

## 가속화 시험을 통한 플립칩 패키지의 열적 기계적 특성 평가

### Thermo-mechanical reliability evaluation of flip chip package using a accelerated test

김 대곤\*, 하 상수\*, 김 종웅\*, 신영의\*\*, 정승부\*

\* 성균관대학교, 신소재공학부

\*\* 중앙대학교, 기계공학부

**ABSTRACT** The microstructural investigation and thermo-mechanical reliability evaluation of the Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bumped flip chip package were carried out during the thermal shock test of the package. In the initial reaction, the reaction product between the solder and Cu mini bump of chip side was Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> layer, while the two phases which were (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> and (Ni,Cu)<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> were formed between the solder and Ni-P layer of the package side. The cracks were occurred at the corner solder joints after the thermal shocks of 400 cycles. The primary failure mechanism of the solder joints in this type of package was confirmed to be thermally activated solder fatigue failure.

## 1. 서 론

전자 제품의 고성능화에 따라 전자 패키지가 보다 미세 피치화 및 다핀화의 경향으로 나아가고 있는 것은 주지의 사실이다. 특별히 IC 패키지의 경우, 이른바 초기 삽입실장형 패키지인 DIP (Dual In-line Package), PGA (Pin Grid Array) 등의 형태에서 크기가 작고 전기적 성능이 우수한 표면실장 (Surface Mount Technology) 형태로 진화하였고 동시에, 표면실장용 패키지로써는 초기의 QFP (Quad Flat Package)등의 주변실장 (peripheral array)형에서 BGA (Ball Grid Array), CSP (Chip Scale Package) 및 FC (Flip Chip)등의 면실장 (area array)의 형태로 발전을 지속하여 왔다.

다양한 종류의 플립칩 패키지의 발달 및 중요성 인식으로 전세계 기업과 연구소에 많은 노력을 기울여 왔지만, 플립칩 패키지의 열적 기계적 특성 평가 혹은 신뢰성 평가에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 유연솔더 뿐만아니라 무연 솔더가 적용된 플립칩 패키지를 제작

하여 신뢰성평가 항목 중의 하나인 열충격 시험을 수행한 후 열충격 사이클에 따른 플립칩 솔더 범프 미세 조직 변화 및 플립칩 패키지의 파괴메커니즘을 분석하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서 500 $\mu$ m두께를 가진 P-type 4inch 실리콘 웨이퍼를 사용하여 플립칩을 제작하였다. 먼저, UBM층 및 패턴 형성하기 전에 실리콘웨이퍼의 청정을 위하여 아세톤, 에탄올을 이용하여 세척하였고, 증류수를 사용하여 잔류 유기용제를 제거한 후 질소가스를 이용하여 수분을 제거 하였다. 전처리를 한 후 실리콘의 전면 에 Ti와 Cu를 각각 0.2  $\mu$ m와 0.8  $\mu$ m의 두께로 스퍼터링(sputtering)하였다. 웨이퍼에 패턴을 형성하기 위해 PR(photoresist)를 도포한 후, 110 $^{\circ}$ C의 hot plate위에서 90초간 soft baking 하였다. 이와 같이 마스크와 기판을 정렬 시킨 후 365  $\lambda$ 의 파장을 가진 UV(Ultra Violet)광으로 8.5초간 노광하였으며, 노광된 시편을 현상액에 약 50~70초간 유지하여 현상하였다. 패턴이외의 Ti과 Cu는 습식에칭을 이용하여 제거 하였다. 이렇게 형성된 시편의 전면 에 passivation layer를 형성하기 위하여 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 SiO<sub>2</sub>층을 1.5

μm 증착한 후 이미 설명된 공정과 동일한 방법으로 PR코팅, 노광, 식각공정을 통하여 최종 500 μm 피치(pitch)의 정사각형 패턴(130 μm × 130 μm)을 형성하였다.

본 실험에서는 Sn-37Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu 두 종류의 솔더 페이스트를 사용하였다. Stencil Printing 방법으로 solder paste를 도포한 후, 시편은 IR reflow machine을 사용하여 리플로우 하였다.

플립칩 본더 장치를 이용하여 이미 제작된 Si 칩과 BT 기판을 접합하여 플립칩 패키지를 제작하였다.

### 3. 결 과

Fig. 1 은 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더를 이용하여 제작한 플립칩 패키지를 열충격 시험하기 전에 관찰한 SEM 사진이다. Si chip 쪽의 미니범프와 BT 기판쪽의 오프닝 되어 있는 부분의 배열도 양호하게 이루어져있고, 볼의 형상도 구형에 가깝게 잘 형성되어 있었다. 솔더와 Si chip 쪽의 Cu 미니범프의 계면에서는 일반적인 조성의  $Cu_6Sn_5$  금속간화합물이 생성되었다. 반면 BT 기판 쪽의 Ni 도금층과 솔더와의 계면에는  $(Ni,Cu)_3Sn_4$  금속간화합물 층이 생성되고 부분적으로  $(Cu,Ni)_6Sn_5$  금속간화합물이 형성되어 있는 것을 알 수 있었다. 솔더 조직은  $Ag_3Sn$  금속간화합물이 미세하게 분산되어 있는 전형적인 Sn-Ag-Cu계 솔더의 조직을 나타내고 있다.

