Sn-Bi-Cu-In 솔더 접합부의 강도 및 미세구조

The Strength and Microstructure of Sn-Bi-Cu-In Solder Joint

강경인, 이재식, 정재필
서울시립대학교

1. 서 론

현재 전자패키징에서 가장 많이 쓰이고 있는 Sn-Pb계 솔더 중에 함유된 납은 인체에 심각한 피해를 일으키고 있다. 이러한 납에 대한 규제와 더불어 전자제품의 경박 단소화가 진행되고 있다[1]. 이로 인해 솔더의 무연화와 플립칩패키지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 Sn/Ag/Cu.솔더가 적용가능성이 있는 무연솔더로서 각광을 받고 있다. 그러나 이 조성의 무연솔더는 이미 미국이나 일본에서 특허를 가지고 있는 실정이다. 따라서 새로운 무연 크림솔더의 개발이 절실히 요구된다.

이에 본 연구에서는 개발된 Sn1.7wt%Bi0.7wt%Cu0.6wt%In 무연 솔더의 립칩 적용 가능성을 검토해 보고자 하였다. Sn1.7wt%Bi0.7wt%Cu0.6wt%In의 플립칩 적용가능성을 검토하기 위하여 UBM이 증착된 실리콘(Si)웨이퍼 솔더 페이스트 스텐실 프린팅 법을 사용하여 범프를 형성하고, Sn37wt%Pb, Sn36wt%Pb 2wt%Ag, Sn3.5wt%Ag 크림솔더와의 기계적 특성을 비교하였다. 또한 주사 전자 현미경(SEM)과 EDS분석을 통하여 계면 및 전단파면을 관찰하고 반응기구를 규명하였다.

2. 실험 방법

2.1 스텐실 프린팅(Stencil printing)

크림솔더(Sn-37wt%Pb, Sn-36wt%Pb-2wt%Ag, Sn-3.5wt%Ag, Sn-1.7wt%Bi-0.8wt%Cu-0.6wt%In)를 도포하기 위하여 Japan Pulse Laboratories. Inc 사의 SP-410M 스텐실 프린터를 사용하였다. 실리콘(Si)웨이퍼에 Thermal evaporator 와 E-gun evaporator를 사용하여 Au(20nm)/Cu(400nm)/Ni(400nm)/Al(400nm) 두께를 가진 UBM(Under Bump Metallurgy)층을 형성하였다.

형성된 UBM층위에 크림솔더를 도포한 후 Sn-37wt%Pb, Sn-36wt%Pb-2wt%Ag 크림솔의 경우 230℃에서 Sn-3.5wt%A Sn-1.7wt%Bi-0.8wt%Cu-0.6wt%In 경우 2에서 솔더링을 하였다. 솔더링은 열풍 및 적외선 겸용 리플로 머신을 이용하였다.

위와 같은 조건에서 솔더링 한 후, 솔더범프의 전단강도 특성을 알아보기 위하여 리플로 횟수(1, 2, 5, 10 회)에 따른 전단강도의 변화를 측하였다. 또한 고온방치에 따른 강도변화를 알아보기 위하여 120℃에서 시효 후 강도를 측정하였다. 팁과 기판과의 거리는 5㎛, 팁의 이동속도는 200㎛/sec로 각 조건당 20회 이상 전단강도를 측정하여 평균값과 표준편차를 계산하였다.

2.2 미세구조

일반적으로, 솔더 범프는 2번의 리플로우 과정을 거치게 된다. 첫 번째 리플로우는 범핑 공정

(Bumping process)이고, 두 번째 리플로우는 립칩본딩 공정에서 다이(Die)배치 후 에 일어난다. 리플로우 공정동안, 솔더 범프의 녹는점 이상으로 온도를 올리게 되고, 솔더가 녹는 동안 본드패드(Bond pad)와 금속학적 접합이 이루어진다. 더욱이 솔더의 조성과 높이가 균일화 된다.

