

# 무연 솔더 범프의 신뢰도 평가와 솔더계면 분석에 관한 연구

박세훈, 김영호  
한양대학교 재료공학과

## Studies on reliability of Lead-free solder bumps and analysis of solder joints

Se-Hoon Park, Young-Ho Kim  
Department of Materials Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791,  
SOUTH KOREA  
E-mail: ppeople@hanmail.net, kimyh@hanyang.ac.kr  
Phone: 82-2-2290-0405, Fax: 82-2-2293-7445

### 1. 서론

최근들어 기존에 패키징 재료로 쓰이던 납에 대한 환경 유해성이 문제가 되고 있는 실정  
이므로 위의 재료를 대체하기 위한 무연 솔더재료에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 이중  
Sn-Ag계 솔더는 내식성과 기계적 성질이 우수하여 기존의 Pb-Sn계 솔더를 대체할 재료로  
많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 Sn 함량이 많은 Sn-Ag계의 무연솔더 재료는 용점이  
매우 높으므로 리플로 공정이나 수리(rework) 공정에서 Sn과 금속 패드사이의 반응으로 솔  
더 접합부에 매우 brittle한 금속간 화합물이 과다하게 성장하여 신뢰도를 저하시키는 문제  
점이 나타날 수 있다. 따라서 솔더 접합부에서 생기는 금속간 화합물과 이들의 성장이 신뢰  
도에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 중요하다. 본 연구에서는 솔더 범프를 형성함에 있어  
서 원하는 부위에 솔더범프 형성이 용이하고 3상 이상의 솔더범프 제조가 가능한 스텐실 프  
린팅 방법으로 DC magnetron sputtering으로 제조한 Au/Ni(1 $\mu$ m)/Ti구조의 UBM(Under  
Bump Metallurgy)위에 Sn-3.5Ag와 Sn-3.5Ag-0.7Cu 2가지의 솔더범프를 형성한 후 리플로  
회수에 따른 금속간 화합물의 생성과 성장이 신뢰도에 미치는 영향을 조사하였다. 위에서  
언급한 2가지 솔더 재료를 가지고 리플로 회수에 따른 금속간 화합물의 성장을 비교하였으  
며 솔더불 전단강도 실시 후 나타나는 파괴모드를 분석하였다.

### 2. 실험 방법

5 cm x 5 cm 실리콘 기판 위에 RF 플라즈마로 웨이퍼를 세척한 후 DC magnetron  
sputtering 방법으로 Au(100 nm, 산화 방지막)/Ni(1000 nm, 솔더 젖음층)/Ti(50 nm, 접착  
층) 의 박막을 연속적으로 증착한 후 photo-litho공정과 습식 에칭으로 110  $\mu$ m 크기의 팔각  
모양의 UBM(Under Bump Metallurgy)을 제작하였다. 위에서 제조한 UBM위에 스텐실 프  
린팅 방법으로 Indium사에서 제조한 no clean 플러스의 타입 5(15-25  $\mu$ m)의 공정조성의  
Sn-3.5Ag, Sn-3.8Ag-0.7Cu의 솔더범프를 형성한 뒤 대기중에서 그림 1과 같은 온도조건에

서 리플로를 실시하여 솔더 불을 형성하였다. Sn-3.5Ag솔더의 경우는 용융점 이상의 온도에서 약 69초, 최고온도는 251 °C이며 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 경우는 용융점 이상의 온도에서 약 100초, 최고온도는 251 °C의 조건에서 실험을 하였다. 리플로 공정은 실제 공정에서의 솔더불 형성과 칩 본딩 공정, 수리공정(rework)을 모사하기 위해 1, 3, 5, 10회의 리플로를 실시하였고 다단계 리플로 후의 솔더의 접합 강도를 측정하기 위해 BT-2400 Bond tester를 이용하여 약 600여 개의 솔더가 있는 unit에 임의로 30여 개의 솔더를 추출하여 전단강도를 측정하였다. 전단시험 시 팁과 시편사이의 거리는 10  $\mu\text{m}$ , 팁의 속도는 0.11 mm/s로 하였다. 리플로 후에 단면 시편을 제조하여 에칭한 후 주사현미경(SEM)으로 리플로 회수마다 금속간 화합물의 두께성장과 전단시험 후 파단면을 관찰하였으며 Energy Dispersive X-ray Spectroscopy(EDS)로 솔더 계면과 솔더내의 성분, 파단면의 성분을 조사하였다. 금속간 화합물의 두께는 이미지 통해 금속간 화합물의 면적과 밀변의 길이와의 관계를 통해 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) Sn-3.5Ag솔더와 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 전단력 시험

