected mainly by the wettability of solders to UBM pads.

1. 서 론

반도체 칩이 고속화, 고집적화, 소형화됨에 따라 시스템 성능의 향상을 위해 칩을 기판에 연결하는 방법의 기술 향상이 요구되고 있는데, 이러한 첨단 칩 연결 기술로 플립 칩을 이용하는 기술이 점점 많이 사용되기 시작하였다.

플립 칩 기술은 솔더 범프를 이용하여 칩의 패드와 기판을 서로 마주보는 상태로 접속하는 방법으로, 칩의 패키징 밀도가 높고, 짧은 상호배선 연결로 인하여 전기적 특성이 우수하고, 칩과 기판의 접합시 역상 솔더의 표면 에너지에 의해 자기 정렬 될 수 있어 극 미세 피치 실장이 가능하다는 장점 외에도, 솔더 접합부의 신뢰도가 높다고 알려져 있다.¹⁾ 이러한 장점을 갖는 플립 칩 기술적

용을 위한 솔더 범프 제조 방법에는 프린팅, 증발증착, 도금 등이 방법이 있는데, 극 미세 피치에 응용될 솔더 범프를 제조하는 방법으로는 두꺼운 PR(photoresist)을 마스크로 사용하고 증발 증착 방법으로 솔더를 증착시킨 후 Lift-off 방법을 사용하여 솔더 범프를 형성하는 방법이 사용되고 있다.²⁾ 솔더 범프 형성 후에 솔더의 융점(또는 액상점)이상의 온도에서 열 처리(리플로)하여 구형의 솔더 범프를 형성하는데,^{1,4)} 리플로시 평탄하게 증착된 솔더는 표면장력에 의하여 솔더 볼을 형성하게 된다. 솔더 볼을 형성할 때 솔더 범프의 증착 두께, 조성, 증착된 형상, 금속 패드와의 젖음성, 가열방법, 가열속도, 플럭스 사용 여부, 사용 분위기 등의 공정조건에 따라서 솔더 볼의 크기, 형태 등이 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있다.^{5,6)} 그렇지만 리플로시 가열속도, 사용 분

위기⁷⁾ 등 일부 공정을 제외하고는 공정 조건이 솔더 볼 형성에 미치는 영향에 관한 구체적인 실험 결과와 연구는 거의 없다. 이에 본 연구는 같은 두께, 같은 조성의 솔더 범프의 경우라도 표면 층의 조성 및 솔더 볼과 접하고 있는 계면 층에 따라 달리 나타나는 영향을 알아보고자, 저 용점 솔더 재료인 In-Ag 와 Bi-Sn 솔더 재료를 증착 순서를 달리 하여 증착한 후 리플로를 실시하여 나타나는 솔더 볼 형상 변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 전체적인 실험방법은 Fig. 1과 같다.

실리콘웨이퍼 표면을 유기 용제인 TCE, 아세톤, 메탄올을 사용하여 표면 세척을 실시한 후, 직류 마그네트론 스퍼터링 장비를 이용하여 Cr(50 nm), Cu(1,000 nm),

Au(100 nm)박막과 Ti(50 nm), Ni(500 nm), Au(100 nm)의 박막을 순서대로 실리콘 웨이퍼 위에 연속적으로 증착 하였다. 증착된 다층 박막은 노광 공정과 습식 에칭공정 거쳐 팔각 모양의 Under Bump Metallurgy(UBM) 패드를 형성하였다. 형성된 팔각의 UBM 층위에 Thick PR 을 사용하여 솔더 마스크를 형성하였고, 솔더 재료를 저항 가열식 증발 증착기를 사용하여 증발 증착한 후 Lift-off 공정을 거쳐 솔더 패턴을 형성하였다. In-Ag 솔더의 경우 UBM 층으로 Au/Cu/Cr을, Bi-Sn 솔더의 경우 UBM 층으로 Au/Ni/Ti을 각각 사용하였다. 그 후 리플로 공정에서는 Alpha metal사의 수용성 타입의 Ws-609 플럭스를 사용하여 시편 표면에 도포하고, RTA기기와 관상로(tube-type furnace)에서 질소 분위기를 사용하여 리플로를 실시하였다. 리플로 온도는 공정 조성을 갖는 In-Ag 합금의 용점(141°C)보다 약간 낮은 140°C에서 90 초

