

광모듈 솔더 접합부의 시효 특성에 관한 연구

김남규, 김경섭*, 김남훈, 장의구

중앙대학교, 여주대학교*

Aging Characteristics of Solder bump Joint for High Reliability Optical module

Nam-Kyu Kim, Kyung-Seob Kim*, Nam-Hoon Kim, Eui-goo chang

ChungAng Uni., YeoJoo Uni.*

Abstract

The flip chip bonding utilizing self-aligning characteristic of solder becomes mandatory to meet to tolerances for the optical device. In this paper, a parametric study of aging condition and pad size of sample was conducted. A TiW/Cu UBM structure was adopted and sample was aging treated to analyze the effect of intermetallic compound with time variation. After aging treatment, the tendency to decrease in shear strength was measured and the structure of the fine joint area was observed by using SEM, TEM and EDS. In result, the shear strength was decreased of about 20% in the 100 μ m sample at 170 $^{\circ}$ C aging compared with the maximum shear strength of same pad size sample. In the case of the 120 $^{\circ}$ C aging treatment, 17% of decrease in shear strength was measured at the 100 μ m pad size sample. Also, intermetallic compound of Cu₆Sn₅ and Cu₃Sn were observed through the TEM measurement by using an FIB technique that is very useful to prepare TEM thin foil specimens from the solder joint interface.

Key Words : Solder bump, stud bump, thermal aging, shear test, intermetallic compound

1. 서론

광통신 모듈에 있어서는 광통신의 주파수 대역이 밀리미터 파로 발전함에 따라 신호의 왜곡이나 지연(delay)을 최소화하여 전기적인 성능을 향상시키기 위해, 범용 패키지의 와이어 본딩(wire bonding)에 의한 전기적인 연결과는 달리, 플립칩 본딩(flip chip bonding) 기술이 이용되고 있다. 플립칩 본딩은 소자와 기판의 전기적인 연결이 소자의 패드에 형성된 솔더를 통하여 직접 모듈 기판의 랜딩 패드(landing pad)에 연결된다. 따라서, 와이어 본딩 방식보다 짧은 접속 길이로 전기적인 성능의 향상을 가져 올 수 있다.[1] 특히 고주파의 특성을 충분히 살리기 위하여 Au-Sn을 이용한 열압착 방식의 플립칩 본딩 기술에 대한 많은 연구

가 이루어지고 있으나, 광 신호 전송의 효율 측면에서는 광 신호의 정렬이 결정적으로 중요한 항목이므로 열 압착 방식은 한계에 직면하고 있다. 이에 자발적으로 정렬이 가능한 솔더 리플로우 방식의 플립칩 본딩 기술에 대한 연구가 필요한 실정이다. 광 소자의 특성상 여러 단계의 솔더링(soldering) 공정을 거치게 되는데, 온도 범위의 차별화에 따른 열 이력과 금속간 화합물 형성에 따른 기계적 성질을 고려해야 하고, 또한 미세 패드 피치의 범핑 기술의 사용으로 미세 접합부의 장기 신뢰성에 대한 문제점이 해결해야 할 과제로 남아 있다.[2-4] 본 연구에서는 광 소자의 모듈화 및 고속화에 따라 광모듈 PD(Photo Diode) 소자의 단차 표면에 지름 80, 100 μ m의 Al 패드를 증착하고 그 위에 마이크로 솔더 범프를 전기 도금법으로 형성

시커 기계적인 범프/UBM(under bump metallurgy)의 접합강도와 등은 시효처리에 따른 시효강도를 전단실험을 통해 측정하였고, 시효 처리에 따른 금속간화합물(Intermetallic Compound, IMC) 성장과 생성 변화를 연구하였다.

