

## 스텐실 프린팅법을 이용한 Pb-free 플립칩 솔더 범프의 계면 반응 및 기계적 특성

### Interfacial reactions and mechanical properties of Pb-free flip-chip solder bumps using a stencil printing method

하상수, 김종용, 김대곤, 문원철, 정승부,  
성균관대학교 신소재공학과

#### 1. 서 론

최근 대두되고 있는 환경오염문제로 인해 전자 산업에서는 전 세계적으로 Pb를 함유한 솔더에 관한 규제가 진행 되고 있다. 이에 대응하여 무연 솔더에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 현재까지의 연구를 통해 Sn-Ag-Cu계 및 Sn-Cu계 솔더가 가장 널리 추천되고 있다.

Sn을 주원소로 하는 솔더 합금은 접합과정 중에 전극의 UBM(Under Bump Metallurgy)과 반응하여 금속간화합물을 형성하게 되는데, 일반적으로 이러한 UBM에 사용되는 최종 금속층은 Cu나 Ni-base가 사용되고 있다. Cu의 경우에 몇몇 솔더를 제외하고는 Sn-rich 솔더와 반응하여  $Cu_6Sn_5(\eta\text{-phase})$ ,  $Cu_3Sn(\epsilon\text{-phase})$ 의 금속간화합물이 형성되며, Ni-base UBM의 경우에는 솔더와 UBM사이에서  $Ni_3Sn_4$ 를 형성한다고 알려져 있다. 솔더 범프가 패키지 내에서 전기적 접속 역할을 수행하는 동안 패키지는 높은 열적 분위기에 놓이게 되는데, 이러한 상황에서 범프 내의 금속간 화합물은 성장하게 되며, 특히 과도하게 성장하는 금속간 화합물은 접합부의 강도 및 전기적 특성을 저하시키는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 솔더 페이스트를 이용한 스텐실 프린팅법을 이용하여 플립칩 솔더 범프를 형성한 후 리플로우 횟수를 달리하여 무전해 Ni-P 도금층과의 계면 반응을 분석하고 기계적 강도를 측정하여 계면 반응과 기계적 강도사이의 관계를 고찰하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 패턴 및 Interconnect

본 실험에서는 P-type의 실리콘 웨이퍼(Si wafer, 4inch)를 기판으로 사용하였다. 기판을 세척한 후 증류수(D.I. water)를 사용하여 잔류 유기용제를 제거한 후 질소가스를 이용하여 수분을 제거하였다.

이와 같이 준비된 실리콘 웨이퍼 전면에서 Ti와 Cu를 PVD(Physical Vapor Deposition)법을 이용하여 각각  $0.2\mu\text{m}$ 와  $0.8\mu\text{m}$ 의 두께로 증착하였고, 패턴 형성을 위해 PR(photoresist) 코팅, 노광, 식각 공정을 통해 정사각형 패턴을 형성하였다.

##### 2.2 무전해 Ni-P 도금

무전해 Ni-P 도금액은 치아인산나트륨( $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ )을 환원제로 사용하는 Ni도금액을 사용하였다. 본 실험에서는 도금 변수인 PH와 온도를 각각 4.3과  $88^\circ\text{C}$ 로 고정하여 25분간 도금하였으며, 도금층의 산화방지 및 adhesion을 향상시키기 위해 Immersion Au방법으로  $88^\circ\text{C}$ 에서 30분간 도금하여 Au층을 형성하였다.

##### 2.3 Reflow

Fig.1은 리플로우시 기판상의 실제 온도변화 및 솔더의 DSC(Differential Scanning Calorimeter) 분석결과를 나타낸 것이다. DSC분석 결과 Sn-37Pb와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더의 융점은 각각  $186^\circ\text{C}$ ,  $220^\circ\text{C}$ 임을 알 수 있었다. 리플

로우 횟수에 따른 효과를 알아보기 위해서 리플로우 횟수를 1, 2, 4, 6, 8, 10회 나누어 실시하였다.

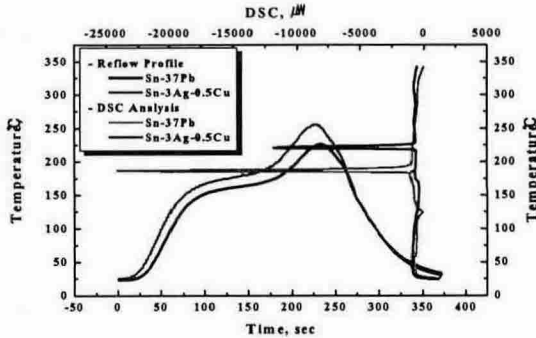


Fig.1 Reflow temperature profile and DSC curve

### 2.4 전단강도 측정 및 미세조직 분석

본 실험에서는 리플로우 횟수에 따른 플립칩 솔더 범프의 접합강도를 알아보기 위하여 리플로우 횟수를 달리한 시편의 전단시험을 실시하였다.