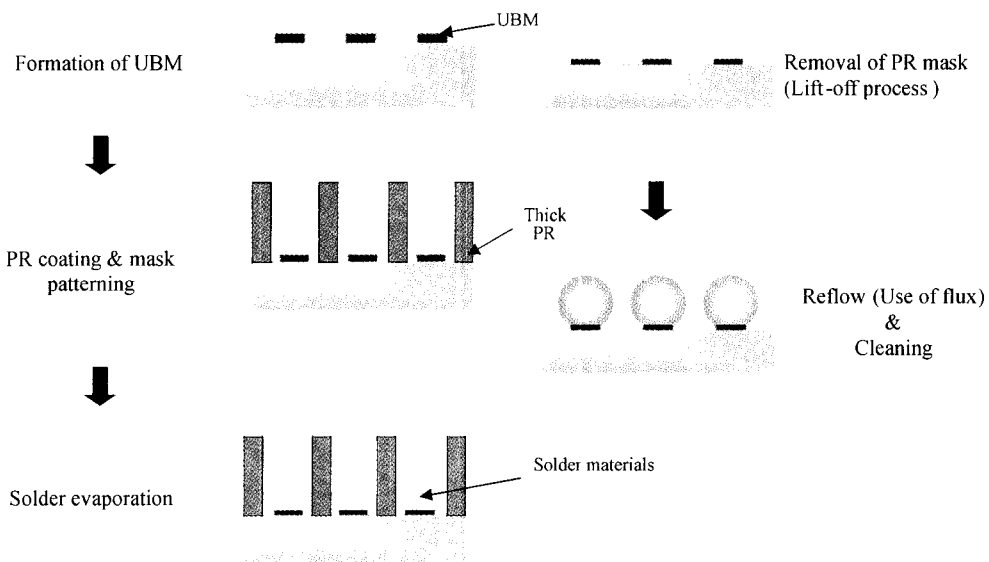


Fig. 1. The schematic diagram of solder bump formation process by using lift-off process.

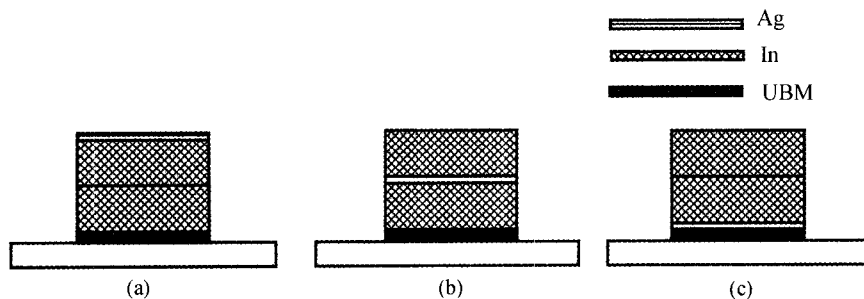


Fig. 2. Schematic diagrams of solder bumps formed with different sequenc of solder layer deposition. (a) Ag/In, (b) In/Ag/In, and (c) In/Ag solder bumps.

간 선 열처리 후에 150°C에서 리플로를 실시하였고, 리플로 후에 솔더 볼을 형성하였다.

형성된 솔더 볼 형태들 중에서 리플로 전의 직육면체와 같이 어느 한 면이라도 직선 형태를 갖는 경우의 솔더 볼 형상은 구형의 솔더 볼 형태에서 제외하는 방법으로 솔더 볼 형성 정도를 정량화 하였다. 또한 리플로 과정 중 솔더 볼 형성에 영향을 주는 인자들의(산화막 두께, UBM 층과의 젖음성, 확산 속도, 솔더 볼의 크기 및 밀도) 영향을 알아보기 위하여 다음과 같이 증착 순서를 달리 하여 솔더 범프를 증발 증착 하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 본 실험에서 사용한 시편의 모식도를 나타낸 것이다. Fig. 2의 (a)는 인듐을 먼저 증착하고 은을 나중에 증발 증착한 시편을 나타내고 있다. Fig. 2의 (b)는 인듐의 일부를 먼저 증착한 후 중간에 은을 증발 증착 시키고 다시 인듐을 증발 증착 시켜서 샌드위치 형태로 증착 되어진 시편을 나타내고 있고, Fig. 2의 (c)는 은을 먼저 증발 증착시킨 후 인듐을 증발 증착 시킨 시편의 모식도를 나타내고 있다. 이들 각 시편의 조성을 EDS로 분석한 결과, 공정 조성보다는 약간 많은 양의 Ag(약 5.6 wt%)을 함유하고 있어, 용점은 공정 온도보다 높으리라 예상된다.