그림2에서는 본 시편을 가지고 리플로를 1, 3, 5, 10회 실시한 후 전단시험 후 얻은 전단력의 값을 보여주고 있다. 리플로 3회까지는 두 시편 모두 전단력이 감소되지 않고 있으나 Sn-3.5Ag솔더 시편의 경우 리플로 5회부터 급격한 감소를 보이며 리플로 10회에서는 더욱 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더 시편의 경우는 리플로 5회까지 전단력이 감소되지 않았으며 리플로 10회에서 약간의 감소가 보였다. 이에 대한 분석을 하기 위해 파단면을 SEM으로 관찰을 하였다. 그림3은 Sn-3.5Ag솔더의 전단시험 후의 파단면을 보여주고 그림4는 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 파단면을 보여주고 있다. 각각의 파단면의 형태는 SEM관찰 결과 크게 3가지로 분류할 수 있었다. 그림4 에서 보는 바와 같이 Sn-3.5Ag솔더의 파단면의 경우 솔더가 금속 패드위에 남아있는 경우를 파괴모드 A, 솔더가 금속 패드위에 어느 정도 남아있으며 Ni이 보이는 경우를 파괴모드 B, 금속패드가 거의 드러나 있는 경우를 파괴모드 C로 분류하였다. 그림5는 리플로 회수에 따른 두 솔더의 파괴모드의 비를 보여주고 있다. 그림5에서와 같이 리플로 1회부터 3회까지는 파괴모드가 A와 B가 주를 이루었고 리플로 5회부터 10회까지는 모두 파괴모드 C의 형태를 보였다. 파단면을 EDS로 분석한 결과 리플로 5회부터 나타나는 모드 C에서의 금속층은 Ni의 하부층인 Ti이었다. 이는 높은 리플로 온도 때문에 리플로 5회에서는 Ni이 거의 소모되었음을 의미하며 전단력의 감소를 잘 설명해준다. 또한 리플로 10회에서 전단력이 더욱 감소하는 것은 Ni이 모두 소모되었기 때문일 것이다. Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더 역시 크게 3가지로 파괴모드를 분류할 수 있었는데 (그림4)파괴모드 A와 B는 위에서 언급한 Sn-3.5Ag솔더와 같으며 리플로 10회에서 나타나는 파괴모드는 위에서의 파괴모드 C와는 다른 형태를 보였다. 이를 구분하기 위해 파괴모드를 C-1로 구분하였다. Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 경우 리플로 5회까지는 파괴모드 A와B가 주를 이루었으며 전단력이 감소하지 않았고 리플로10회에서 전단력의 감소를 보였다. 리플로 10회에서의 파괴모드 C-1의 성분을 EDS로 분석한 결과 파단면의 금속층은 Ni이었다. 즉, 두 솔더의 전단력 결과를 분석해볼 때 Sn-3.5Ag솔더의 경우 리플로 회수가 증가함에 따라 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더보다 Sn과 Ni의 반응이 매우 빠르게 진행되어 Ni의 소모속도가 훨씬 큼을 의미한다. S.K.Kang등의 실험에서도 본 실험과 유사한 250 °C 열처리공정에서 Ni의 소모속도는 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더보다 Sn-3.5Ag솔더구조에서 Ni의 소모속도가 더 크다

는 보고가 있다.[1] 또한 Ni이 모두 소모되지 않는 두께로 열처리 시 두 솔더의 전단력을 비교하면 전단력은 Sn-3.8Ag-0.7Cu의 경우가 더 크다는 보고가 있었으나 본 실험에서는 확인 할 수 없었다.[2]

