

고집적 플립 칩용 극미세 58Bi-42Sn 솔더 범프와 Au/Ni/Ti UBM의 계면 반응

강운병 · 정 윤 · 김영호

한양대학교 신소재공학부

Interfacial Reaction between Ultra-Small 58Bi-42Sn Solder Bump and Au/Ni/Ti UBM for Ultra-Fine Flip Chip Application

Un-Byoung Kang, Yoon Chung, and Young-Ho Kim

Div. of Materials Science & Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

초 록: 고집적 플립 칩 기술을 위한 50 μm 직경의 극미세 58Bi-42Sn 솔더 범프와 Au/Ni/Ti UBM의 계면 반응에 따른 금속간 화합물을 분석하였다. 증발증착법과 lift-off 방법으로 극미세 Bi-Sn 솔더 범프를 형성하고 급속열처리 장비를 이용하여 리플로 공정을 실시하였다. 리플로 공정에서의 냉각속도를 변화시키면서 제작한 솔더 범프의 표면과 단면을 주사전자현미경으로 관찰하였다. Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 극미세 58Bi-42Sn 솔더 범프의 표면과 내부에서 facet 특성을 갖는 다각형의 금속간 화합물들이 다수 관찰되었다. 주사전자현미경의 EDS 분석과 X-선 회절분석으로 확인한 결과 이 금속간 화합물은 $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$ 상임을 확인하였다.

Abstract: The interfacial reaction between ultra-small 58Bi-42Sn solder and Au/Ni/Ti under bump metallurgy (UBM) for ultra-fine flip chip application was investigated. The ultra-small 58Bi-42Sn solder bump, about 46 μm in diameter, was fabricated by using the lift-off method and reflowed using the rapid thermal annealing (RTA) system. The intermetallic compounds were characterized using a secondary electron microscopy (SEM), an energy dispersive spectroscopy (EDS), and an x-ray diffractometer (XRD). The faceted and polygonal intermetallic compounds were found in the Bi-Sn solder bumps on Au (0.1 μm)/Ni/Ti UBM and they were identified as $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$ phase. The intermetallic compounds grown from the Au (0.1 μm)/Ni/Ti UBM interface were dispersed in the solder bump.

Keywords: flip chip, interfacial reaction, Bi-Sn, UBM, $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$, intermetallic compound

1. 서 론

휴대용 전자기기의 발달로 전자부품의 경박단소화 및 고기능화가 요구되면서 칩 접속 방법으로 area array 방식의 플립 칩(flip chip) 기술의 필요성이 점차 커지고 있다. 또한, 최근 소자의 집적도가 매우 빠른 속도로 증가함에 따라 향후 수년 내에 100 μm 피치(pitch) 이하의 고집적 플립 칩 기술이 적용되리라 예상되고 있다¹⁾. 1960년대에 IBM에 의해 제안된 솔더 범프를 이용한 플립 칩 기술은

칩의 알루미늄 패드와 젖음성이 좋지 않으므로 다층 금속박막의 UBM 구조가 필요하다. UBM은 IBM의 C4(controlled-collapse chip connection) 기술의 Au/Cu/Cu-Cr/Cr 구조 이후로 다양한 조합이 개발되었으나, 기본적으로 칩의 금속 패드 위에 접착층(adhesion layer), 솔더 젖음층(wetting layer), 산화 방지층(oxidation barrier layer)의 순서로 이뤄진 구조를 가장 많이 사용한다²⁾. 솔더 범프를 칩에 실장하는 리플로 공정에서 액상의 솔더와 UBM이 반응하여 금속간 화합물이 생성되는데,

이 금속간 화합물의 생성은 좋은 접합부의 형성을 의미하지만 금속간 화합물의 과다 성장이나 취성 (embrittlement) 등은 접합부의 장기적인 신뢰성에 나쁜 영향을 미치게 된다. 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. 그래서, 솔더 범프와 금속 박막간의 반응에 대한 과거의 많은 연구들은 솔더와 솔더 젖음층인 Cu 또는 Ni 사이에서 생성되는 이원계 금속간 화합물의 생성과 성장에 집중되어져 왔다³⁾. 그러나, 솔더 범프의 크기가 매우 작아지는 고집적 플립 칩 기술에서는 솔더 체적에 대한 UBM 패드의 체적비가 증가하는 접합부의 기하학적 구조에 의해 금속간 화합물의 생성이 단순히 솔더 성분과 솔더 젖음층의 반응으로 이뤄진 이원계 화합물과는 달리 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 80 μm 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 사용하였는데, 이 재료는 용점이 138°C로 낮은 온도에서 접합을 필요로 하는 전자 부품 및 기기의 플립 칩 기술에 적용할 수 있는 솔더 재료이다. UBM으로는 산화 방지층으로 0.1 μm 의 얇은 두께의 Au, 솔더 젖음층으로 Ni, 접착층으로 Ti를 사용한 Au/Ni/Ti의 다층 박막을 사용하였다.