솔더링시의 계면에 생성된 금속간 화합물을 조사하기 위하여 Sn-37wt%Pb Sn-36wt%Pb-2wt%Ag 크림솔더와 Sn-3.5wt%Ag, Sn-1.7wt%Bi-0.8wt%Cu-0.6wt%In 크림솔각각 230℃, 250℃에서 리플로우 솔더링하여 미세조직을 분석하였다. 플립칩 패키지 제작 시에 수 회의 리플로우를 하기 때문에 리플로우 회수를 1, 2, 5, 10로 증가시켜가며 솔더링 한 미세구조를 관찰하였다. 리플로우 솔더링 후 접합부 단면 미세조직 관찰은 주사전자 현미경(SEM)을 이용하였고, 솔더/기판 계면에 형성된 금속간 화합물의 성분을 분석하기 위하여 EDS(Energy Dispersive spectrometer)를 사였다. 계면에 형성된 금속간 화합물을 보다 자세하게 관찰하기 위하여, 범프가 형성된 시편에서 솔더부를 모두 제거한 후 주사전자 현미경으로 관찰하였다. 또한 고온방치(120℃ 시효) 후 솔더와 기판계면의 금속간 화합물을 관찰하였다.

3. 실험 결과

3.1 솔더링 부의 기계적 특성

Fig. 1에 리플로우 횟수에 따른 전단강도의 변화를 보였다. Sn-3.5wt%Ag솔더에서 5회 리플로우 후에 약 17%정도의 전단강도의 감소를 보였을 뿐 나머지 솔더에서는 거의 동등한 강도를 보였다. 또한 리플로우 횟수에 관계없이 거의 일정한 전단강도 값을 나타내었다. 범프(Bmp)의 파괴모드(Failure mode)는 UBM층이 아닌 솔더(Solder)에서 파괴가 일어나는 연성파괴(Ductile Failure)였다.

Fig. 2는 리플로우 솔더링 후에 120℃의 로(Furnace)안에서 시효 시간을 500시간까지 증가시켰을 때 시효 시간에 따른 전단강도의 변화를 보인 그래프이다. Sn37Pb, Sn36Pb2Ag, Sn3.5Ag, Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더에서 각각 18%, 21%, 18%, 와 19%의 강도감소를 나타내었다. 금속의 강도는 미세구조에 굉장히 민감하다, 즉, 입자사이즈(Grain)가 커질수록 금속의 강도가 감소한다 (by Hall-Petch relation)[2].

3.2 미세구조

주사전자현미경(SEM)과 EDS를 이용해 솔더링부의 미세구조를 관찰하였다. 실험에 사용한 4가지 솔더 모두 UBM층과 양호한 접합을 이루었음을 알 수 있었다. Sn37Pb, Sn36Pb2Ag 솔더의 경우, Cu가 다량 함유된 금속간화합물 (Cu,Ni)6Sn5가 생성되었다. 또한, Sn3.5Ag 솔더의 경우는 금속간화합물 (Cu,Ni)3Sn4 와 Ag3Sn이 생성되었으며, Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더를 사용한 경우에는 Cu가 43.85wt% 포함된 금속간화합물 (Cu,Ni)6Sn5가 생성된 것을 확인 할 수 있었다.

Sn37Pb, Sn36Pb2Ag, Sn3.5Ag, Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더를 UBM이 증착되어 있는 실리콘웨이퍼에 각각 230℃, 230℃, 250℃, 250℃에서 리플로우 솔더링후 120℃에서 500시간까지 시효 하였다. 금속간화합물의 두께가 각각 3.8㎛, 3.1㎛, 4.6㎛, 6.1㎛까지 성장한 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 3은 Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더를 사용하였을 때, 금속간화합물의 두께에 따른 전단강도 값을 나타낸 그래프이다. 금속간 화합물의 두께가 3.1㎛에서 4.6㎛으로 증가함에 따라서 전단강도는 646gf에서 485gf로 급격히 감소하였으나, 이후 금속간화합물의 두께가 더욱 증가하여도 전단강도의 변화는 크지 않았다. 금속간화합물층의 두께가 반드시 전단강도의 저하를 야기하지 않는다[3]는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

유연 크림솔더 Sn37Pb, Sn36Pb2Ag와 무연 크림솔더 Sn1.7Bi0.7Cu0.6In, Sn3.5Ag 크림솔더를 선택하여, UBM이 증착된 Si-wafer에 리플로 솔더링한 후 신뢰성평가를 위하여 기계적 특성과 미세조직, 계면반응을 검토하였으며 시효 후 기계적 강도를 측정하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유연 솔더에 비해 무연 솔더의 전단강도가

우수하였으며, Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더의 전단강도 값이 646gf로 가장 우수하였다.

