

시효 처리에 의한 42Sn-58Bi 솔더와 무전해 Ni-P/치환 Au UBM간의 계면 반응

조문기¹ · 이혁모^{1*} · 부성운² · 김태규²

한국과학기술원, *삼성종합기술원

Interfacial Reaction between 42Sn-58Bi Solder and Electroless Ni-P/Immersion Au UBM during Aging

Moon Gi Cho¹, Hyuck Mo Lee^{1*}, Seong Woon Booh², and Tae-Gyu Kim²

¹Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Kusung-Dong 373-1, Yuseong-Gu, Taejon, Korea 305-701

²Computational Science Engineering Center, Samsung Advanced Institute of Technology, P. O. Box 111, Suwon 440-600, Korea

초 록: 42Sn-58Bi 솔더(이하 wt.%에 의한 표기)와 무전해 Ni-P/치환 Au under bump metallurgy (UBM)간의 계면 반응을 intermetallic compound (IMC)의 형성과 성장, UBM의 감소, 그리고 범프 전단 강도의 영향 관점에서 시효 처리 전 후에 어떠한 변화가 생기는 지를 알아보려고 하였다. 치환 Au 층을 5 μm 두께의 무전해 Ni-P (14~15 at.% P) 위에 세 가지 각기 다른 두께, 즉 0 μm (순수한 무전해 Ni-P UBM), 0.1 μm , 1 μm 로 도금하였다. 그 후 42Sn-58Bi 솔더 범프를 세 가지 다른 UBM 구조에 스크린 프린팅 방식으로 형성하였다. 범프 형성 직후에는 세 가지 다른 UBM 구조에서 솔더와 UBM사이에 공통적으로 Ni_3Sn_4 IMC (IMC1) 만이 형성됐다. 하지만, 이를 125°C에서 시효 처리를 할 경우 특이하게 Au를 함유한 UBM 구조에서는 Ni_3Sn_4 위로 또 다른 4원계 화합물 (IMC2)이 관찰 되었다. 원자 비로 $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ 인 4원계 화합물로 확인되었다. $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ 층은 솔더 조인트의 접합성에 매우 치명적인 영향을 미쳤다. 시효 처리를 거친 Au를 함유한 UBM 구조에서 솔더 범프의 전단 강도 값은 시효 처리 전에 비해 40% 이상의 감소를 보였다.

Abstract: The interfacial reaction between 42Sn-58Bi solder (in wt.% unless specified otherwise) and electroless Ni-P/immersion Au has been investigated before and after thermal aging, with a focus on formation and growth of an intermetallic compound (IMC) layer, consumption of under bump metallurgy (UBM), and bump shear strength. The immersion Au layer with thicknesses of 0 (bare Ni), 0.1, and 1 μm was plated on the 5 μm thick electroless Ni-P (14~15 at.% P) layer. Then, the 42Sn-58Bi solder balls were fabricated on three different UBM structures by screen-printing and pre-reflow. The Ni_3Sn_4 layer (IMC1) was formed at the joint interface after pre-reflow for all the three UBM structures. On aging at 125°C, a quaternary phase (IMC2) was observed above the Ni_3Sn_4 layer in the Au-containing UBM structures, which was identified as $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ (in at.%). The thick $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ layer deteriorated the integrity of the solder joint and the shear strength of the solder bump was decreased by about 40% compared with non-aged joints.

Keywords: Sn-Bi solder bump, immersion Au UBM, $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ phase, consumption of UBM, solid state aging

*Corresponding author
E-mail: hmlee@kaist.ac.kr

1. 서 론

귀금속으로 많이 알려져 있는 Au는 우수한 전기적, 기계적 성질로 인해 전자 패키지 산업에 널리 사용되어 왔다. 그 단적인 예로 전자 부품들의 전기적 연결을 하는 wire bonding, solder bonding의 합금 재료로서 사용된다. Solder bonding으로 사용되는 솔더 합금은 고온용 솔더로서 그 적합성을 시험하고 있는 80Au-20Sn이 있다^{1,2)}. 또 다른 예로 Au는 전해 Cu/Ni/치환 Au, 무전해 Ni-P/치환 Au와 같이 UBM 구조에 적용되고 있다^{3,4)}.

일반적으로 IMC는 전자 부품의 공정 단계, reflow 중에, 액상 솔더와 UBM간의 계면 반응의 결과로 생성된다. 그 뿐 아니라 전자 부품의 사용 단계, 시효 중에도 고상 솔더와 UBM간의 계면 반응에 의해 IMC가 형성된다. 0.1 μm 의 두께의 치환 Au UBM은 42Sn-58Bi 나 63Sn-37Pb⁵⁻⁷⁾의 액상 솔더 내로 완전히 고용되어 특별한 IMC를 형성하지 않는다. 하지만 시효 동안에는 고상 솔더 내의 Au 고용도가 떨어져서 Au 원소들이 재 석출되어 주변의 솔더와 반응하여 AuSn₄나 (Au,Ni)Sn₄ 상을 형성한다⁸⁻¹³⁾. 특히 Au가 Ni의 산화를 막아주기 때문에 대부분의 경우 Ni UBM과 조합의 형태로 많이 적용되고 있다⁷⁾. 이럴 경우 (Au, Ni)Sn₄가 AuSn₄ 보다 더 잘 형성 되며, 열역학적으로도 AuSn₄보다는 (Au, Ni)Sn₄가 에너지적으로 더 안정하다는 보고도 있다⁸⁾.