2. 실험방법

본 연구는 UBM과 58Bi-42Sn 솔더 범프 사이의 계면 반응을 연구하는 것이 목적이므로 실제 칩을 사용하지 않고 bare Si 웨이퍼를 사용하였다. Si 웨이퍼는 초음파 세척기에서 TCE, 아세톤, 메탄올에 각각 5분 이상 담근 후 각 단계에서 DI water로 세척하였다. UBM으로 사용된 Au(0.1 μm)/Ni(0.5 μm)/Ti(50 nm) 박막은 직류 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였고 노광 공정과 습식에칭 공정을 거쳐 UBM 패턴을 형성하였다. 이와 같이 형성된 UBM 위에 AZ P4620 PR을 이용하여 overhang 구조의 두께 30 μm 인 lift-off 마스크를 형성하였다.

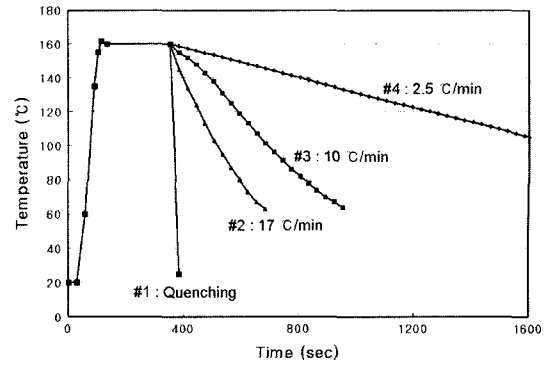


Fig. 1. Reflow profiles of various cooling rates.

솔더 재료는 저항 가열식 증발 증착기를 이용하여 증착하였는데, 솔더와 UBM과의 젖음 특성을 좋게 하기 위하여 Sn을 먼저 증착한 다음 Bi와 Sn을 보트 안에 함께 넣고 증착하는 공정을 4회 실시하여 약 18 μm 의 두께를 갖는 솔더를 형성하였다. 솔더 증착 후에 lift-off 공정을 거쳐 솔더 범프를 형성하였다. 리플로 공정은 금속열처리(RTA; rapid thermal annealing) 장비에서 실시하여 구형의 솔더 범프를 형성하였다. 질소분위기에서 실시하였으며, 승온속도는 90°C/min이며 플럭스는 α -metals의 수용성 플럭스 WS609를 사용하였다. 금속간 화합물의 생성에 미치는 냉각속도의 영향을 확인하고자 Fig. 1에 나타난 바와 같이 냉각속도를 네 가지로 구분하여 리플로 공정을 수행하였다. 리플로 공정 후 제조된 구형의 솔더 범프의 평균 직경은 약 46 μm 였다. 솔더 범프의 미세구조 관찰은 주사전자 현미경(SEM; scanning electron microscopy)을 이용하였으며 원자번호의 차이에 따라 명암이 구분되는 backscattered electron image를 주로 이용하였다.

3. 실험결과

Figure 2는 Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프의 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진으로 160°C에서 4분 동안 리플로한 후 냉각속도를 달리하여 형성한 솔더 범프의 backscattered electron image이다. Bi와 Sn의 원자량이 각각 209와 119로 큰 차이가 나므로 backscattered electron image의 특성상 Bi는 밝게 나타나고 상대적으로 Sn은 어둡게 나타나며 금속간 화합물과도 뚜렷하