2. 실험

범프 제작은 패드 크기를 80 μm 와 100 μm 로 웨이퍼를 분류하여 공정을 진행하였다. 그림 1은 솔더 범프 형성에 대한 개괄적인 공정 순서를 나타내었다. 공정 설계는 건식 산화막 2000 \AA 위에 Al1%Si/TiW(9:1)/Cu=1/0.2/0.4의 비율로 스퍼터 증착하고, 10 μm 의 Cu를 전기도금(electroplating) 하였다. 두께 30~50 μm 의 후막 포토 레지스트(PR)를 하드 베이 크하여 전기 도금으로 솔더 범프를 형성한 후에 PR 스트립 및 UBM을 에칭하고 리플로우 공정으로 솔더 범프를 형성한다.

UBM은 0.2 μm 두께의 TiW를 스퍼터링 방식으로 형성시켜 접착력이 높고 확산이 쉽지 않은 접합층과 솔더와 젖음(wetting)이 잘되고 솔더로의 용융이나 금속간 화합물로부터 패드 금속의 소모를 막기 위해 10 μm 의 Cu층으로 구성되었다. Sn-37wt% Pb공정 솔더로 형성한 범프는 패드 크기 80 μm 와 100 μm 에서, 범프의 평균 직경은 각각 93 μm 와 100 μm , 각 범프의 평균 높이는 83 μm 와 93 μm 이고 균일성은 1%를 얻었다.

전단강도 측정은 본딩 시험장치(PTR-1000)를 사용하였으며, 팁(tip)의 이동속도는 0.30mm/s, 팁의 높이는 UBM 표면에서부터 2.0 μm 로 하였다. 온도와 시간에 따른 IMC의 성장 변화를 분석하기 위해 등은 시효온도는 120 $^{\circ}\text{C}$, 170 $^{\circ}\text{C}$ 2종류로 구분하였고, 0, 300, 600, 900 시간 동안 시효처리 한 후에 전단강도를 측정하였다. 전단강도 값은 조건마다 각2개 시편에서 30개의 범프를 실험하였으며, 최대값과 최소값을 제외한 평균값을 사용하였다. 전단 실험으로 인한 파면의 관찰은 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 수행하였고, IMC 구조 및 성분 분석은 고분해능 투과전자현미경(High Resolution Transmission Electron Micrograph, HRTEM)을 이용하여 행하였다. TEM 시편은 Ga⁺ 이온을 source로 한 가속전압 30kV FIB(Focused Ion Beam)를 이용하여 가공하

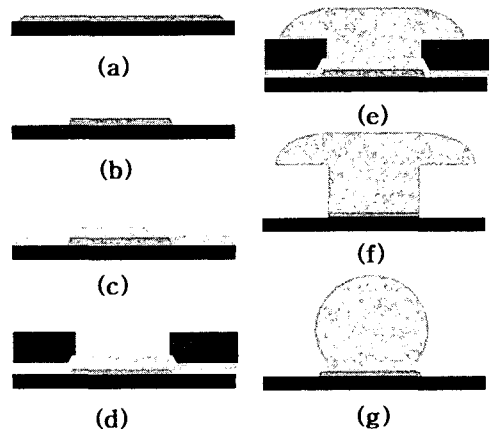


그림 1. 전기도금법을 이용한 솔더범프 형성과정
(a) 알루미늄 sputter 증착 (b) 알루미늄 patterning (c) UBM 증착 (d) PR 증착 (e) 솔더 전기도금 (f) PR strip 및 UBM 식각 (g) 솔더 reflow

였으며, 100pA 빔 전류를 갖는 Ga⁺ 이온 빔을 이용한 미세 밀링을 통하여 electron-transparency한 시편을 제조하였다. FIB 가공은 MC-100 (MICRION)을 사용하였고, TEM 관찰은 JEM-2010 (JEOL)을 이용하여 가속전압 200kV에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Sn-37wt%Pb의 솔더에 대해 시효 온도와 시간에 따른 전단강도 값을 측정된 결과이다. 실험은 시효 온도와 시효처리 시간의 영향을 관찰하기 위해 120 $^{\circ}\text{C}$ 와 170 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 0, 300, 600, 900 시간동안 시효처리를 하였고, 시효 처리된 시편의 전단강도와 형성된 볼 크기와의 관계를 관찰하기 위해 패드 크기가 80 μm 와 100 μm 인 시편을 120 $^{\circ}\text{C}$ 와 170 $^{\circ}\text{C}$ 분위기에서 시효 처리하였다.