본 연구에서는 무전해 Ni-P/치환 Au UBM과 42Sn-58Bi 솔더와의 계면 반응을 알아보려고 하였다. 42Sn-58Bi 솔더 합금은 Pb-free 솔더 재료의 하나

로서, 낮은 용점을 갖는 솔더 재료이다. 42Sn-58Bi 솔더 범프를 3가지 다른 UBM 구조 (순수한 무전해 Ni-P UBM, 무전해 Ni-P/치환 Au (0.1 μm) UBM, 무전해 Ni-P/치환 Au (1 μm) UBM)에 형성하고 125°C에서 1000시간까지 시효 처리를 실시하였다. 시효 처리 동안 세 경우에 대해 형성되는 IMC 상을 관찰하고 그것의 성장 거동을 관찰하였다. 또한 전단 실험을 실시하여 시효 처리 시 형성된 IMC가 솔더 범프의 전단 강도에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 실험방법

Al (1 μm)가 증착된 Si 웨이퍼 위에 직경 100 μm 의 둥근 형태의 Al 패드를 lithography 공정으로 패턴을 만든다. Al 패드 위에 zincate 전처리를 한 후, 다음의 3가지 형태의 UBM (순수한 무전해 Ni-P UBM (5 μm), 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm) UBM, 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (1 μm) UBM) 형성한다. 무전해 Ni-P UBM과 치환 Au UBM을 형성하는 과정은 Table 1과 같이 수행하였다. 또한 이때 무전해 Ni-P의 P함량은 14~15 at.%이다. 3가지 형태의 UBM 위에 42Sn-58Bi 솔더 페이스트를 이용하여 스크린 프린팅과 pre-reflow를 거쳐 Fig. 1과 같은 솔더 범프를 형성 한다. Pre-reflow는 플럭스 활성화를 110°C에서 1분, 녹는 점 이상의 시간을 1분, 최고 온도를 170°C로 두었다. 그 후 세 종류의 샘플을 125°C 열처리 오븐에 넣어 시효 처리를 수행하고, 시효 조건은 125 시간, 250 시간, 500 시간, 1000 시간 단위로 수행하였다.

Table 1. Electroless Ni-P/immersion Au Deposition Processes in an Al pad.

Process	Solution	Time	Deposition rate ($\mu\text{m}/\text{min}$)
Cleaning	HNO ₃ 50%	20 sec	-
Zincate pretreatment	ZnO, NaOH	20sec	-
Acid dipping	HNO ₃ 50%	5 sec	-
Double zincate	ZnO, NaOH	20 sec	-
Electroless Ni plating	NiSO ₄ · 6H ₂ O NaPH ₂ O ₂ · 6H ₂ O CH ₃ COONa Lactic acid Thiourea	20 min	0.25 $\mu\text{m}/\text{min}$
Immersion Au plating	Immersion Au solution	10 min (100min)	0.01 $\mu\text{m}/\text{min}$

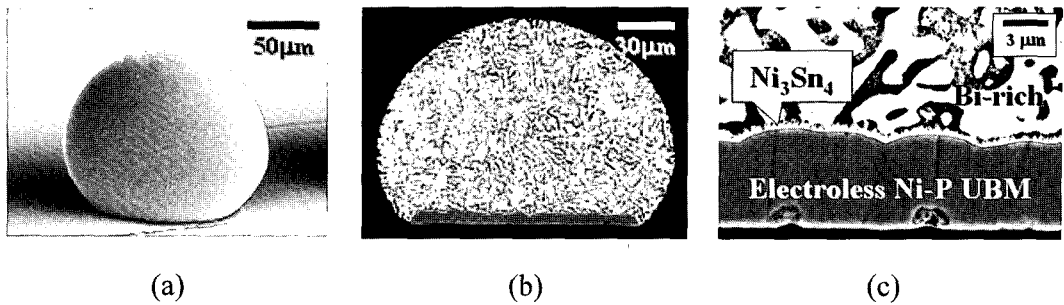


Fig. 1. (a) Screen-printed 42Sn-58Bi solder bump on electroless Ni-P UBM, (b) cross-sectioned SEM image of the 42Sn-58Bi solder bump, and (c) interface between 42Sn-58Bi solder and electroless Ni-P UBM after pre-reflow.

시효 처리 후에 미세 구조 관찰은 각 샘플의 단면을 통해 하였으며, 관찰을 쉽게 하기 위해 표면에 청 처리를 하였다. 미세 구조 관찰은 주로 scanning electron microscopy (SEM)를 통해 하였으며, IMC 상의 조성 분석은 SEM의 energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), electron probe micro analyzer (EPMA)의 wavelength dispersive X-ray spectrometer (WDS), X-ray diffractometer (XRD)를 이용하였다.