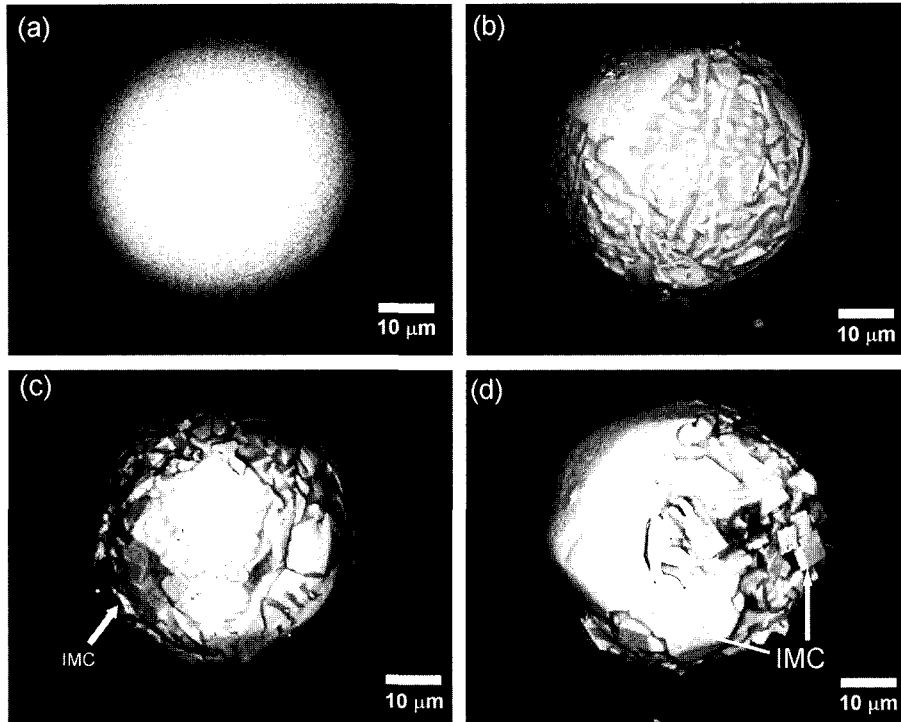


Fig. 2. Backscattered electron images showing the surface of eutectic Bi-Sn solder bumps on Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM after reflow with following cooling rates: (a) quenching, (b) 17°C/min, (c) 10°C/min, and (d) 2.5°C/min.

계 구별할 수 있어 Bi-Sn 솔더 범프의 미세구조와 금속간 화합물을 관찰하는데 용이하였다. 급냉한 시편(Fig. 2(a))은 Bi와 Sn이 조밀하게 섞여 있고, 17°C/min의 속도로 냉각한 시편(Fig. 2(b))은 큰 Bi 상이 존재하지만 두 경우 모두 Bi와 Sn 이외의 상은 나타나지 않았다. 냉각속도가 10°C/min(Fig. 2(c)), 2.5°C/min(Fig. 2(d))로 느려진 Bi-Sn 솔더 범프의 표면에서 다각형의 금속간 화합물이 다량 나타나고 있다. Bi-Sn계는 Pb-Sn계와 마찬가지로 단순 공정계 합금으로 서로간의 금속간 화합물은 생성되지 않는다. 그러므로, Fig. 2(c), (d)에서 관찰된 금속간 화합물은 솔더와 UBM의 반응에 의해 생성된 것이다. 이는 일반적으로 솔더 범프와 UBM의 반응에서 생성되는 금속간 화합물이 계면에서 층상의 형태로 관찰되는 것에 비해 매우 이례적이며 금속간 화합물의 형상은 faceted 계면을 가지는 다각형을 띠고 있었다.

Figure 3은 Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프의 단면을 주사전자현미경의 backscattered electron image로 관찰한 사진이다. 사진에서 보는

바와 같이 급냉한 시편(Fig. 3(a))과 17°C/min의 속도로 냉각한 시편(Fig. 3(b))에서 두께가 수 μm에 이르는 금속간 화합물 층이 Bi-Sn 솔더 범프와 UBM 계면에서 관찰되었다. 그러나, 냉각속도가 10°C/min(Fig. 3(c)), 2.5°C/min(Fig. 3(d))로 느려지면서 금속간 화합물이 솔더 범프와 UBM과의 계면에서 나타나지 않고 솔더의 내부에서 무질서하게 존재하는 것을 볼 수 있었다. 이는 앞서 표면에서 관찰한 냉각속도에 따른 금속간 화합물의 거동과 일치하는 결과이다.