Fig. 3은 Au/Ni/Ti UBM 층위에 Bi-Sn을 증착 순서를 달리하여 여러 층 증착시킨 시편의 모식도를 나타내고 있다. Fig. 3의 (a)는 Au/Ni/Ti UBM 층위로 Bi-Sn 솔더 재료를 한 보트 안에 넣고 증발시킨 후에 모습을 나타낸 것이다. 이 경우에는 Bi와 Sn의 평형 증기압 차에 의해 Bi가 먼저 증발 증착되어 UBM 층과 Bi가 접하는 형상을 보이고 있다. 그리고 젖음 특성에 따른 불 형성 유무를 살펴보기 위하여, 젖음 층을 달리 형성하는 방법으로 Sn을 먼저 증착 한 후에 Bi-Sn 솔더 재료를 층층이 증발 증착 하여 UBM 층과 Sn이 접하도록 시편을 제작하였고 그 형상은 Fig. 3의 (b)와 같다. 이렇게 증착된 각각이 솔더 범프들은 Bi-Sn 합금의 용점(138°C)보다 높은 160°C, 질소 분위기 안에서 열처리 과정을 거친 후 솔더 볼을 형성하였다.

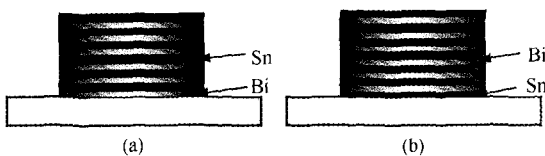


Fig. 3. Schematic diagrams of solder bumps formed with different sequence of solder layers deposition. (a) Bi-Sn solder bump with Bi bottom layer. (b) Bi-Sn solder bump with Sn bottom layer.

3. 결 과

Fig. 4는 증착 순서에 따라 달리 증착된 솔더 범프를 150°C에서 3분간 리플로 한 후 형성된 40 μm 크기의 솔더 볼을 주사 전자현미경으로 관찰한 모습이다. 이 주사 전자현미경 사진의 결과로 볼 때 Ag가 표면에 있으면서 In이 UBM과 접해있는 (a)가 (b)와 (c)에 비해 부분적 녹음이 발생하여 구 형태로 바뀌어 가는 솔더 볼의 개수가 많

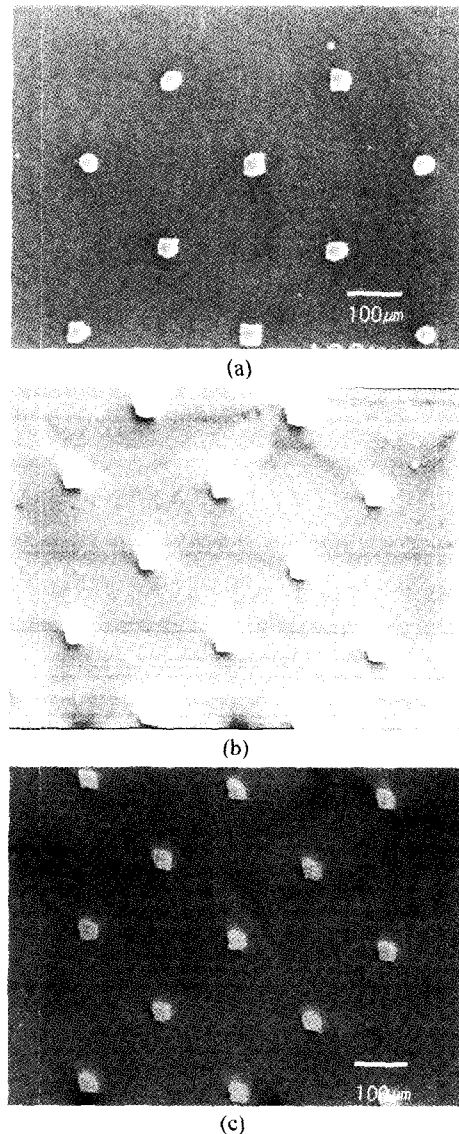


Fig. 4. The SEM images of solder bumps reflowed at 150°C. (a) Ag/In solder bumps. (b) In/Ag solder bumps. (c) In/Ag/In solder bumps.