#### (2) 솔더계면의 미세구조 관찰

솔더계면을 관찰하기 위해 각 솔더의 단면 시편을 제조하였다. 리플로 1회 후 솔더가 형성된 전체 모양을 그림 6과 7에 나타내었다. Ag-rich 상은 이는 이미 다른 문헌에 보고된 바와 같이 Sn-Ag계 솔더는 공정조성의 Sn-Pb 솔더와는 다르게 Ag상이 솔더내에 전체적으로 균일하게 분포하는 것을 볼 수 있다.[3] 그림 6과 7의 SEM이미지를 보면  $Ag_3Sn$ 상이 가지상으로 Sn-3.5Ag와 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더 내에 분포 되어있는 것을 볼 수 있다. 솔더계면 쪽에는 각각  $Ni_3Sn_4$ 상과  $(NiCu)_6Sn_5$ 의 금속간 화합물이 성장해있고 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 경우  $Ag_3Sn$ 상의 금속간 화합물이 큰 침상구조로 형성되어 있었음을 SEM이미지와 EDS결과로 확인할 수 있었다. 그림 8과 9는 리플로 1회 후의 각각 두 솔더계면을 확대한 모습이다. 리플로 회수 10회까지의 단면시편을 제조하여 두 솔더계면에 생기는 금속간 화합물의 두께를 측정 한 결과를 그림10에서 나타내었다. 금속간 화합물의 두께는 Ni과 Sn-3.5Ag솔더에서 생기는  $Ni_3Sn_4$ 의 성장이 더 컸으며 이에 따른 Ni 소모량과의 관계는 고찰이 필요할 것이다. Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더내의 Cu는 리플로시 Cu-Ni-Sn의 금속간 화합물을 형성하기 위해 솔더/Ni계면으로 확산해 가는데 이때 솔더 내의 Cu의 양이 매우 적고 Ni과 Cu의 상호작용으로 Cu-Ni-Sn의 금속간 화합물의 성장 속도는 느리다고 보고된 바 있다.[4]

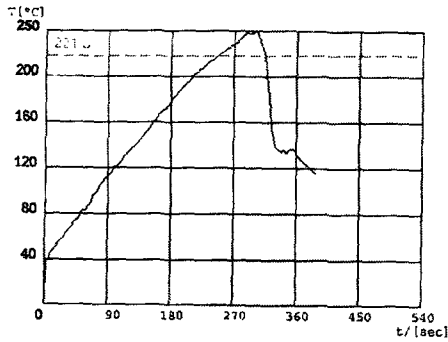
### 4. 결론

- (1) 리플로 5회에서 직류 마그네트론 스퍼터링으로 형성된 Au/Ni(1000 nm) UBM위에 Sn-3.5Ag솔더의 전단력의 감소는 Ni의 소모와 관련이 있음을 파단면을 통해 알 수 있었다.
- (2) 본 실험 조건에서는 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 경우가 Sn-3.5Ag솔더에 비해 리플로 회수가 증가할수록 안정한 전단력을 보였으며 리플로 10회의 파단면을 관찰한 결과 솔더/Ni층의 계면에서 파괴가 일어났다.
- (3) 본 실험의 리플로 온도 조건에서는 Sn-3.5Ag 솔더보다 Sn-3.8Ag-0.7Cu 솔더의 금속간 화합물의 성장 속도가 더 느렸다.
- (4) Sn-3.5Ag 솔더내에는  $Ag_3Sn$ 상이 솔더계면에는  $Ni_3Sn_4$ 의 금속간 화합물이 관찰되었으며 Sn-3.5Ag-Cu 솔더내에는 큰 침상구조의  $Ag_3Sn$ 상과 솔더계면에는  $(NiCu)_6Sn_5$ 의 금속간 화합물이 관찰되었다.