지금까지 관찰된 금속간 화합물의 성분을 알아보려고 EDS(energy dispersive spectroscopy) 분석을 실시하였다. 그러나, 이차전자의 산란 효과 때문에 마이크로 단위의 금속간 화합물의 성분을 EDS로 분석하는 것이 최선의 방법은 아니지만 최대한 오차를 줄이기 위해 단면시편의 가장 자리에 있는 금속간 화합물들을 대상으로 10회 이상 측정하여 성분의 평균값을 구하였다. 그 결과 금속간 화합물의 성분비는 Au 9 at.%, Ni 8 at.%, Bi 14 at.%, Sn 69 at.%로 나타났다. EDS 성분 분석의

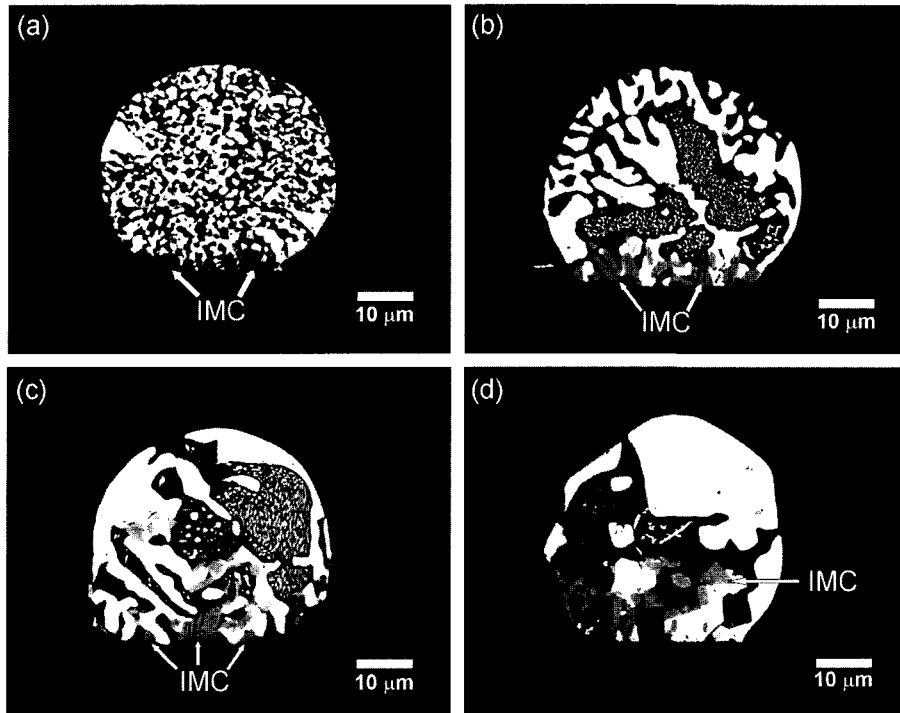


Fig. 3. Backscattered electron images showing the cross-section of eutectic Bi-Sn solder bumps on Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM after reflow with following cooling rates: (a) quenching, (b) 17°C/min, (c) 10°C/min, and (d) 2.5°C/min.

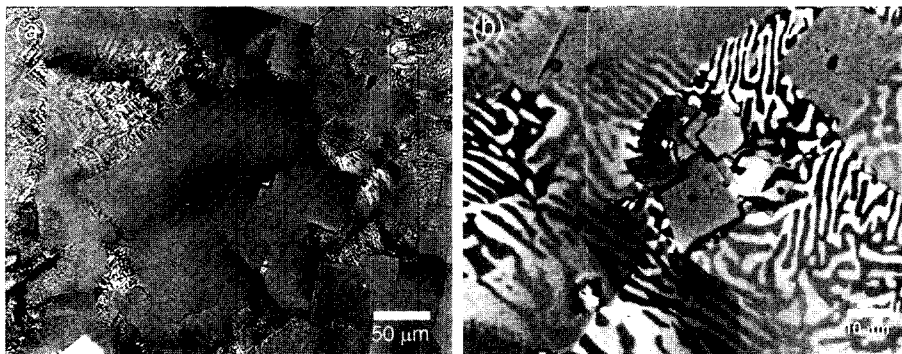


Fig. 4. Backscattered electron images showing the surface of eutectic Bi-Sn solder drop on Au(0.4 μm)/Ni(2 μm)/Cu/BT substrate: (a) low magnification and (b) high magnification.

오차를 고려하더라도 지금까지 Sn을 함유한 솔더와 Au/Ni UBM과의 반응에서 많이 생성되는 것으로 알려진 Ni_3Sn_4 또는 $\text{Au}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Sn}_4$ 계의 금속간 화합물과는 전혀 다른 금속간 화합물임을 확인할 수 있었다.