3. 결과 및 토의

Figure 2는 125°C 시효 처리를 1000시간 까지 수행한 솔더의 SEM 단면 사진이다. Sn-Bi 솔더의 공정 조직인 lamellar 구조가 시효 시간이 증가 됨에 따라 조대화 되고 있음을 쉽게 확인할 수 있다. 또한 각 UBM 구조에서 Sn-rich(어두운 부분) 영역과 Bi-rich(흰 부분) 영역으로 나뉘져 있음을 확인할 수 있다. 이 외에 솔더 내부에서는 어떠한 IMC도

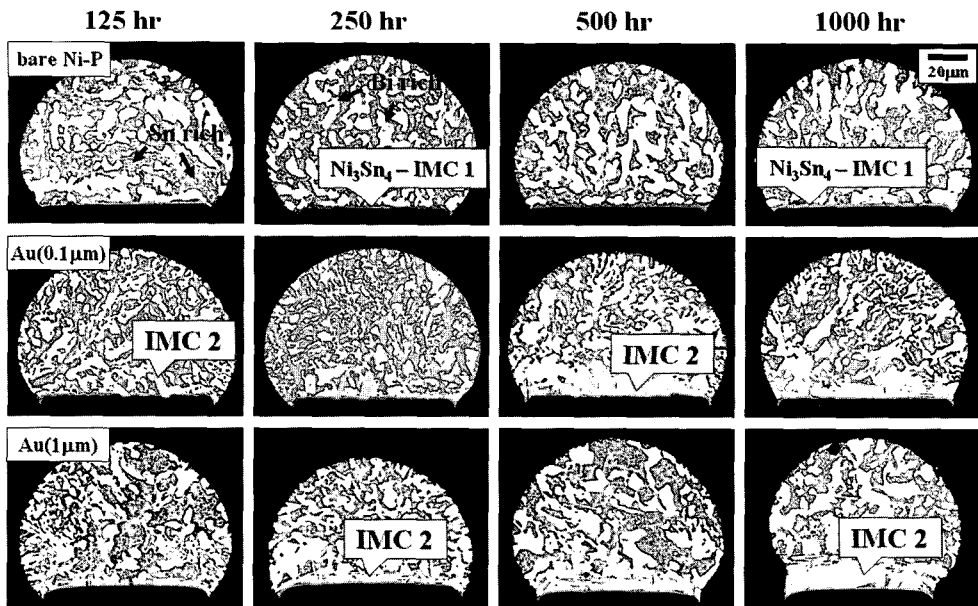


Fig. 2. Cross-sectioned SEM images of solder bump joints with three different UBM structures after solid state aging at 125°C for up to 1000 hr. IMC1 is identified as Ni₃Sn₄ and IMC2 is Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂. The UBM structure in the first row is bare electroless Ni-P while those in the second and third rows are electroless Ni-P (5 μm)/immersion Au (0.1 μm) and electroless Ni-P (5 μm)/immersion Au (1 μm), respectively.

관찰 할 수 없었다. 하지만 솔더와 UBM간의 계면에서는 계면 반응에 의해 형성된 IMC 층을 볼 수 있다. 이를 좀 더 쉽게 관찰하기 위해 Fig. 3과 같이 계면부분을 확대하여 관찰하였다. 일반적으로 reflow에 의해 Sn-Pb 솔더나 Sn-Bi 솔더와 무전해 Ni-P/치환 Au UBM간의 계면 생성물은 Ni₃Sn₄ IMC로 알려져 있다^{5,6}). 순수한 Ni-P (bare Ni-P)의 경우에는 57~58 at.% Sn과 42~43 at.% Ni을 원소로 갖는 Ni₃Sn₄ IMC이 계면에 형성되었다. 이를 Fig. 3과 같이 IMC1이라 명명하였다. 이 IMC1-Ni₃Sn₄는 치환 Au (0.1 μm, 1 μm) 층을 갖는 UBM과 Sn-Bi 솔더의 계면에서도 역시 동일하게 관찰되었다. 하지만, 치환 Au 층이 적용된 UBM 구조에서는 Ni₃Sn₄ 외에 그것과는 다른 조성을 갖는 또 다른 계면 IMC가 관찰되었다. 이를 Fig. 3과 같이 IMC2라 명명하였으며, 그것의 조성은 EDS 결과로부터 79~80 at.%의 Sn, 12~13 at.% Ni, 5~6 at.% Bi, 1~2 at.% Au로 확인되었다. IMC2상은 Au를 함유하는 화합물로 관찰되었다.

