극미세 Bi-Sn 솔더 범프와 UBM과의 계면반응

Un-Byoung Kang and Young-Ho Kim
Div. of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract

The reaction of ultra-small eutectic 58Bi-42Sn solder bump with Au/Ni/Ti and Au/Cu/Ti UBMs during reflow was studied. The eutectic Bi-Sn solder bumps of 46 ㎛ diameter were fabricated by using the evaporation method and were reflowed using the rapid thermal annealing system. The intermetallic compound wascharacterized using a SEM, an EDS, and an XRD. The $(Cu_xAu_{1-x})_6Sn_5$ compounds formed at the interface between Bi-Sn solder and Au/Cu/Ti UBM. On the other hand, in the Bi-Sn solder bump on Au/Ni/Ti UBM, the faceted and rectangular intermetallic compounds were observed on the solder bump surface and inside the solder bump as well as at the UBM interface. These intermetallic compounds were identified as $(Au_{1-x-y}Bi_xNi_y)Sn_2$ phase.

1. Introduction

최근 들어 TFT-LCD와 image sensor 같은 고집적 저온 실장공정이 요구되는 전자기기들이 많이 사용되고 있다. 이와 같은 분야에는 저온 솔더를 이용한 플립칩 접속방법이 사용될 수 있으며 대표적인 저온 솔더재료로 공정조성의 58Bi-42Sn 솔더를 들 수 있다. 솔더 범프를 이용한 플립 칩 기술은 칩의 알루미늄 패드와 젖음성이 좋지 않으므로 다층 금속박막의 UBM 구조가 필요하다. UBM은 기본적으로 칩의 금속 패드 위에 접착층 (adhesion layer), 솔더 젖음층 (wetting layer), 산화 방지층 (oxidation barrier layer) 의 순서로 이뤄진 구조를 가장 많이 사용한다[1]. 지금까지 발표된 58Bi-42Sn 솔더범프와 UBM과의 반응을 요약하면, 산화 방지층으로 가장 많이 사용하는 Au는 얇은 두께로 사용되어 리플로 (reflow) 솔더링 동안 액상 솔더 내로 용해되고, 솔더 범프와 UBM 사이에서 생성되는 금속간 화합물은 솔더 젖음층으로 사용되는 Cu 또는 Ni와의 반응에서 주로 이뤄진다[2]. 직경 100㎛의 Bi-Sn 솔더 범프와 Au(0.1㎛)/Ni UBM과의 반응에서 Ni_3Sn_4과 Ni_3Sn 상이 생성된다는 보고가 있었다[3]. 그러나, 솔더 범프의 크기가 작아지면서 솔더 체적에 대한 UBM 패드의 체적비가 증가하는 접합부의 기하학적 구조에 따라 솔더 범프와 UBM과의 반응도 달리 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 향후 몇 년 내로 사용이 예상되는 80 ㎛ 피치에 적용 가능한 극미세 솔더 범프를 형성하고 리플로 과정에서 UBM과의 반응으로 생성되는 금속간 화합물에 대해 연구하였다. 극미세 솔더 범프는 공정 (eutectic) 조성의 58Bi-42Sn 솔더 재료를 사용하였다. UBM으로는 산화 방지층으로 0.1 ㎛의 두께의 Au, 솔더 젖음층으로 Ni 또는 Cu, 접착층으로 Ti를 사용한 Au/Ni/Ti와 Au/Cu/Ti의 다층 박막을 사용하였다.

2. Experimental

UBM으로 사용된 Au(0.1㎛)/Ni(0.5㎛)/Ti(50㎚), Au(0.1㎛)/Cu(1㎛)/Ti(50㎚) 박막은 직류 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Si 웨이퍼 위에 증착하였고 노광 공정과 습식에칭 공정을 거쳐 UBM 패턴을 형성하였다. 이와 같이 형성된 UBM 위에 AZ P4620 PR을 이용하여 overhang 구조의 두께 30 ㎛인 lift-off 마스크를 형성하였다. 솔더 재료는 저항 가열식 증발 증착기를 이용하여 증착하였는데, 솔더

와 UBM과의 젖음 특성을 좋게 하기 위하여 Sn을 먼저 증착한 다음 Bi와 Sn을 보트 안에 함께 넣고 증착하는 공정을 4회 실시하여 약 18 ㎛의 두께를 갖는 솔더를 형성하였다. 솔더 증착 후에 lift-off 공정을 거쳐 솔더 범프를 형성하였다. 리플로 공정은 급속열처리 (RTA; rapid thermal annealing) 장비에서 실시하여 구형의 솔더 범프를 형성하였다. 질소분위기에서 실시하였으며, 승온속도는 90℃/min이며 플럭스는 α-metals의 수용성 플럭스 WS609를 사용하였다. 리플로 공정 후 제조된 구형의 솔더 범프의 평균 직경은 약 46 ㎛였다. 솔더 범프의 미세구조 관찰은 주사전자 현미경 (SEM; scanning electron microscopy)을 이용하였다.