극미세 Bi-Sn 솔더 범프에서 생성되는 금속간 화합물이 솔더 내부에서 관찰되고 있기 때문에 정확한 상분석이 쉽지 않아서 다음과 같은 새로운

형태의 시편을 준비하였다. PCB(printed circuit board) 위에 Cu가 13 μm 두께로 형성된 기판 위에 무전해 도금법으로 Ni과 Au 층을 각각 2 μm 와 0.4 μm 두께로 형성하였다. 그 위에 58Bi-42Sn 솔더 50 mg을 올려 놓고 160°C에서 리플로 공정을 실시하였다. Fig. 4는 위와 같이 준비한 시편의 표면을 주사전자현미경의 backscattered electron image로 관찰한 사진이다. 저배율 사진(Fig.

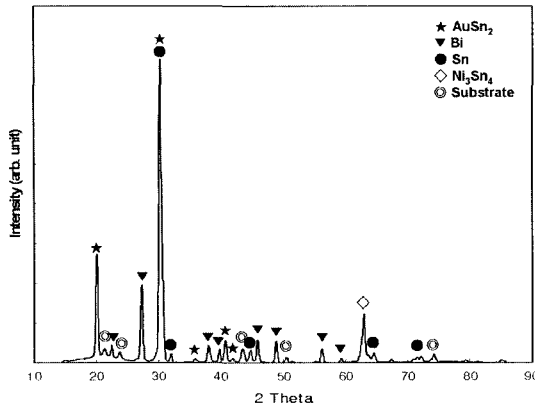


Fig. 5. X-ray diffraction pattern of eutectic Bi-Sn solder drop on Au(0.4 μm)/Ni(2 μm)/Cu/BT substrate.

4(a))에서 나타나는 가장 두드러진 특징은 회색을 띤 판상의 금속간 화합물이 솔더 표면을 거의 차지할 정도로 많이 나타나고 있으며 그 두께가 밀의 Bi-Sn 솔더의 층상구조가 관찰될 정도로 매우 얇다는 것이다. 고배율 사진에서와 같이 facet 특성을 보이는 판상의 금속간 화합물들이 segregation 되어 있는 부분도 관찰되었다. EDS를 이용하여 확인한 금속간 화합물의 성분은 Au 13 at.%, Ni 3 at.%, Bi 15 at.%, Sn 69 at.%로 나타나 앞서 극미세 솔더 범프에서 구한 평균값과 비교하여 Ni의 함량만 다소 적을 뿐 대체로 일치하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4에서 관찰된 금속간 화합물이 극미세 솔더 범프의 표면에서 관찰되는 것과 마찬가지로 facet 특성을 갖는 판상 형태를 띠고 있으며 EDS 결과도 역시 극미세 솔더 범프에서의 결과와 유사한 것으로 보아 서로 같은 상이라고 볼 수 있겠다. 위와 같이 현미경으로 관찰한 시편을 가지고 X-선 회절분석을 수행하여 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 솔더 재료와 기판 재료의 피크(peak)를 제외하면 AuSn_2 상과 Ni_3Sn_4 상의 피크가 검출되었다. 또한 AuSn_2 상의 피크의 2θ 값이 다른 상의 2θ 값에 비해 $0.4^\circ\text{-}0.5^\circ$ 정도 오른쪽으로 이동하여 나타나고 있어 AuSn_2 상의 격자에 격자상수가 작은 타 원소가 치환하여 들어갔음을 알 수 있었다. 지금까지 EDS로 얻은 성분의 평균값이 Sn은 69 at.%로 다른 세 성분의 합보다 약 2배 정도 많게 나타나고 있어 X-선 회절 분석 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 결국, 극미세 Bi-Sn 솔더 범프와 Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM과의 반응에 의해서

생성된 금속간 화합물은 AuSn_2 상에서 Au의 일부를 Ni와 Bi가 치환한 $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$ 상임을 확인하였다.