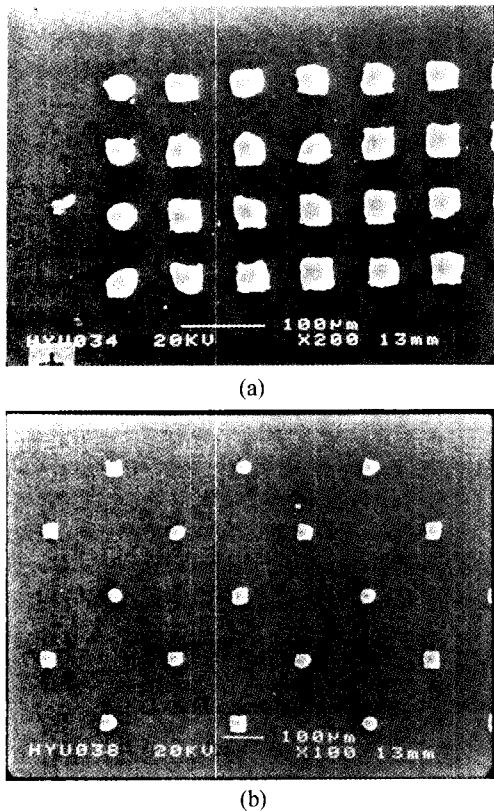


Fig. 5. The SEM images of solder bumps reflowed at 150°C. (a) Ag/In solder bumps with 80 μm pitch. (b) Ag/In solder bumps with 300 μm pitch.

음을 알 수 있고, (c)인 경우가 (b)인 경우에 비해 부분적으로 녹아있는 범프가 더 많은 것을 알 수 있다. Fig. 5는 이러한 솔더 범프들의 볼 형성 정도를 증착 순서와 솔더 범프의 밀도에 따라서 관찰한 모습을 나타내고 있다.

상대적으로 솔더 범프의 피치 크기가 300 μm 이상으로 밀도가 낮은 경우는 피치 크기가 100 μm 이하로 솔더 범프의 밀도가 높은 경우에 비해 솔더 볼 형성 경향이 높게 나타나고 있다. Fig. 6은 두 결과에서 얻은 솔더 볼 형성 정도를 정량화한 결과를 나타내고 있다. 솔더 볼의 밀도가 낮을수록 볼 형성이 더 잘 되며, 솔더 볼의 밀도에 관계없이 증착 순서가 Ag/In인 경우가 볼 형성 경향이 가장 높고, In/Ag/In, In/Ag 순으로 나타나고 있다. Fig. 7은 증착 순서와 솔더 볼 크기에 따른 솔더 볼 형성 유무를 정량화한 결과를 나타내고 있다. 솔더 볼의 크기가 작을수록 솔더 볼 형성 경향이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 같은 솔더 볼 크기에서 비교할 때 Fig. 6과 마찬가지로 볼 형성 경향이 Ag/In가 가장 높고 In/Ag/In, In/Ag의 순서로 낮아짐을 알 수 있다. 솔더 볼 밀도나 솔더

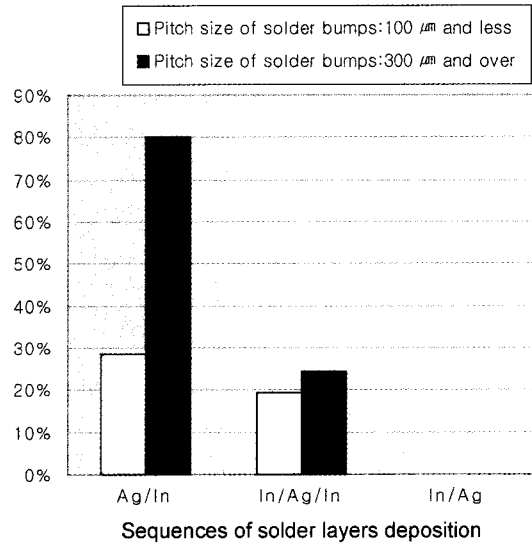


Fig. 6. Solder bump formation with different solder ball density.