EDS 조성 분석 결과에 덧붙여 정확한 상 분석을 하기 위해 EPMA WDS 맵핑과 조성 분석을 수행하였다. Figure 4은 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm)를 1000 시간 시효 처리한 후 솔더와 UBM 계면 (IMC2 부분)을 WDS 맵핑한 사진이다. WDS 조성 분석 결과, EDS 결과와 비슷하게 IMC2

상이 77.5 at.%, 15 at.% Ni, 5.6 at.% Bi, 1.9 at.% Au, 4개의 원소로 이뤄진 화합물로서 확인되었다. IMC2 상은 Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂인 4원계 화합물로서 확인되었다. 그렇다면 이러한 4원계 화합물이 기존에 알려지지 않은 특이한 상인지를 좀 더 정확히 확인하기 위해 XRD 실험을 수행하였다. Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂라 관찰된 IMC2 부분에 XRD 패턴을 조사하였다. Figure 5(a)는 IMC2 부분의 XRD 패턴 결과이다. Figure 5(a)에서 표시한 것과 같이 Sn¹⁴⁾, Bi¹⁵⁾, Ni₃Sn₄¹⁶⁾의 XRD 패턴은 쉽게 확인된다. 하지만 Fig. 5(a)와 같이 화살표와 같이 6개의 새로운 피크들이 검출되며, 이 6개의 피크는 기존에 알려진 어떠한 상과도 일치하지 않는 것으로 확인되었다. 주목할 점은 Au를 함유한 다른 IMC 상, 가령 AuSn₂¹⁷⁾, AuSn₄¹⁸⁾, (Au,Ni)Sn₄¹⁹⁾ 상의 XRD 패턴과도 Fig. 5(b), (c), (d)와 같이 전혀 일치하지 않았다는 것이다. 따라서 새로운 피크들은 Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂ 상의 피크로 여겨진다.

순수한 Ni-P UBM에서는 오직 IMC1 만이 관찰된 반면, Au를 적용한 UBM 구조에서는 IMC1과 IMC2가 동시에 관찰되었다. 흥미로운 점은 IMC2 상인 Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂를 형성하는 데 단지 2 at.% Au만이 상형성에 참여한다는 것이다. Young et al.²⁰⁾ 은 42Sn-58Bi 솔더와 무전해 Ni-P (5.5 wt.% P, 12 wt.% P)/치환 Au UBM간의 계면 반응에서

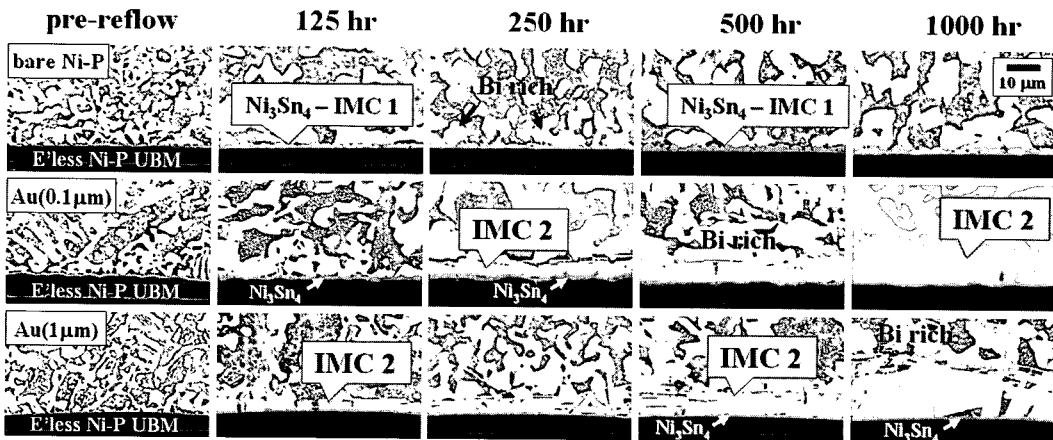


Fig. 3. Enlarged interfaces of 42Sn-58Bi solder joints with three different UBM structures after solid state aging at 125°C for up to 1000 hr. IMC1 is identified as Ni₃Sn₄ and IMC2 is Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂. The UBM structure in the first row is bare electroless Ni-P while those in the second and third rows are electroless Ni-P (5 μm)/immersion Au (0.1 μm) and electroless Ni-P (5 μm)/immersion Au (1 μm), respectively.

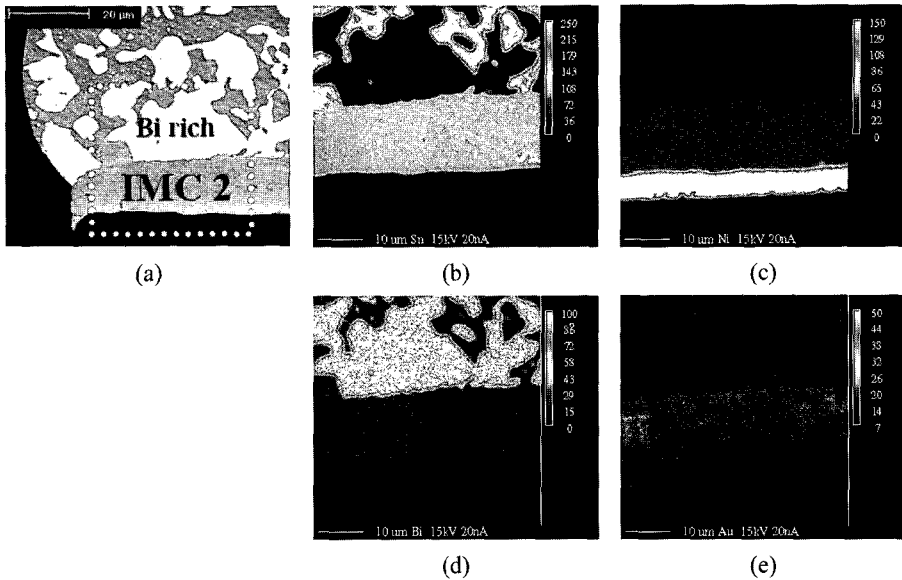


Fig. 4. WDS mapping images of the IMC2 phase at the joint interface after aging at 125°C for 1000 hr. The UBM was electroless Ni-P (5 μm)/immersion Au (0.1 μm). (a) SEM micrograph of the joint, (b) Sn mapping, (c) Ni mapping, (d) Bi mapping and (e) Au mapping.