2) 리플로 횟수(1, 2, 5, 10)에 따라 전단강도를 측정하였다. Sn3.5Ag솔더에서 전단강도 값이 1회 리플로 609gf에서 5회에서 496gf로써 약 17% 정도의 전단강도의 감소를 보였을 뿐, 다른 솔더를 사용한 경우에는 거의 동등한 강도 값을 보였다.

3) 120℃, 500시간의 시효 후, 강도 측정 결과 Sn37Pn, Sn36Pb2Ag, Sn3.5Ag, Sn1.7Bi0.8Cu0.6In 솔더 모두, 약 18%정도의 강도가 감소하는 경향을 보였다.

4) 계면반응을 분석한 결과, Sn37Pb, Sn36Pb2Ag, Sn1.7Bi0.7Cu0.6In 솔더와 UBM사이에는 Cu가 풍부한 금속간 화합물 (Cu,Ni)6Sn5이 형성되었고, Sn3.5Ag에서는 금속간화합물 (Cu,Ni)3Sn4 와 Ag3Sn이 생성되었다.

5) 120℃에서 500시간 시효 후 금속간 화합물의 변화를 분석하였다. 500시간의 고온방치(Aging temp : 120℃) 후 금속간 화합물의 두께가 각각 3.8㎛, 3.1㎛, 4.6㎛, 6.1㎛까지 성장하였다.

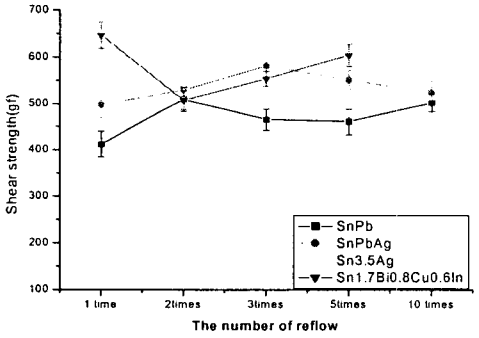

Fig. 1 Effect of the number of Reflow on the Shear strength

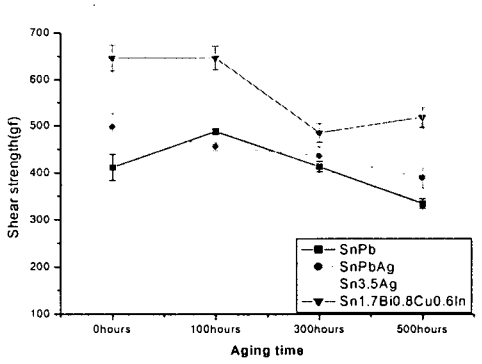

Fig. 2 Effect of Aging time on shear strength

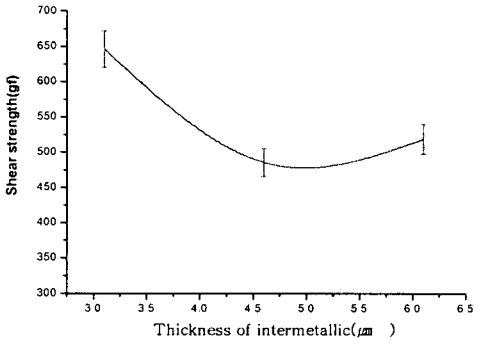

Fig. 3 Effect of IMC layer thickness on shear strength between UBM and Sn1.7wt%Bi0.8wt%Cu0.6wt%In Solder

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 청정생산기술사업으로 지원되어 수행되었습니다.

참고문헌

1. J.H, Lau ed, Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York, (1995).
2. E. O. Hall, Proc. Phys. Soc. London, Vol. 643 (1951), p747.
3. Yang, W., Messler, R. W. Jr and Felton, L. E "Microstructure evolution of eutectic Sn-Ag s joints", J. Electronic Materials, Vol23, pp765-772.