4. 고 찰

본 연구에서 가장 특이할 만한 점은 극미세 Bi-Sn 솔더 범프와 Au/Ni/Ti UBM과의 반응에서 Au, Ni, Bi, Sn을 모두 함유한 $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$ 상의 금속간 화합물이 생성되었다는 점과 이 금속간 화합물이 짧은 시간의 리플로 과정에서도 솔더 내부로 확산하여 범프의 표면에서도 다량 관찰된다는 점이다. 지금까지 Sn을 함유한 솔더와 Au/Ni 금속 박막과의 반응에 대한 연구 결과들을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다. 63Pb-37Sn 솔더와 Sn을 다량 함유한 무연(Pb-free) 솔더는 Au/Ni 금속 박막 위에서 리플로될 때 산화방지막으로 사용된 Au는 액상 솔더에 용융되고 Sn과 Ni이 반응하여 계면에 주로 Ni_3Sn_4 상의 금속간 화합물을 생성한다고 알려져 있다³⁾. 근래에 들어서는 리플로 공정을 거친 시편을 장시간 고상에서 시효할 경우에 솔더 내부에 용융되어 있던 Au가 계면으로 재증착되는 효과가 생겨 솔더와 Ni_3Sn_4 금속간 화합물 층간의 계면에 $\text{Au}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Sn}_4$ 조성의 금속간 화합물 층이 두껍게 생성된다고 보고되고 있다⁴⁾. 그러나, 본 연구에서와 같이 네 가지 원소를 함유한 AuSn_2 계열의 금속간 화합물이 생성되고 솔더 내부 및 범프 표면에서까지 관찰된다고 보고된 예는 없었다.

본 연구의 결과가 이전의 결과들에 비해 다르게 나타난 이유는 다음과 같은 몇 가지 원인들이 작용했기 때문으로 생각된다. 우선, 첫번째는 액상의 솔더에서의 Au의 고용한계(solubility limit)에서 찾을 수 있다. 액상의 63Pb-37Sn 솔더에서 Au의 고용한계는 3상의 평형 상태도에 의하면 6 wt%로⁵⁾ 매우 크며 액상 솔더에서의 확산속도가 매우 빨라서 리플로 공정에서 Au는 솔더 내부로 순식간에 용융되어 Sn과 Ni 사이의 금속간 화합물이 솔더 범프와 UBM 계면에서 생성된다. 그러나, Sn-Bi-Au 3상의 평형 상태도에 의하면 액상의 58Bi-42Sn 솔더는 150°C 에서 Au의 고용한계가 약 0.7 wt%에⁶⁾ 지나지 않으며 리플로 온도가 낮기 때문에 Pb-Sn 솔더 등에 비해 Au의 확산속도가 느리다. 이와 같이 58Bi-42Sn 솔더가 낮은 Au의 고용한계와 느린 확

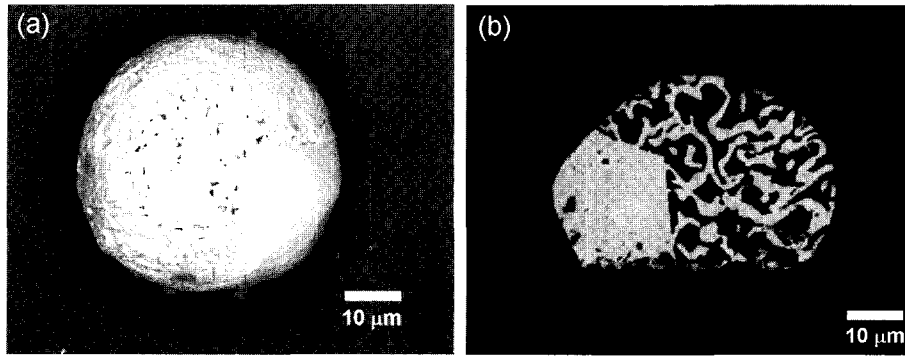


Fig. 6. Backscattered electron images of eutectic Bi-Sn solder bump solidified at $2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ on Au($0.025\mu\text{m}$)/Ni/Ti UBM showing (a) surface and (b) cross-section.

산속도를 갖고 있지만 지금까지 Bi-Sn 솔더와 Au/Ni 금속 박막과의 반응에 대한 연구 결과들에서는 Pb-Sn 솔더와 마찬가지로 Ni_3Sn_4 금속간 화합물만 생성된다고 보고되었다^{7,8)}. 이는 Au의 고용도가 작더라도 Bi-Sn 솔더의 질량이 상대적으로 매우 크기 때문에 모두 액상의 솔더 내부로 용융되어 들어가 Ni과 Sn의 반응에 의해 생성된 Ni_3Sn_4 상만이 관찰될 뿐이었다.