이때 전단높이 및 속도는 20 $\mu$ m, 100 $\mu$ m/sec로 고정하고 각각의 조건에서 20회의 전단 테스트를 실시하였고, 전단 테스트 후 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 전단파면 및 계면을 관찰, 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Microstructure

Fig.2는 Sn-37Pb와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 플립칩 솔더 범프의 리플로우 횟수에 따른 계면의 BSE (Back Scattered Electron) 단면사진이다.

Sn-37Pb 공정 솔더의 조직은 사진에서와 같이 미세한 Pb-rich(밝은 부분)상과 Sn-rich(어두운 부분)상으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 리플로우 횟수가 증가함에 따라 솔더의 미세조직은 변화가 없으나, 계면에 생성된 금속간 화합물은 성장함을 확인 할 수 있었다. 리플로우 횟수가 증가함에 따라 솔더 범프 외부의 형상이 일그러짐을 확인할 수 있는데, 이는 최초 리플로우시 솔더 페이스트에 첨가된 플럭스가 리플로우 횟수가 증가함에 따라 제 역할을 하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig.3은 계면에 형성된 금속간화합물의 형상 및 상 구분을 위하여 Fig.2의 계면을 고배율로

관찰한 사진이다. Fig.3(a-c)는 Sn-37Pb솔더와 ENIG(Electroless Nickel Immersion Gold) UBM사이의 계면사진이다. 리플로우시 빠른 Au층의 반응으로 Au가 솔더내로 dissolution되며, 계면에는 UBM의 Ni와 솔더내의 Sn이 반응하여 Ni-Sn금속간화합물이 생성된다. Fig.3(d-f)는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 범프와 ENIG UBM 사이의 리플로우 횟수에 따른 계면 사진으로 리플로우 횟수가 증가함에 따라 계면에 생기는 금속간화합물은 각진형태와 needle type의 금속간화합물이 지배적으로 분포함을 확인하였다. EDX분석결과 각진형태와 needle type의 금속간화합물은 각각 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, (Ni,Cu)<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>이었고, AuSn<sub>4</sub> 금속간화합물은 솔더 내에서만 관찰 되었다.

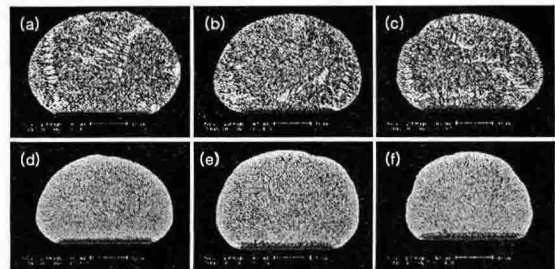


Fig.2 Cross-sectional views of solder bumps with reflow numbers:(a),(b),(c) 1,4,10 reflow samples of Sn-37Pb solder bump and (d),(e),(f) 1,4,10 reflow samples of Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bump.

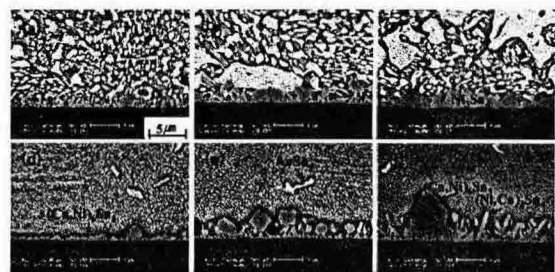


Fig.3 SEM micrographs of the interface between solder and ENIG UBM with reflow numbers : (a),(b),(c) 1,4,10 reflow samples of Sn-37Pb flip-chips and (d),(e),(f) 1,4,10 reflow samples of Sn-3.0Ag-0.5Cu flip-chips.

### 3.2 Shear Strength

Fig.4는 Sn-37Pb와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더와 ENIG UBM과의 접합부에 대한 리플로우 횟수에 따른 솔더 범프의 전단강도 값 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 Sn-Ag계 솔더의 경우에는 솔더내 Ag<sub>3</sub>Sn과  $\beta$ -Sn의 공정상을 형성한다. 솔더내 Ag<sub>3</sub>Sn 입자의 분산강화 효과로 Sn-37Pb 솔더보다 높은 강도 값을 나타낸다.