110°C 시효 처리 후에 78~80 at.% Sn, 12~16 at.% Ni, 5~8 at.% Bi를 갖는 3원계 화합물이 관찰되었다고 보고 하였다. 조성 분석은 EPMA를 이용하였다. 그들도 역시 3원계 화합물 주변에서 평균적으로 0.68 at.%의 Au를 관찰하였다. 하지만 그들의 해석으로는 솔더 내로 녹아 든 Au가 검출되는 것으로 간주했다. 본 연구의 결과와 비교하여 그들의 Au 검출량이 더 작게 나온 이유가 무엇인지 정확하게 말할 수 없다. 하지만, Fig. 4(e)와 같이 IMC2 상의 Au 분포가 매우 균일하게 검출되는 점과 조성 분석 검출 부분인 IMC2 층이 매우 두껍다는 점으로 보아 IMC2 상이 2 at.% Au를 함유한 4원계 상임이 확실하다.

한편 Ti/Ni/Au UBM위에 42Sn-58Bi 극 미세 범프 (50 μm)를 형성하여 솔더 링의 냉각 속도 변화에 따른 미세 조직 변화를 관찰한 Kang과 Kim²¹⁾은 facet 특성을 보이는 IMC가 천천히 냉각된 솔더 범프와 조인트에서 발견 되었고 IMC의 XRD 결과 AuSn₂ 계의 (Au,Bi,Ni)Sn₂ 상이라 보고했다. 이러한 IMC 상들은 솔더 안쪽뿐 아니라, 계면에서도 관찰되었다. 그들의 연구 결과와는 다르게 본 연구에서는 Fig. 5(a)와 5(b)의 XRD 결과에서와 같이 (Au, Ni, Bi)Sn₂ 상이 관찰되지 않았으며,

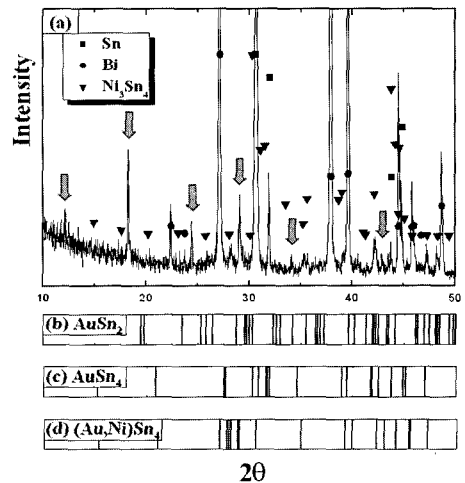


Fig. 5. (a) XRD patterns of the IMC2 region, (b) calculated XRD patterns of AuSn₂ from Ref. [17], (c) calculated XRD patterns of AuSn₄ from Ref. [18] and (d) calculated XRD patterns of (Au,Ni)Sn₄ from Ref. [19].

특이하게 관찰되었던 IMC2 도 AuSn₂ 계와는 무관한 상으로 확인되었다. 이러한 차이에 대해 아직 명확하게 말할 수 없지만, 그들의 연구에서 적용되었던 전해 Ni 층과 상대적으로 느린 냉각 속

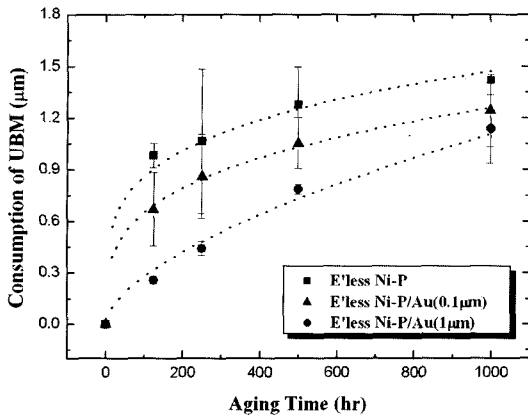


Fig. 6. Consumption of UBM during solid state aging compared with the pre-reflow condition.

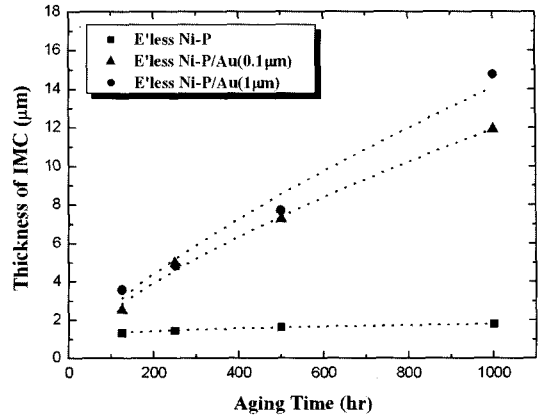


Fig. 7. Growth of the IMC layer (both IMC1 and IMC2) during solid state aging compared with the pre-reflow condition.