두번째는 플립 칩 기술에서 솔더 범프와 UBM과의 기하학적 구조에 따른 체적 변화에서 찾을 수 있다. 앞서 서론에서 언급하였듯이 수년 이내에 $100\mu\text{m}$ 피치 이하의 플립 칩 기술이 사용되리라 예상되는데 이와 같이 솔더 범프의 크기가 작아지게 되면 기하학적 구조에 의해 UBM의 체적이 줄어드는 비율에 비해 솔더 범프의 체적이 작아지는 비율이 훨씬 크게 된다. 즉, 솔더 범프의 크기가 $100\mu\text{m}$ 보다 큰 일반적인 플립 칩 기술에서 가장 많이 사용된 $0.1\mu\text{m}$ 두께의 얇은 Au 박막이라도 본 연구에서와 같이 범프 크기가 $50\mu\text{m}$ 이하로 작아지게 되면 그 영향이 다르게 나타날 수 있다는 것이다. Jang의 연구⁸⁾에 의하면 직경이 $100\mu\text{m}$ 인 58Bi-42Sn 솔더 범프를 Au($0.1\mu\text{m}$)/Ni($5\mu\text{m}$)/Al($1\mu\text{m}$)의 UBM 위에 형성하고 172°C 에서 약 1분 50초 동안 리플로 공정을 최고 10회까지 실시하여 생성된 금속간 화합물을 X-선 회절 분석과 주사전자현미경으로 분석하였는데 모든 경우에서 Ni과 Sn의 반응에 의한 Ni_3Sn_4 와 Ni_3Sn 금속간 화합물만 생성된다고 보고하였다. 이 연구에서 UBM의 직경이 솔더 범프의 직경과 거의 일치할 정도로 크게 제작되었지만 Bi-Sn 솔더 범프

의 질량에 비해 사용된 Au 박막의 질량을 간단히 계산해 보면 약 0.34 wt%에 지나지 않는다. 즉, $0.1\mu\text{m}$ 두께의 Au 박막의 양이 액상의 Bi-Sn 솔더에서의 이론적인 고용한계인 0.7 wt%를 벗어나지 않는 범위에 있기 때문에 Au와 Sn에 의한 반응은 나타나지 않고 Pb-Sn 솔더와 마찬가지로 Ni-Sn 금속간 화합물만 관찰된 것이다. 그러나, 본 연구에 사용된 직경이 평균 $46\mu\text{m}$ 인 Bi-Sn 솔더 범프에서는 $0.1\mu\text{m}$ 두께인 Au의 양이 대략 솔더 범프의 0.9 wt%에 이르는 것으로 계산되어 이론적인 고용한계를 벗어나고 있기 때문에 Au와 Sn의 반응에 의한 금속간 화합물이 생성되고 있는 것이다. 이와 같은 해석이 맞는지 확인하기 위하여 Au의 두께를 $0.025\mu\text{m}$ 로 얇게 증착한 UBM을 제조하였다. Fig. 6은 Au의 두께를 $0.025\mu\text{m}$ 로 얇게 증착한 Au/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더범프를 형성하고 그 표면과 단면을 주사전자현미경의 backscattered electron image로 관찰한 사진이다. 냉각속도는 $2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 가장 느리게 냉각한 시편이다. 솔더 범프 표면과 단면의 미세구조는 Au 두께를 $0.1\mu\text{m}$ 로 사용한 Au/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프와는 전혀 다르게 나타나며 다수의 솔더 범프의 횡단면 관찰에서도 솔더 내부에서 faceted 금속간 화합물은 관찰할 수 없었다. 물론, 다른 세 가지 냉각속도로 제조한 다른 시편에서도 $(\text{Au}_x\text{Bi}_y\text{Ni}_{1-x-y})\text{Sn}_2$ 금속간 화합물은 관찰할 수 없었다.

세번째로 Au와 Bi-Sn 솔더와의 반응이 일반적인 Sn-based 솔더의 경우와는 다르게 나타난다. Kim과 Tu는⁹⁾ Au 박판 위에 여러 종류의 솔더를 반응시켜 생성된 금속간 화합물을 분석하였다. 그