### 5. 참고문헌

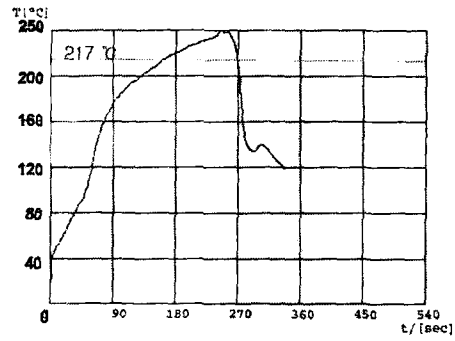
- [1] S.K.Kang, D.Y.Shih, K. Fogel, P. Lauro, M.J.Yim "Interfacial Reaction Studies on Lead(Pb)-Free Solder Alloys", Electronic Components & Technology Conference(ECTC), 2001 Proc, 51st, Orlando, Flprida, USA, pp448-454
- [2] Li-Lei Ye, Zonghe Lai, Jhan Liu and Anders Tholen, "Microstructural Coarsening of Lead Free Solder Joints During Thermal Cycling", Electronic Components & Technology Conference(ECTC), 2000 proc, pp 134-136
- [3] Robert Darveaux and Kingshhuk Banerji, "Constitutive Relations for Tin-Based-Solder Joints", 1992 IEEE pp544

[4] K.Zeng, V. Vurorien, J.K.Kivilahti, "Intermetallic Reaction between Lead-Free SnAgCu Solder and Ni(P)/Au Surface Finish on PWBs, Electronic Components & Technology Conference(ECTC), 2001 Proc, 51st, Orlando, Florida, USA, pp 693-697



(a) Sn-3.5Ag 솔더

Eutectic temperature	221 °C
Eutectic temperature 이상에서 유지시간	약 69초
Peak temperature	251 °C



(b) Sn-3.8Ag-0.7Cu 솔더

Eutectic temperature	217 °C
Eutectic temperature 이상에서 유지시간	약 100 초
Peak temperature	251 °C

그림1 리플로 온도 조건

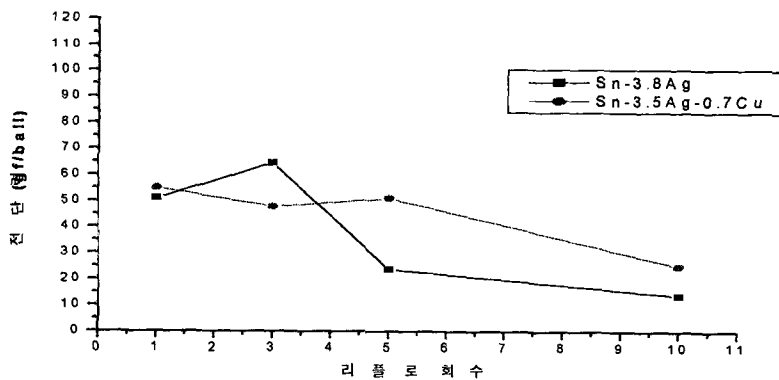
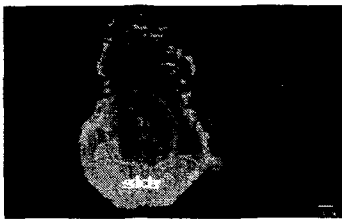
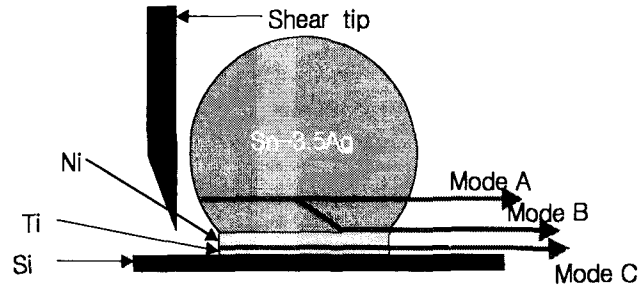
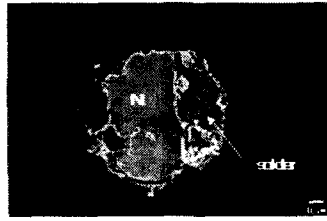