도가 이러한 차이를 나타낸 것으로 여겨진다.

Figure 6는 pre-reflow 직후와 비교하여 시효 처리 동안에 UBM의 감소 정도를 보여주는 그래프이다. 세 가지 UBM에서 공통적으로 시효 처리가 진행됨에 따라 UBM이 감소되고 있는 것을 확인할 수 있다. 그런데 UBM의 감소 정도가 순수한 Ni-P UBM에서 가장 크고 그 다음 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm), 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (1 μm)의 순으로 작아졌다. Figure 7은 pre-reflow 직후를 기준으로 시효 처리 동안에 IMC 층 (IMC1과 IMC2)의 증가 정도를 보여주는 그래프이다. 여기서는 순수한 Ni-P UBM에서 IMC 증가 정도가 가장 작고 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm), 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (1 μm)의 순으로 커졌다. 흥미로운 사실은 순수한 Ni-P UBM 위에서의 솔더 범프가 가장 큰 UBM 감소 정도를 보였으며 동시에 가장 작은 IMC 성장 정도를 보였다는 점이다. 이런 결과들은 서로 상충되어 보이지만 그 원인은 각각의 UBM에서 형성되는 IMC 상이 다르기 때문이다. 즉 순수한 Ni-P UBM의 경우에는 형성되는 IMC 층이 오직 Ni₃Sn₄ (IMC1) 상뿐이고 치환 Au를 적용한 UBM에서는 IMC1 외에 IMC2 상을 형성하기 때문이다. 앞서 Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂로서 확인되는 Au를 함유한 IMC2 상은 Au가 적용된 UBM 구조에서 매우 우세하게 성장하는 것으로 관찰되었다. 즉 주변의 Sn 원소를 소모하면서 빠르게 그리고 두껍게 성장하는 것을 확인하였다. Figure 3과 같이 IMC2 상은 Ni₃Sn₄

(IMC1)상에 비해 매우 두껍다. 그러므로 치환 Au가 적용된 UBM 구조에서의 IMC 층의 두께 성장은 순수한 Ni-P UBM의 경우보다 크게 나타난다. 반면에 UBM의 감소 측면에서는 IMC2, Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂ 상이 IMC1 상인 Ni₃Sn₄ 상보다 원자 비로 더 적은 양의 Ni을 필요로 한다. 따라서 치환 Au가 적용된 UBM 구조에서의 UBM의 감소가 순수한 Ni-P UBM의 경우보다 작게 나타난다.

무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm)의 전형적인 UBM 구조 위에 42Sn-58Bi 솔더 범프 형성 후, 1000 시간까지 시효 처리한 샘플에 대해 전단 실험을 수행하였다. Figure 8과 같이 pre-reflow 직후

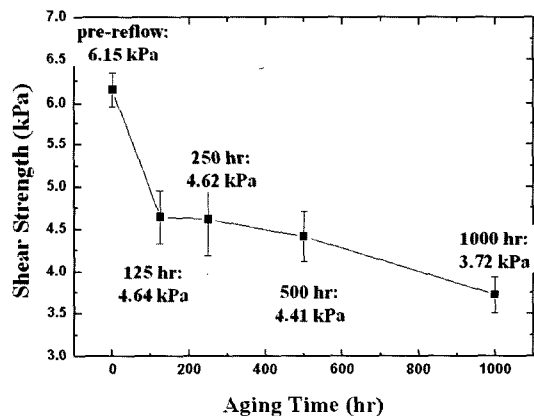


Fig. 8. Variation of shear strength of 42Sn-58Bi solder bump on electroless Ni-P/immersion Au (0.1 μm) with aging time.

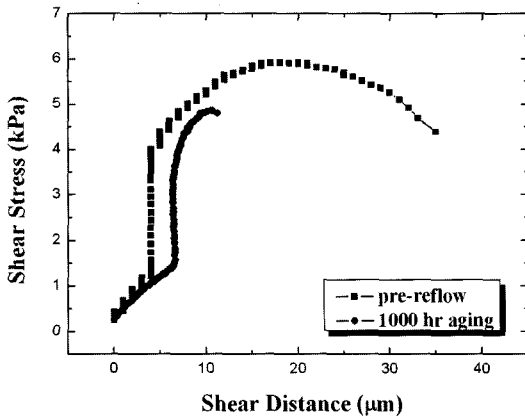


Fig. 9. Plot of shear stress and shear distance measured as the stylus moved through the solder bump. Two conditions of pre-reflow and 1000 hr aging were used.