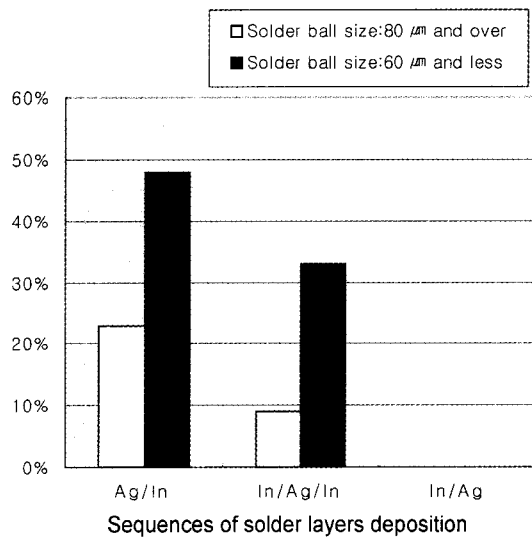


Fig. 7. Solder bump formation with different solder ball size.

볼 크기에 따라서도 볼 형성이 영향을 받는 이유는, 솔더 볼이 녹을 때 잠열이 필요하므로 솔더 볼 밀도가 크거나, 솔더 볼 크기가 클수록 잠열을 더 많이 필요로 하기 때문이다. 따라서 이런 경우 리플로 온도가 더 높아야 되거나 더 많은 시간을 유지해야 할 것이다.

Fig. 8은 Fig. 4와 마찬가지로 크기와 조성이 같은 솔더 범프를 단지 시간만 4분으로 증가시켜 리플로를 실시하였을 때 생성된 솔더 범프의 전자 현미경 이미지를 나타내고 있다. 피치 크기에 상관없이 모두 구형의 볼이 형

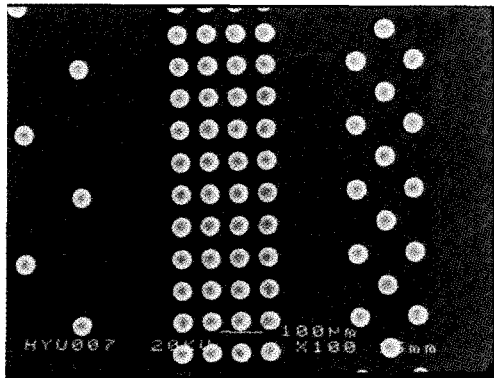


Fig. 8. The SEM images of In-Ag solder bumps with difference pitch size. Solder bumps were reflowed at 150°C for 4 minutes.

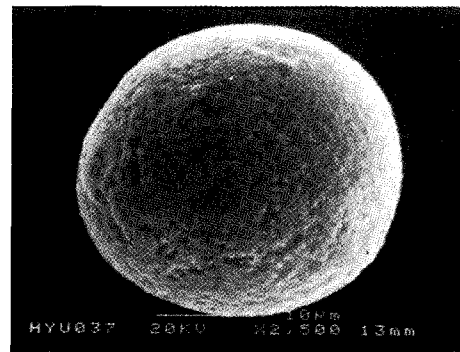
성되었음을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8과 같이 150°C에서 4분 동안 리플로시 생성된 솔더 볼들의 증착 순서에 따른 주사 전자현미경 이미지를 나타내고 있다. 이 경우에 리플로 공정 후 형성된 솔더 볼들이 모두 구형의 형태로 형성되어 있음을 관찰할 수 있다. 그중 Ag/In의 경우는 표면이 비교적 매끄럽지만 나머지 시편에서는 솔더 볼의 표면 이미지 중에 균데균데 껍질 모양으로 덮여 있는 부분을 관찰할 수 있는데, 이 부분은 다른 부분보다 은이 더 많이 포함되어 있는 부분으로 EDS 관찰을 통해 확인하였다. 이러한 결과는 리플로 시간이 길어지면 In과 Ag의 증착 순서에 관계없이 모두 구형의 솔더 볼을 형성할 수 있지만, 불 형성 정도는 In이 UBM과 접해있는 Ag/In이 가장 좋다는 것을 말해준다.