그림 2 리플로 회수에 따른 전단력 시험 결과



(a) 파괴모드 A

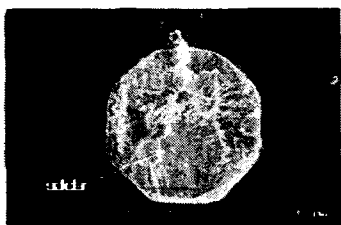
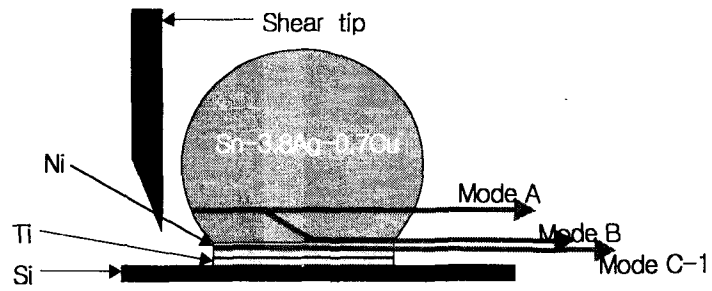


(b) 파괴모드 B



(C) 파괴모드 C

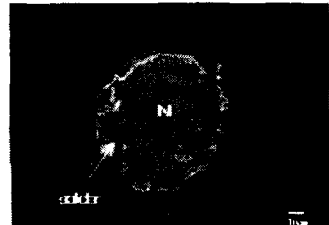
그림 3 Sn-3.5Ag솔더의 파괴모드



(a) 파괴모드 A

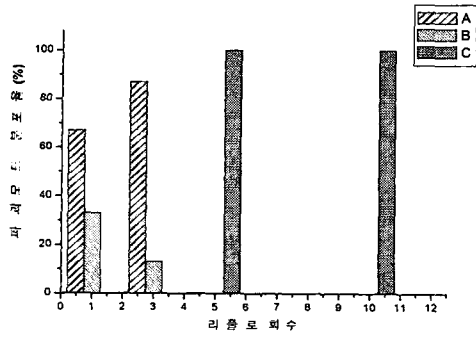


(b) 파괴모드 B

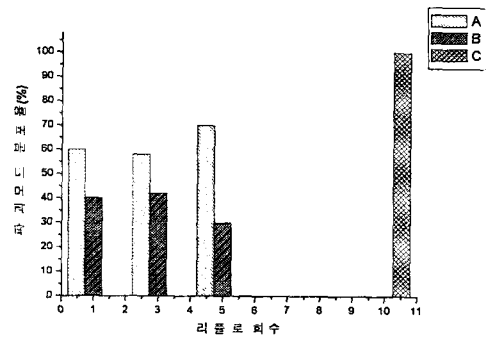


(C) 파괴모드 C-1

그림4 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 파괴모드



(a) Sn-3.5Ag 솔더의 파괴모드 비



(b) Sn-3.8Ag-0.7Cu 솔더의 파괴모드비

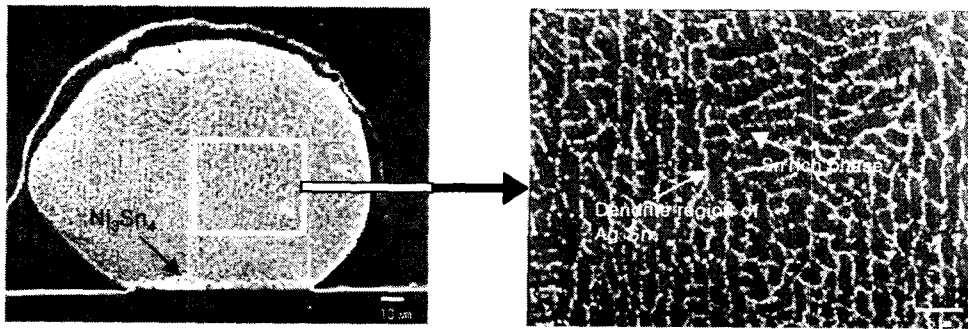