의 전단 강도 값이 6.15 kPa을 나타냄에 비해 1000 시간 시효 처리를 할 경우 3.72 kPa로 초기에 비해 약 40% 정도의 감소를 나타냈다. 여기서 전단 강도란 전단 실험 시 솔더가 파괴될 때 가리키는 최고 전단 응력 값을 말한다. 전단 강도 값의 큰 감소 원인을 살펴보기 위해 Fig. 9와 같이 전단 실험 중 솔더가 전단되는 거리에 대한 전단 응력 값을 그래프로 나타내었다. Figure 9에서 X 축은 stylus가 솔더 범프를 전단하면서 움직이는 거리를 의미하고, Y 축은 그때 걸리는 솔더 범프의 전단 응력을 의미한다. Pre-reflow 후의 솔더 범프는 전단 시 stylus의 움직임을 저항하면서 변형되다가 파괴됐

다. 하지만, 1000시간 시효 처리 후에는 솔더 범프가 stylus의 움직임을 초기 순간에만 저항하다가 순간적으로 파괴가 일어났다.

전단 실험 후에 파단 면 관찰을 Fig. 10과 같이 진행 하였다. Figure 10을 통해 Pre-reflow 조건의 전단 파단 후의 표면은 거칠어 보이며, 조성 분석을 통해 파단 위치가 솔더 안에서 일어났음을 확인하였다. 반면, 1000시간 시효 처리 후의 파단 표면은 매우 깨끗했으며, 조성 분석을 통해 파단 위치가 IMC 상 위에서 일어났음을 확인하였다. 파단 표면 관찰로부터 시효 처리에 의한 전단 강도의 큰 감소는 Sn₇₇Ni₁₅Bi₆Au₂, IMC2 상의 형성으로 인한 것임을 알 수 있다. 일반적으로 두껍게 형성되는 계면 IMC는 그 특성이 매우 단단(brittle)하여 상대적으로 연한(ductile) 솔더 범프와 IMC간의 접합력을 크게 떨어뜨리게 된다²²⁾. 그러므로 시효 처리 후 무전해 Ni-P/치환 Au UBM을 갖은 솔더 조인트에 전단 실험을 실시하면, 전단 파괴가 IMC 층 계면을 따라 발생하며 결과적으로 전단 강도가 크게 감소하게 된다.

4. 결 론

시효 처리 후의 무전해 Ni-P/치환 Au UBM과 42Sn-58Bi 솔더와의 계면 반응을 알아보려고 하였다. 순수한 Ni-P UBM (bare Ni-P)의 경우의 계면에 형성되는 IMC 상은 Ni₃Sn₄ 상이었다. Ni₃Sn₄ 상은 치환 Au (0.1 μm, 1 μm) 층을 갖는 UBM과 Sn-

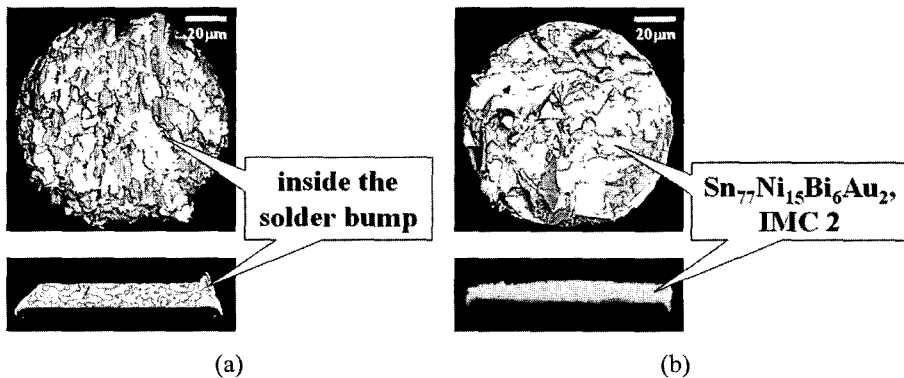


Fig. 10. Top-view and cross-sectional images of the fracture surface after the bump shear test: (a) pre-reflow and (b) 1000 hr aging.

Bi 솔더의 계면에서도 역시 동일하게 관찰되었지만, 이외에 $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ (IMC 2라 명명)로 확인되는 4원계 화합물이 관찰되었다.

UBM의 감소 정도가 순수한 Ni-P UBM에서 가장 크고 그 다음 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm), 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (1 μm)의 순으로 작아졌다. IMC의 증가 정도 (IMC1과 IMC2)는 순수한 Ni-P UBM에서 가장 작고 그 다음 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm), 무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (1 μm)의 순으로 커졌다. $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$ 로서 확인되는 Au를 함유한 IMC2 층은 Ni_3Sn_4 (IMC1) 층에 비해 매우 두껍게 형성되었다. 따라서 치환 Au가 적용된 UBM 구조에서 IMC 층 총 두께의 성장은 순수한 Ni-P UBM의 경우보다 크게 나타난다. 반면 IMC 2층이 Ni_3Sn_4 에 비해 상대적인 Ni 소모가 적어 UBM의 감소 정도는 치환 Au가 적용된 UBM 구조에서 작게 나타난다.