3. Results and Discussion

그림 1은 Au/Cu/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프에 대한 표면과 단면 SEM 사진으로 backscattered electron (BSE) mode로 관찰하였다. 리플로 공정에서의 냉각속도는 2.5 ℃/min이다. BSE image의 특성상 원자번호가 상대적으로 큰 Bi는 밝게 나타나고 상대적으로 Sn은 어둡게 나타난다. 사진에서 보는 바와 같이 표면에서는 Bi와 Sn의 층상구조와 큰 Bi 상이 관찰되고 단면에서도 크게 성장한 faceted Bi 상과 Bi와 Sn의 불규칙한 혼합 구조가 나타나고 금속간 화합물은 계면에서 관찰되었다. 계면에 형성된 금속간 화합물에 대한 EDS 분석 결과는 원자 비율로 7% Au, 42% Cu, 4% Bi, 47% Sn로 나타났다. 그림 2는 Au(0.1㎛)/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프의 표면과 단면을 SEM의 BSE image로 관찰한 사진이다. Bi-Sn 솔더 범프의 표면 (그림 2-(a))에서는 직사각형 형태의 금속간 화합물이 다량 나타나고 단면사진 (그림 2-(b))에서는 솔더 범프의 곳곳에서 금속간 화합물이 관찰되었다. Bi-Sn계는 Pb-Sn계와 마찬가지로 단순 공정계 합금으로 서로간의 금속간 화합물은 생성되지 않는다. 그러므로, 금속간 화합물은 솔더와 UBM과의 반응에 의해 생성된 것인데 일반적으로 금속간 화합물이 솔더와 UBM 계면에서 층상의 형태로 관찰되는 것에 비해 매우 이례적이며 금속간 화합물의 형상은 faceted 계면을 가지는 다각형을 띠고 있었다. 이 금속간 화합물의 성분비는 EDS 분석 결과 원자 비율로 9% Au, 8% Ni, 14% Bi, 69% Sn으로 나타났다. EDS 성분 분석의 오차를 고려하더라도 지금까지 Sn을 함유한 솔더와 Au/Ni UBM과의 반응에서 많이 생성되는 것으로 알려진 Ni_3Sn_4 또는 $(Au_{1-x}Ni_x)Sn_4$계의 금속간 화합물과는 전혀 다른 금속간 화합물임을 확인할 수 있었다.

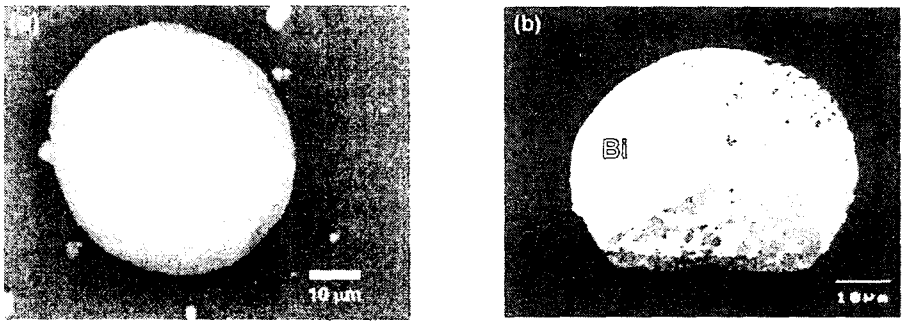

그림 1. Backscattered electron images of (a) the surface and (b) the cross-section of eutectic Bi-Sn solder bump on Au(0.1㎛)/Cu/Ti UBM.

극미세 Bi-Sn 솔더 범프에서 생성되는 금속간 화합물이 솔더 내부에서 관찰되는 등의 문제로 인해 정확한 상분석이 쉽지 않아서 다음과 같은 새로운 형태의 시편을 준비하였다. PCB (printed circuit board) 위에 Cu가 13 ㎛ 두께로 형성된 기판 위에 무전해 도금법으로 Ni과 Au 층을 각각 2 ㎛와 0.4 ㎛ 두께로 형성하였다. 그 위에 58Bi-42Sn 솔더 50 mg을 올려 놓고 160℃ 에서 리플로 공정을 실시하였다. 그림 3은 솔더의 표면을 BSE image로 관찰한 사진이다. Au(0.4㎛)/Cu 금속 박막 위의 Bi-Sn 솔더는 Bi와 Sn의 층상구조를 보이고 있으며 금속간 화합물은 나타나지 않았다. Au(0.4㎛)/Ni(2