전단강도는 시효 처리 시간의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 시효온도 170 $^{\circ}\text{C}$ 에서 100 μm 시편의 전단강도 값은 시효처리 이전의 678 mN에서 900 시간 시효처리 후에는 그 값이 547 mN으로 약 20% 감소하였고, 80 μm 시편의 경우엔 378 mN에서 336 mN까지 감소해서 같은 시간의 시효

처리로 약 9% 감소하는 것을 알 수 있었다. 120°C의 시효 처리 후 전단 강도 실험은 100 μ m 시편의 경우 시효 처리 이전의 값과 비교해서 약 17%, 80 μ m 시편의 경우에는 약 5%가 감소하였다. 시효 처리 시간이 길수록 강도 값이 낮아지는 경향을 보였으며, 시효 온도가 높을수록 강도의 저하가 크다는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 또한 100 μ m 와 80 μ m 패드 크기의 시편에서의 전단 실험 값을 비교해보면 시효 처리 후 전단 강도의 저하가 패드 크기가 큰 시편 쪽에서 더 크게 나타나는데 이는 패드 위에 형성되는 솔더 볼의 부피(volume)의 차이로 패드의 구리 성분과 반응하는 주석의 함유량이 80 μ m 패드 위에 형성된 볼보다 상대적으로 많아서 100 μ m 패드 위에 형성된 볼에서 더 활발한 금속간 반응이 일어났기 때문이라고 생각된다.

그림 3은 시효 처리 이전의 전단 실험으로 인한 파면을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 시효 처리 이전의 파단에서는 솔더와 UBM의 접촉 형태인 원형을 유지하는 것을 볼 수 있고 파면을 확대한 형상에서 그 원인이 솔더 내의 납 성분에 의한 연성 파괴임을 보이고 있다.

그림 4는 900 시간 시효 처리 후의 시편의 파면으로 연성 파괴 모드를 나타낸다. 이러한 연성 파괴는 시효 시간의 증가와 무관하게 같은 경향을 나타내었다. 그러나 시효 시간이 길어질수록 연성 파괴 뿐만 아니라 부분적인 취성 파괴 현상이 또한 관찰되었다.

그림 5는 300 시간 시효 처리 된 솔더/UBM 계면의 TEM과 EDS 분석 결과를 나타낸 것으로, 솔더와 IMC층의 미세조직 상태가 명확하게 관찰되었다. 그림에서 흰 부분은 Sn이 많은 Sn-rich상이고, 검은색 부분은 Pb가 많은 Pb-rich상이다. 솔더의 미세조직인 Sn-rich와 Pb-rich는 시효 시간이 경과할수록 상의 크기가 성장한다. 이로 인해 솔더 접합부가 연화되며, 전단 강도가 감소하는 원인이 되기도 한다. 일반적인 경우 리플로우 솔더링 공정 후 SEM으로 접합 계면을 관찰하면, 용융 상태에서 Cu₃Sn 보다 Cu₆Sn₅의 성장이 훨씬 빠르기 때문에 Cu₆Sn₅만이 관찰되며 Cu₃Sn의 경우 고온에서 장시간 시효 처리 하였을 경우에 관찰된다. 그러나, 솔더링 공정 후에도 수백 Å 두께의 얇은 Cu₃Sn이 형성되는 것으로 알려져 있다.[2] 솔더 범프가 형성된 시편이 300 시간의 시효 처리 과정을 거치면서