실험결과 Sn-37Pb 솔더 범프보다 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 범프의 경우 전단강도가 약 30~40gf의 높은 값으로 나타났으며, Sn-37Pb 솔더의 경우 리플로우 횟수를 증가시키에 따라 강도 값이 저하되는 것을 확인하였다. 그 원인으로 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 범프의 경우는 리플로우 횟수를 증가시켜도 솔더내 무수히 많은 Ag<sub>3</sub>Sn 입자들의 크기가 변하지 않기 때문에 솔더의 강도를 유지시키지만, Sn-37Pb 솔더 범프의 경우에는 솔더와 UBM층과의 반응에 의한 Sn의 소모로 계면근처에 Pb-rich 영역이 생성되어 전단강도를 저하시키는 것으로 사료된다.

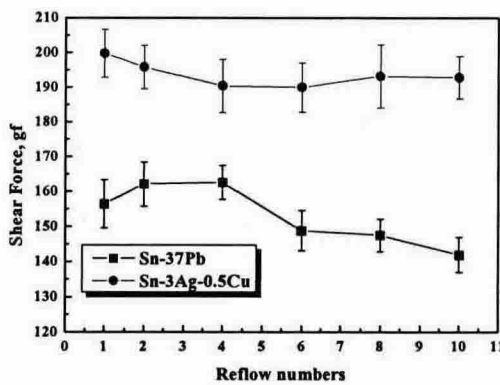


Fig.4 Shear result of Sn-37Pb and Sn-3.0Ag-0.5Cu flip-chip solder bumps with reflow numbers.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 솔더 범프 형성을 위해 플립칩 솔더범프 기술 중 스텐실 프린팅법을 이용하였다. 사용된 UBM으로는 대량생산에 유리한 무전해 도금법인 ENIG를 실리콘 패턴에 도금하여 Sn-37Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 페이스트를 프린팅한 후 리플로우하여 플립칩을 제작하였으며, 리플로우 횟수에 따라 계면관찰 및 전단시험을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Sn-37Pb 플립칩 솔더 범프의 경우 리플로우 횟수에 관계없이 솔더와 UBM 사이에 생성된 금속간화합물은 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>이었으며, 조성은 동일하나 형상이 needle type, boomerang type에서 chunky type으로 바뀌는 것을 확인하였다.

2) Sn-3.0Ag-0.5Cu 플립칩 솔더 범프의 경우, 리플로우 직후 생성된 금속간화합물은 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>였으나, 리플로우 횟수가 증가하면

서 솔더내 Cu가 소모되어 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간화합물 아래에 needle type의 (Ni,Cu)<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>의 금속간화합물이 형성되었다. 또한 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간화합물의 Cu와 Ni비율은 일정하였지만, (Ni,Cu)<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간화합물의 경우에는 리플로우 횟수를 증가하면 Ni/Cu의 비율이 점차 증가하는 것을 확인하였다.

3) 리플로우 횟수를 변수로 하여 전단 시험한 결과 두 솔더의 접합부에서 전체적으로 연성파괴를 보였으나, 솔더 자체의 물성으로 인하여 Sn-37Pb 솔더 범프의 전단강도보다 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 범프의 전단강도가 높게 측정되었다. 리플로우 횟수를 증가시키에 따라 4회 이상의 조건부터는 국부적인 취성파괴를 보였으나 실제적인 전단강도에 영향을 주는 솔더 조직의 조대화는 이루어지지 않아 수차례의 리플로우를 거쳐도 전단강도에는 큰 변화가 없는 것으로 사료된다.

4) 리플로우 횟수가 증가할수록 Sn-37Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 계면에 생성된 금속간화합물이 성장하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-04) 도움으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Se-Young Jang, Juergen Wolf, Oswin Ehrmann, Heinz Gloor, Thomas Schreiber, Herbert Reichl, and Kyung-Wook Paik : IEEE Transactions CPT, 26, 2003, 245 - 253.
- Mulugeta Abteu, Guna Selvaduray : Materials Science and Engineering, 27, 2000, 95 - 108.
- Jong-Kai Lin, Ananda De Silva, Darrel Frear, Yifan Guo, Scott Hayes, Jin-Wook Jang, Li Li, Dianne Mitchell, Betty Yeung, and Charles Zhang : IEEE Transactions EPM, 25, 2002, 300 - 307.
- Jeong-Won Yoon, Young-Ho Lee, Dae-Gon Kim, Han-Byul Kang, Su-Jeong Suh, Cheol-Woong Yang, Chang-Bae Lee, Jong-Man Jung, Choong-Sik Yoo and Seung-Boo Jung : Journal of Alloy and Compounds, 381, 2004, 151 - 157.