㎛)/Cu 금속 박막 위의 Bi-Sn 솔더는 앞서 그림 2-(a)에서 나타난 금속간 화합물과 유사한 직사각형 형태의 금속간 화합물이 나타났고, 이의 EDS를 이용한 성분 분석 결과 역시 솔더 범프에서의 결과와 비슷한 비율로 확인되었다. 그림 3에 나타낸 솔더의 단면을 BSE image로 관찰한 사진은 그림 4에 나타내었다. 그림 3-(a)에서는 솔더와 금속 박막 계면에서 금속간 화합물이 층상 형태로 존재하고 있었으나 그림 3-(b)에서 계면에서 떨어져 나간 혹은 성장한 것처럼 보이는 조대한 금속간 화합물이 관찰되었다. 이 두 금속간 화합물의 EDS 결과는 그림 1,2에서 구한 값과 유사하여 같은 종류의 금속간 화합물임을 확인할 수 있었다.

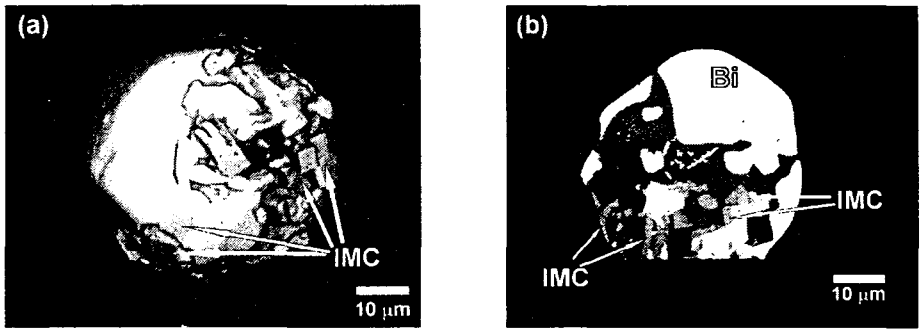

그림 2. Backscattered electron images of (a) the surface and (b) the cross-section of eutectic Bi-Sn solder bump on Au(0.1㎛)/Ni/Ti UBM.

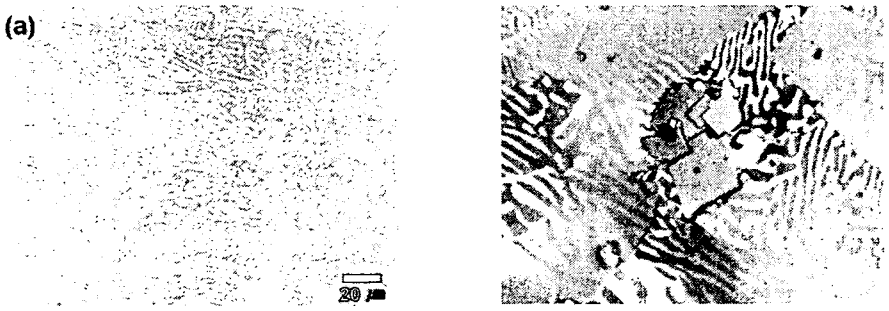

그림 3. Backscattered electron image of the surface of eutectic Bi-Sn solder cap on (a) Au(0.4㎛)/Cu/PCB and (b) Au(0.4㎛)/Ni/Cu/PCB substrates.

이 금속간 화합물의 정확한 상분석을 위해 X-ray 회절 패턴을 구하여 분석하였다. 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 솔더 재료와 기판재료를 제외하고 나타난 상은 Au(0.4㎛)/Cu 금속 박막 위의 Bi-Sn 솔더의 경우 Cu_6Sn_5와 $AuSn_2$ 상이었다. 앞서 그림 1에서 구한 EDS 결과와 같이 비교해 볼 때 Bi-Sn 솔더 범프와 Au/Cu/Ti UBM 계면에서 층상 형태로 생성된 금속간 화합물은 Cu_6Sn_5 상에서 Cu 원자의 일부를 Au가 치환한 $(Cu_{1-x}Au_x)_6Sn_5$ 상임을 확인할 수 있었다. Au(0.4㎛)/Ni(2㎛)/Cu 금속 박막 위의 Bi-Sn 솔더의 경우는 그림 5-(b)에서 보는 바와 같이 Ni_3Sn_4 상과 $AuSn_2$ 상이 나타났다. 그림 2에서 구한 원자비율과 비교해 볼때 솔더 범프의 내부와 표면에서 관찰되는 금속간 화합물은 $AuSn_2$ 상에서 Au의 일부를 Bi와 Ni이 치환한 $(Au_{1-x-y}Bi_xNi_y)Sn_2$ 상임을 알 수 있었다. 그리고, Ni_3Sn_4 상은 Bi-Sn 솔더와 금속 박막과의 계면에서 얇은 층상 형태로 존재하고 있음은 SEM과 EDS로 확인하였다. 그러나, Au(0.4㎛)/Cu 금속 박막 위의 Bi-Sn 솔더의 경우 XRD 결과에서는 $AuSn_2$ 상이 검출되었으나 SEM으로 관찰한 사진에서는 어떤 경우에도 $AuSn_2$ 상으로 보이는 금속간 화합물이 나타나지 않았다. 이와 같이 차이가 나는 이유는 Au(0.4㎛)/Cu 금속 박막 위에서 리플로우된 Bi-Sn 솔더의 가장자리를 보면 확인할 수 있다. Au/Cu 박막 위에 wetting된 Bi-Sn 솔더의 가장자리에 Cu_6Sn_5-rich 영역과 $AuSn_2$-rich 영역이 뚜렷하게 나타남을 SEM으로 확인할 수 있었다. 이는 패터닝 되지 않은 금속 박막