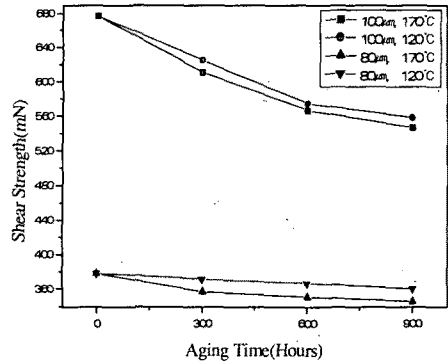


그림 2. 시효 처리 시간과 온도에 따른 전단 강도 값의 변화

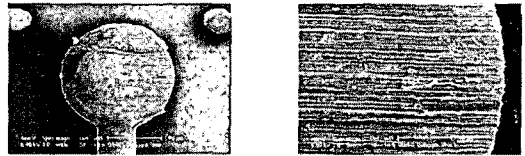


그림 3. 시효 처리 이전 전단 실험으로 인한 파면

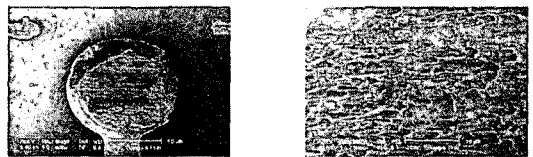


그림 4. 900시간 시효 처리 후 전단 실험으로 인한 파면

IMC(Cu₆Sn₅+Cu₃Sn)가 3~4.5 μ m 두께로 성장하는 것을 TEM 관찰을 통하여 확인하였다.

4. 결론

초고속 광통신에 사용되는 포토 다이오드의 표면에 지름 80 μ m, 100 μ m의 마이크로 솔더 범프를 형성시켜 기계적인 범프/UBM 접합강도와 시효 처리에 따른 시효 강도를 전단 실험을 통해 측정하였고, IMC 성장과 생성 변화를 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전단 강도 값은 시효 처리 시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였고, 강도 값의 저하 정도는 시효 온도가 높을수록, 패드의 크기가 클 수

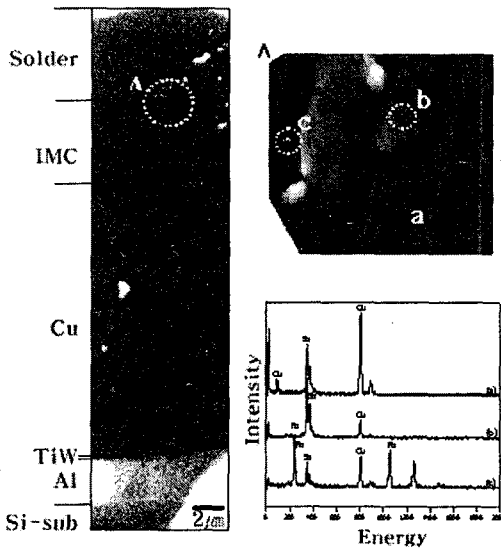


그림 5. 300시간 시효처리 된 솔더/UBM 계면의 TEM과 EDS분석 결과

록 크게 나타났다.

2. IMC(Cu₆Sn₅+Cu₃Sn)는 300 시간의 시효처리 과정을 거치면서 3~4.5 μ m의 두께로 성장 하였다.
3. FIB 기술은 솔더 접합부의 TEM 관찰용 박막 시편 가공에 매우 유용한 기술이다.

참고 문헌

- [1] Y.-B. Sun, K.-S. Kim, H.-J. Chang, "Study on the UBM design and flip-chip bonding technology for optoelectronic communication module", Electronics and Telecommunications Research Institute, 2002.
- [2] R. F. Pinizzotto, E. G. Jacobs, "The dependence of the activation energies of intermetallic formation on the composition of composite Sn/Pb solders", IEEE/IRPS, p. 209, 1993.
- [3] A. R. Mickelson, N. R. Basavanhally, and Y. C. Lee, "Optoelectronic packaging", New York: Wiley, Ch. 5, 1997.

- [4] Hirohisa Matsuki, Hiroshi Ibuka, "TEM observation of interfaces in a solder joint in a semiconductor device", Advances Materials 3, p. 261, 2002.