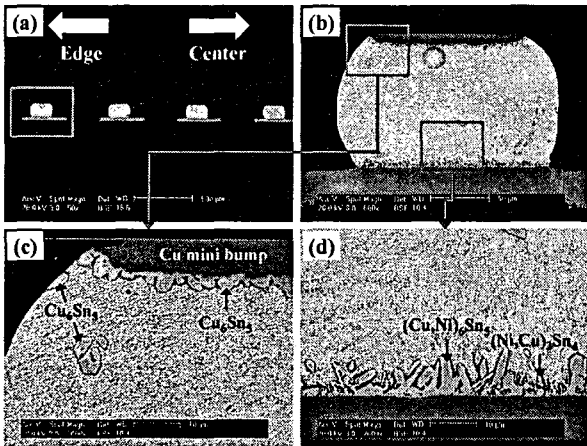


Fig. 1 Diagonal cross-sectional SEM images of the as-flip chip bonded joint; (a) overall shape of the joint, (b) magnified view of a corner solder bump, (c) microstructure of the chip side interface and (d) microstructure of the package side interface

Fig. 2는 열충격 시험을 400 사이클 동안 실시한 후 단면을 관찰한 SEM 사진이다. 200 사이클까지 생성되지 않았던 결함이 400 사이클이

되어서 관찰되기 시작하였다. 초기 결함은 솔더 범프 상부 좌측 edge부에서 시작하였다. 초기 결함이 발생한 위치는 금속간화합물이 성장하는 부위인 것을 알 수 있는데, 이로부터 금속간화합물 본연의 취약한 특성이 결함의 전파에 크게 기여한 것으로 사료된다.

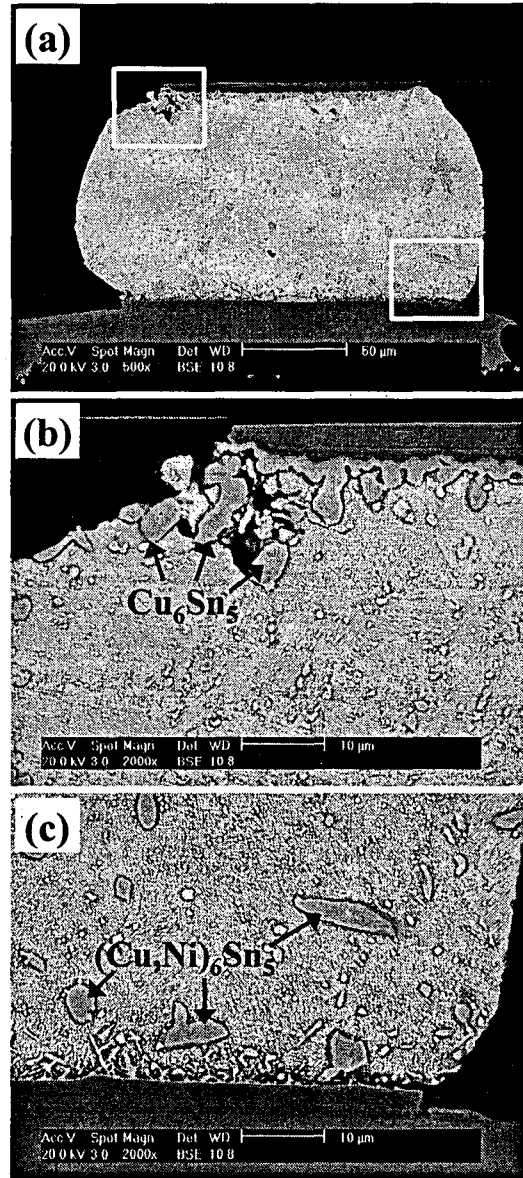


Fig. 2 Diagonal cross-sectional SEM images of the flip chip bonded joints after thermal shocks of 400 cycles; (a) microstructure of the corner solder bump, (b) magnified view of the chip side interface and (c) magnified view of the package side

상부 좌측에 생성된 결함의 경우, 결함의 성장

이 거의 진전되지 않은 상태이기 때문에 전파양상까지 관찰할 수는 없었다. 다만 솔더 범프 하단 우측에 생성된 결함의 경우 일부 전파된 것까지 알 수 있는데, 결함의 시작점은 마찬가지로 금속간화합물 층의 끝부분이고 전파 또한 금속간화합물 층을 따라 진행된 것을 알 수 있었다.

chip joints during accelerated testing, *Microelectronics Reliability*, 42-12, (2002), 1921-1930

#### 4. 결 론

본 실험에서 무연 솔더를 적용한 플립칩 패키지의 열충격 시험을 통한 열적 기계적 신뢰성 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 초기 결함은 열충격 400사이클을 실시 한 후, 패키지의 가장자리 솔더 범프의 우측 가장자리에서 발생하였다. 특히 솔더 범프 상부 좌측에 발생한 크랙은 우측으로 전파하는 양상을 보이는 반면 하부 우측에 생성된 크랙은 더 이상 진전이 없었다.

2) 무연 솔더 플립칩 패키지의 주요 파괴 메커니즘은 솔더 접합부의 열적 기계적 피로에 인한 피로 파괴인 것으로 사료된다

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 기초과학연구사업(R01-2004-000-10572-0)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. K. N.Tu and K Zeng : Tin-Lead(SnPb) solder reaction in flip chip technology, *Materials Science and Engineering R*, 34, (2001), 1-58
2. Dae-Gon Kim, Jong-Woong Kim, Jung-Goo Lee, Hirotaro Mori, David J. Quesnel and Seung-Boo Jung : Solid state interfacial reaction and joint strength of Sn-37Pb solder with Ni-P under bump metallization in flip chip application, 395, (2005), 80-87
3. Jong-Woong Kim, Dae-Gon Kim, Won Sik Hong and Seung-Boo Jung : Evaluation of Solder Joint Reliability in Flip-Chip Packages during Accelerated Testing, *Journal of Electronic Materials*, 34-12, (2005), 1550-1557
4. Frank Stepniak : Failure criteria of flip