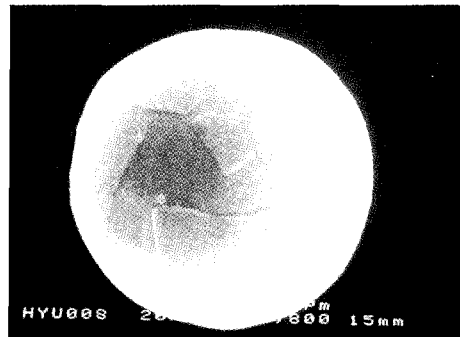
Fig. 10은 Fig. 3과 같은 구조를 갖는 Bi-Sn 솔더 시편을 제작하여 160°C에서 9분간 열처리 한 후 형성된 솔더 볼의 형상을 주사 전자현미경을 통하여 관찰한 사진이다. 두 경우 모두 리플로 할 때 국부적으로 녹았으나 Bi가 Au/Ni/Ti 금속 패드와 접해있는 Fig. 10의 (a)보다 Sn이 금속 패드와 접해 있는 그림(b)가 솔더 볼 표면이 더 매끈하고 구형에 가까운 형태로 볼이 형성되어 있음을 알 수 있다. 이것은 솔더 볼 형성이 (a)에 비해 (b)가 더 유리함을 보여주고 있다. 그렇지만 Bi가 Au/Ni/Ti 금속 패드와 접해 있는 경우에도 Sn이 Au/Ni/Ti 금속 패드와 접해 있는 경우와 같이 리플로 온도를 160°C에서 9분 이상 열처리를 하였을 경우에는 95% 이상의 완전한 구형의 솔더 범프를 형성할 수 있었다.

4. 고 찰

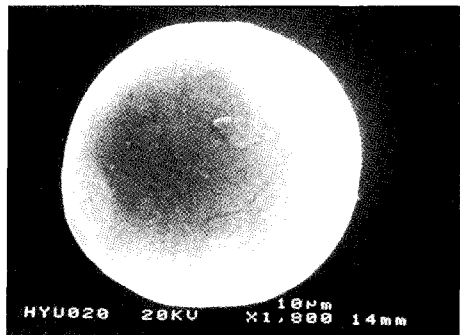
솔더 볼 형성 시에 솔더 범프의 증착 두께, 조성, 증착



(a)



(b)



(c)

Fig. 9. The SEM images of In-Ag solder bumps reflowed at 150°C for 4 minutes. (a) Ag/In solder bumps. (b) In/Ag solder bumps. (c) In/Ag/In solder bumps.

된 형상, 베이스 메탈과의 젖음성, 가열방법, 가열속도, 플럭스 사용 여부, 사용 분위기 등의 공정조건에 따라서 솔더 볼의 크기, 형태 등이 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있다^{5,7)}.

본 실험과 같이 같은 증착 두께 및 같은 공정 조건 아래에서 이루어진 Ag/In, In/Ag, In/Ag/In 와 Bi-Sn 솔더의 경우에도 불 형성 경향이 현저히 다르게 나타났다.

Ag/In 솔더와 In/Ag/In 솔더의 경우에는 은의 산화 경

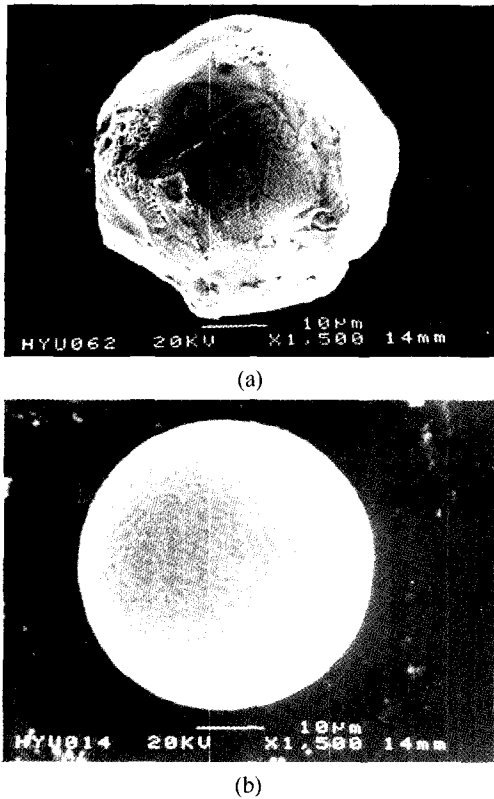


Fig. 10. (a) SEM image of a reflowed Bi-Sn solder bump in which Bi was in contact with Au/Ni/Ti UBM before reflow. (b) SEM image of a reflowed Bi-Sn solder bump in which Sn was in contact with Au/Ni/Ti UBM before reflow.