위에 솔더를 놓고 리플로 처리하였을 때 솔더가 wetting 되면서 가장자리에서 솔더와 금속 박막간의 확산에 의해 금속간 화합물이 생성된 것으로 솔더범프의 결과와는 전혀 다를 수 있다. 그러므로, Au/Cu/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프의 경우 생성되는 금속간 화합물은 $(Cu_{1-x}Au_x)_6Sn_5$ 상임을 알 수 있다.

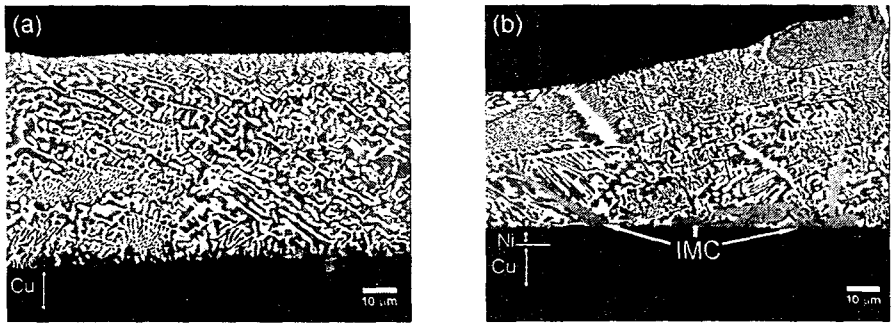

그림 4. Backscattered electron images showing the cross-section of eutectic Bi-Sn solder cap on (a) Au(0.4 ㎛)/Cu/BT and (b) Au(0.4㎛)/Ni/Cu/BT substrates.

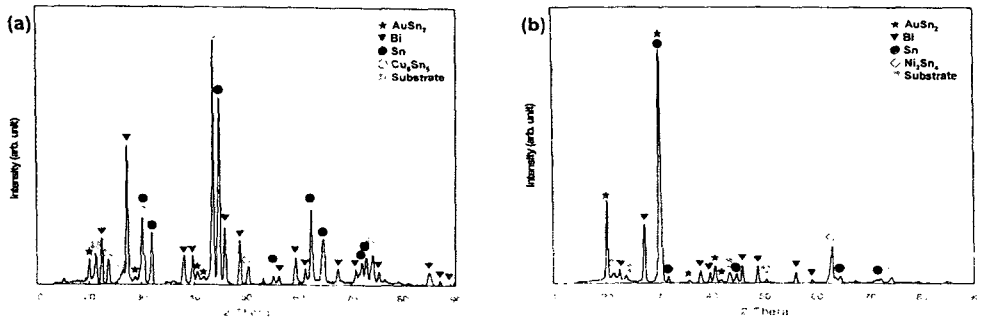

그림 5. X-ray diffraction patterns of eutectic Bi-Sn solder cap on (a) Au(0.4㎛)/Cu/BT and (b) Au(0.4 ㎛)/Ni/Cu/BT substrates.

4. Conclusion

Au/Cu/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프에서는 계면에서만 금속간 화합물이 관찰되었다. EDS와 XRD 분석 결과, $(Cu_{1-x}Au_x)_6Sn_5$ 상임을 알 수 있었다. Au/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프에서는 계면 뿐만 아니라 범프 내부와 표면에서도 금속간 화합물이 관찰되었다. 이 금속간 화합물 $AuSn_2$ 상에서 Au 위치에 Bi와 Ni이 치환한 $(Au_{1-x-y}Bi_xNi_y)Sn_2$ 상임을 확인하였다.

Acknowledgement

본 연구는 IMT-2000 출연금 기술개발지원 사업의 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

[1] J. H. Lau, Flip Chip Technologies, p. 26, McGraw-Hill, New York (1995).

[2] K. N. Tu and K. Zerg, Mater. Sci. Eng., R 34, 1 (2001).

[3] S. Y. Jang and K. W. Paik, Proc. ECTC, 64 (2000).