결과 63Pb-37Sn 솔더에서는 AuSn₄ 금속간 화합물이 솔더와 Au 박판의 계면 뿐만 아니라 솔더 내부와 표면에까지 생성되고 난 후 AuSn₂ 금속간 화합물이 AuSn₄와 Au 계면에 조밀하게 생성된다고 보고하였다. 그리고, AuSn₄ 금속간 화합물의 형상은 솔더 표면과 내부에서 침상을 띠고 있었으며 금속간 화합물의 두께로 예측한 Au의 확산 속도는 대략 $6 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$ 라고 보고하였다. Bi-Sn 솔더와 Au 박판과의 반응에서는 위의 경우와 달리 AuSn₄ 상은 전혀 나타나지 않고 Bi-Sn 솔더와 Au 사이의 계면에 매우 얇은 두께의 AuSn₂ 금속간 화합물이 조밀한 층으로 나타남을 확인하였으며 Au의 확산 계수 또한 $3 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 Pb-Sn 솔더나 다른 무연 솔더에 비해 매우 느리다고 보고하였다. 이와 같이 AuSn₄ 상이 아닌 AuSn₂ 상이 생성되는 것은 58Bi-42Sn 솔더가 유일하다고 보고하였다. 타 연구자들의 결과로 미루어 볼 때 본 연구에서도 Bi-Sn 솔더와 Au의 반응에 의해서 AuSn₂ 금속간 화합물이 우선적으로 생성된다는 결과는 타당성이 있다고 여겨진다. 그러나, AuSn₂ 금속간 화합물은 Bi-Sn 솔더와 Au 박판 사이에 조밀한 층으로 존재한다고 보고하였는데 본 연구에서와 같이 금속간 화합물이 솔더 내부에서 나타나는 원인 규명에 대한 추가 연구가 필요하리라 생각된다.

5. 결 론

100 μm 피치 이하의 극미세 플립 칩 공정에 적용할 수 있는 직경이 평균 46 μm 인 58Bi-42Sn 솔더 범프를 형성하고 Au/Ni/Ti UBM과의 반응을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 Bi-Sn 솔더 범프의 경우 리플로 공정 후에 UBM 계면 뿐만 아니라 솔더 내부 및 표면에서 많은 금속간 화합물을 관찰할 수 있었다. 금속간 화합물은 냉각속도가 느려질수록 솔더 내부와 표면에서 많이 관찰되었으며 표면에서는 facet 특성을 갖는 다각형의 금속간 화합물이 판상 형태로 존재하고 있었다. 이 금속간 화합물의 평균 조성비는 EDS로 확인한 결과 Au 9 at.%, Ni 8 at.%, Bi 14 at.%, Sn 69 at.%로 나타났다.

2. Au(0.4 μm)/Ni(2 μm)/Cu(13 μm)/BT 기판 위에 58Bi-42Sn 솔더를 소량 놓고 리플로 공정을 수행한 결과 생성된 금속간 화합물의 형태나 성분비가 극미세 Bi-Sn 솔더에서 생성된 금속간 화합물과 유사하여 동일한 상임을 확인하였다. 이 시편의 X-선 회절 분석 결과에서 AuSn₂ 상의 피크가 검출되어 Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 극미세 Bi-Sn 솔더 범프에서 생성된 금속간 화합물이(Au_xBi_yNi_{1-x-y})Sn₂ 상임을 확인하였다.

3. Au의 두께를 줄인 Au(0.025 μm)/Ni/Ti UBM 위의 극미세 Bi-Sn 솔더 범프에서는 facet 특성을 가진 다각형의 금속간 화합물은 관찰할 수 없었으며 UBM 계면에서 금속간 화합물 층이 나타났다.

4. Au(0.1 μm)/Ni/Ti UBM 위의 극미세 Bi-Sn 솔더 범프에서 (Au_xBi_yNi_{1-x-y})Sn₂ 금속간 화합물이 생성되는 이유는 액상 Bi-Sn 솔더에서의 낮은 Au의 고용 한계와 솔더 범프의 미세화에 따른 범프와 UBM 사이의 기하학적 구조에 따른 체적 비율 변화 등에 기인한 것으로 생각된다.

후 기

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

참고문헌

1. S. Barrett, <http://www.kns.com/prodserve/flipchip/products/roadmap.asp> (2003).
2. J. H. Lau, Flip Chip Technologies, p. 26, McGraw-Hill, New York (1995).
3. K. N. Tu and K. Zerg, Mater. Sci. Eng., R 34, 1 (2001).
4. K. Zerg and K. N. Tu, Mater. Sci. Eng., R 273, 1 (2002).
5. A. Prince, J. Less-Common Met., 12, 107, (1967).
6. D. M. Jacobson and G. Jumpston, Gold Bull., 22(1), 9 (1989).
7. B. L. Young and J. G. Duh, J. Electron. Mater., 30(7), 878 (2001).
8. S. Y. Jang and K. W. Paik, Proc. ECTC, 64 (2000).
9. P. G. Kim and K. N. Tu, Mater. Chem. Phys., 53, 165 (1998).