향성이 인듐에 비해 덜 하기 때문에 Fig. 4의 (a)와 같이 표면에 은의 조성이 많은 경우가 Fig. 4의 (b)와 같이 표면에 인듐 조성이 많이 존재하는 경우에 비해 생성된 산화 막의 두께가 훨씬 얇아서 Ag/In의 경우가 훨씬 불 형성 잘 될 것이라고 예상할 수 있다. 그렇지만 이러한 초기 산화 막의 두께가 같을지라도 리플로 열처리 중 솔더 표면에 형성되는 산화물의 두께는 리플로 방법과 분위기에 따라 달라질 수 있다. 따라서 리플로 과정 중에 생성되는 산화 막의 두께는 표면에 존재하는 막의 종류에 따라 달라지게 되며 불 형성에 일부 영향을 주고 있는 것으로 생각할 수 있다. 이런 비슷한 예로 200°C 이상의 리플로 온도를 필요로 하는 Pb-Sn계 솔더 재료의 경우가 열 속도나, 리플로 분위기, 플럭스 사용 여부에 따라 솔더 표면에 존재하는 산화 막의 두께는 달라진다고 보고되고 있으며, 이러한 산화 막의 두께 차이는 리플로시 솔더의 흐름을 방해하여 솔더 불 형성에 영향을 주고 있

다고 설명하고 있다.⁵⁾ 그러나 Bi-Sn 솔더의 경우에는 Bi와 Sn을 여러 층 번갈아 가면서 증착 하였으므로 두 시편 모두 조성의 불 균일 정도가 비슷할 것이고, 또한 표면 층은 모두 Sn 이므로 표면 산화 층의 영향도 시편에 따라 차이가 나지 않을 것이다. 그럼에도 솔더 범프의 불 형성 정도가 크게 차이가 나는 것은 다른 인자에 따른 영향이 지배적일 것으로 생각할 수 있다.

그리고 In/Ag (Fig. 2-(b))와 In/Ag/In의 시편의 경우에는 확산 거리가 짧아서 상대적으로 확산이 빠르게 일어난 In/Ag/In의 경우가 훨씬 솔더 불 형성 경향이 높을 것이라고 생각할 수 있다. 그렇지만 실제 문헌상에 보고되고 있는 확산 계수를 이용하여 이론적으로 확산 속도를 계산해 보면 다음과 같다.

문헌상에 보고되고 있는 인듐 속으로의 은의 확산 계수는 온도 범위가 298 K에서 423 K일 때 다음과 같이 주어진다.⁸⁾

$$D=0.11 \times \exp[(-48.1 \times 10^3 / (8.31 \times T))] \quad (1)$$

위 식으로부터 상온에서 하루 동안 확산한 거리를 계산해 보면 대략 59 μm 정도 확산이 이루어지고 150°C에서 3분 동안의 리플로 시간 중 확산한 거리는 대략 48 μm 정도로 예상할 수 있다. 이것은 13 μm 높이를 갖는 솔더인 경우 상온에서의 확산만으로도 충분한 확산이 일어날 수 있음을 보여준다. 따라서 솔더 범프 내의 솔더 조성이 균일하면 불 형성이 더 잘 되겠지만 확산 속도가 빠르기 때문에 증착 순서가 솔더 범프 내의 조성의 균일성에 크게 영향을 주지 않을 것으로 예상할 수 있다. 그렇지만 실제 실험을 통해 얻은 결과는 In/Ag/In인 경우가 In/Ag인 경우보다는 높고 Ag/In인 경우보다는 낮은 불 형성 경향을 나타내었다. 이러한 불 형성의 차이를 갖는 것은 동일한 열처리 시간과 리플로 조건에서 행해진 실험 과정을 고려할 때 Bi-Sn 솔더의 경우와 마찬가지로 다른 인자의 영향을 고려해야 함을 알 수 있다.

이런 인자들로는 In/Ag/In, In/Ag 그리고 Bi-Sn 솔더의 경우 UBM층과의 계면 반응을 고려할 수 있을 것이다. 리플로 할 때 Au는 솔더 내로 쉽게 녹아들므로 UBM 표면에 존재하고 있는 산화 방지용의 얇은 Au는 리플로 시작과 동시에 솔더로 녹아 들것이다.⁹⁾ 그러므로 솔더와 UBM 층의 Cu 및 Ni과의 젖음 특성이 솔더 불 형성에 관여했을 것이라 생각할 수 있다. Ag 솔더 재료의 경우 Sn-Cu-Ag 합금 솔더에서 Ag가 첨가됨에 따라서 젖음 특성이 나빠지고,^{8,10)} In 솔더 재료인 경우에는 Ni 기판보다는 Cu 기판에서의 젖음 특성이 좋다는 것은 이미 실험적으로 관찰된바있다.¹¹⁾ 그리고 Sn 솔더 재료인 경우, Bi-42Sn과 Sn-10Bi-0.8Cu 솔더의 경우에 측정