그림 6 Sn-3.5Ag 솔더의 단면 SEM 이미지

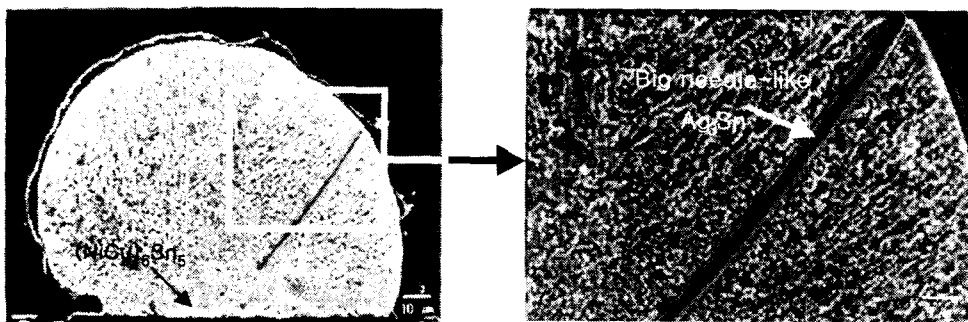
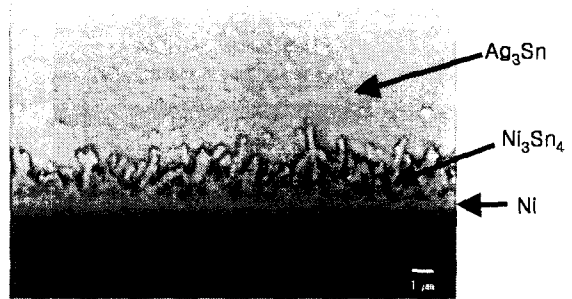


그림 7 Sn-3.8Ag-0.7Cu 솔더의 단면 SEM 이미지

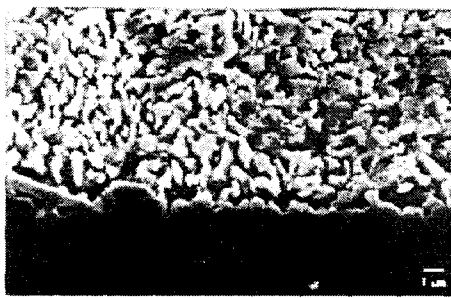


(a) Second Electron Image

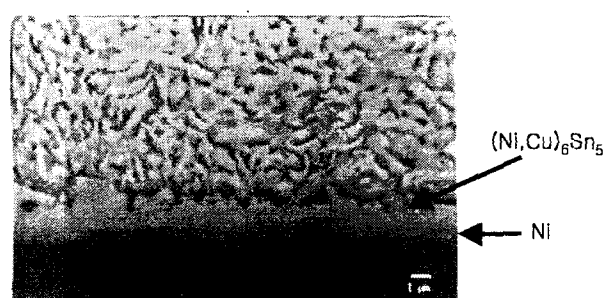


(b) Back Scattered Electron Image

그림6 Sn-3.5Ag솔더의 단면SEM 이미지



(a) Second Electron Image



(b) Back Scattered Electron Image

그림7 Sn-3.8Ag-0.7Cu솔더의 단면SEM 이미지

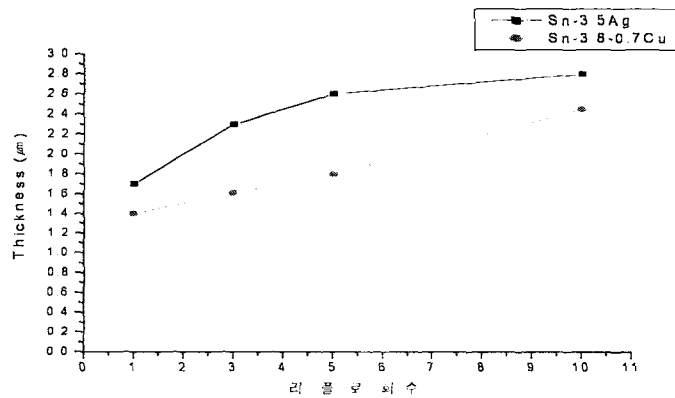


그림 8 리플로 회수에 대한 금속간 화합물의 두께 변화