무전해 Ni-P (5 μm)/치환 Au (0.1 μm)의 전형적인 UBM 구조 위에 Sn58Bi 솔더 범프 후, 1000 시간까지 시효 처리한 샘플에 대해 전단 실험을 수행하였다. 시효 처리 후에 두껍게 형성된 $\text{Sn}_{77}\text{Ni}_{15}\text{Bi}_6\text{Au}_2$, IMC2 층은 IMC 층의 계면을 따라 발생하는 파괴의 원인으로 작용하며, 전단 강도를 크게 떨어뜨렸다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 전자 패키지 재료 연구 센터의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. J.H. Kim, S.W. Jeong and H.M. Lee, "Thermodynamics-Aided Alloy Design and Evaluation of Pb-free Solders for High-Temperature Applications", *Mater. Trans.* 43, 1873 (2002).
2. S.S. Kim, J.H. Kim, S.W. Booh, T.G. Kim and H.M. Lee, submitted to *Mater. Trans.* (2005).
3. T.A. Powers, T.J. Singer and J.A. Clum, "Role of Tin Content in the Wetting of Cu and Au by Tin-Bismuth Solders", *J. Electron. Mater.* 23, 773 (1994).
4. R.B. Cinque and J.W. Morris, Jr., "The Effect of Gold-Nickel Metallization Microstructure on Fluxless Soldering", *J. Electron. Mater.* 23, 533 (1994).
5. B.-L. Young and J.-G. Duh, "Interfacial Reaction and Microstructural Evolution for Electroplated Ni and Electroless Ni in the Under Bump Metallurgy with 42Sn58Bi Solder during Annealing", *J. Electron. Mater.* 30, 878 (2001).
6. C.-S. Huang, J.-H. Yeh, B.-L. Young and J.-G. Duh, "Phenomena of Electroless Ni-P and Intermetallic-Compound Stripping and Dissolving in Sn-Bi and Sn-Pb Solder Joints with Au/EN/Cu Metallization", *J. Electron. Mater.* 31, 1230 (2002).
7. C.Y. Lee and K.L. Lin, "Solderability of Electroless Nickels Alloys Using Wetting Balance Technique", *Jpn. J. Appl. Phys.* 33, 4708 (1994).
8. K. Zeng and K.N. Tu, "Six Cases of Reliability Study of Pb-free Solder Joints in Electronic Packaging Technology", *Mater. Sci. Eng. R* 38, 55 (2002).
9. K.Y. Lee and M. Li, "Interfacial Microstructure Evolution in Pb-Free Solder Systems", *J. Electron. Mater.* 32, 906 (2003).
10. K.Y. Lee, M. Li, and K.N. Tu, "Growth and ripening of (Au,Ni)Sn₄ phase in Pb-free and Pb-containing solders on Ni/Au metallization", *J. Mater. Res.* 18, 2562 (2003).
11. C.M. Liu, C.E. Ho, W.T. Chen and C.R. Kao, "Reflow Soldering and Isothermal Solid-State Aging of Sn-Ag Eutectic Solder on Au/Ni Surface Finish", *J. Electron. Mater.* 30, 1152 (2001).
12. C.E. Ho, W.T. Chen and C.R. Kao, "Interactions between Solder and Metallization During Long-Term Aging of Advanced Microelectronic Packages", *J. Electron. Mater.* 30, 379 (2001).
13. K.Y. Lee and M. Li, "Formation of Intermetallic Compounds in SnPbAg, SnAg, and SnAgCu Solders on Ni/Au Metallization", *Metall. Mater. Trans.* 32A, 2666 (2001).
14. V.T. Deshpande and D.B. Sirdeshmukh, "Thermal expansion of tin in the b-g transition region", *Acta Crystallogr.* 15, 294 (1962).
15. P. Cucka and C.S. Barrett, "The crystal structure of Bi and of solid solutions of Pb, Sn, Sb and Te in Bi", *Acta Crystallogr.* 15, 865 (1962).
16. H. Nowotny and K. Schubert, *Z. Metallkde.* 37, 23 (1946).
17. K. Schubert, *Z. Metallkde.* 50, 146 (1959).
18. K. Schubert and U. Rosler, *Z. Metallkde.* 41, 298 (1950).
19. L. Zavalij, A. Zribi, R.R. Chromik, S. Pitely, P.Y. Zavalij, and E.J. Cotts, "Crystal structure of Au Ni Sn intermetallic alloys", *J. Alloys Compd.* 334, 79 (2002).
20. B.-L. Young, J.-G. Duh and G.-Y. Jang, "Compound

- Formation for Electroplated Ni and Electroless Ni in the Under-Bump Metallurgy with Sn-58Bi Solder during Aging”, *J. Electron. Mater.* 32, 1463 (2003).
21. U.-B. Kang and Y.-H. Kim, “The Microstructure Characterization of Ultrasmall Eutectic Bi-Sn Solder Bumps on Au/Cu/Ti and Au/Ni/Ti Under-Bump Metallization”, *J. Electron. Mater.* 33, 61 (2004).
 22. D.R. Frear, F.M. Hosking and P.T. Vianco, “Mechanical Behavior of Solder Joint Interfacial Intermetallics”, *Proceedings of Materials Developments in Microelectronic Packaging Conference* (Materials Park, OH: ASM International 1991), pp. 229.