되는 접촉 각은 Sn-10Bi-0.8 Cu 솔더인 경우가 더 작게 나타나고 있다. 이러한 접촉 각의 차이는 Cu의 첨가에 따른 영향으로도 볼 수 있지만 실질적으로 1 wt% 미만으로 첨가되는 Cu, Sb, Zn 등의 원소들은 솔더의 젖음 특성에 거의 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다.¹²⁾ 따라서 이러한 경우에도 Sn 함량이 많을수록 젖음 특성이 더 좋아지고 있음을 알 수 있는데 이것은 Cu 기관과의 wetting 특성의 Bi 보다는 Sn이 더 좋기 때문으로 생각할 수 있다.

이렇게 리플로 공정 중에 생성되는 산화막 두께나, UBM 층과의 젖음 특성은 솔더 불 형성 시에 플럭스 사용 유무에 따른 불 형성 정도와 더불어 솔더 불 형성 정도에 상당히 영향을 주는 인자로 간주되어야 할 것이다.

5. 결 론

증발 증착 순서를 달리하여 증착한 In-Ag 및 Bi-Sn 솔더에 대하여 리플로 실시 후 솔더 불 형성 유무를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 같은 리플로 조건 및 분위기 속에서 열처리가 진행되었을 때 솔더 불 형성 경향은 솔더 밀도가 낮을수록, 솔더 불의 작을수록 구형의 솔더 불 형성 확률은 증가하였다.

2. 저 융점 솔더 재료인 경우 리플로 공정 중에 생성되는 솔더 불의 형상은 UBM층과 접하는 젖음 특성에 따라 달라졌는데, Ag/In의 경우는 솔더 불 형성 경향이 가장 높고, 매끄러운 표면의 불이 형성되었으며, Bi/Sn인 경우는 UBM 패드와 Sn이 접촉하고 있을 때 매끈한 표면의 솔더 불이 형성되었다.

3. 저 융점 솔더 재료인 경우 리플로시 생성되는 솔더 불의 형상은 열 처리시 생성되는 산화 막의 두께 차이에 의해서도 영향을 받았지만, UBM 패드와의 젖음 특성 차이에 따른 영향이 더 지배적이었다.

후 기

본 연구는 2000년도 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 차세대 평판표시장치 기반기술 개발을 위한 선

도기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. H. Lau, Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York (1996).
2. J. H. Lau, Chip on Board Technologies for Multichip Modules, Van Nostrand Reinhold, 1994.
3. R. P. Prasad, Surface Mount Technology, International Thomson Publishing, New York (1997).
4. V. C. Marcotte, C4 Flip Chip Joining, The Metal Science of Joining (1992).
5. C. S. Lee, Y-H Kim, O. K. Kwon, Proc. of The Ninth Conference on Materials and Material Properties, Korean Journal of Materials Research (1996) 95.
6. N. Koopman, S. Bobbio, S. Nangalia, and J. Bou-saba, "Fluxless Soldering in Air and Nitrogen", Proc. 43rd ECTC, (1994) 595.
7. J. T. Moon, S. H. Lee, "A Study on the Solder Ball Shape Variation of The Pb-In Alloys on the Reflowing with Heating Rate", Korean Journal of Materials Research, 7 (1997) 330.
8. E. A. Brandes and G. B. Brook, Smithells Metals Reference Book, Seventh Edition, 13.
9. J. W. Choi, K. E. Lee, H. S. Cha, and T. S. Oh, "Shear Strength of the Cu6Sn5-dispersed Sn-Pb solder Bumps Fabricated by Screen Printing Process", Korean Journal of Materials Research, 10 (2000).
10. S. M. Hong, J. Y. Park, C. B. Park, J. P. Jung and C. S. Kang, "Effect of Atmosphere on the Fluxless Wetting Properties of UBM-Coated Si-Wafer to the Pb-Free Solders", Journal of the Korea Institute of Metals and Materials, 39 (2001) 116.
11. J. G. Jin, U. B. Kang, W. G. Cho and Y. H. Kim, "Low Temperature Solder Bump Formation Process for TFT-LCD Driver", Journal of the Information Display Research Institute, Hanyang University, 2 (2000) 35.
12. M. Abtew and G. Selvaduray, "Lead-Free Solders in Microelectronics", Materials Science and Engineering, 27 (2000) 95.