

μBGA에 무연솔더 적용에 대한 금속간화합물의 시효처리 특성

Aging Characteristic of Intermetallic Compounds for Applying to Lead Free Solders in μBGA

이 석*, 이준환*, 윤준호**, 신영의*

* 중앙대학교 기계공학부

** 여주대학 자동차과

1. 서론

최근의 전자제품들은 고기능화, 소형화, 경량화 추세에 있으며, 이에 따른 전자제품 내부의 패키지 또한 경박단소화 추세에 있다. 패키지의 소형화추세로 인하여 미세한 접합부의 신뢰성에 대한 연구들이 요구되고 있다. CSP(Chip Scale Package)의 한 종류인 μBGA(Micro Ball Grid Array)는 이런 요구를 더욱 만족시키기 위해서 장시간 사용환경에서 장기신뢰성에 대한 문제점들이 과제로 남아있다. 패키지의 표면실장에 따르는 리플로우 과정과 실제 사용온도에 의해서 형성되는 금속간화합물(Intermetallic Compound, 이하 IMC)은 솔더와 구리패드 사이에 형성될 뿐만 아니라 솔더 내부에서도 형성된다. 이렇게 형성된 구리패드와 솔더 계면의 금속간화합물은 솔더 접합부의 기계적인 강도 저하의 원인인 crack의 성장 유도작용으로 알려져 있다⁽¹⁾. 그리고 환경에 대한 관심이 높아지면서 세계각국에서 납을 배제한 무연솔더의 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 규제와 법제화를 도모하여 실행에 직면하게 될 날이 멀지 않았다. 이는 무연솔더의 적용여부가 기업의 생존에 중요한 인자가 될 수 있다는 것을 뜻하므로 우리 나라에서도 하루 빨리 무연솔더에 대한 대비책이 시급한 실정이다.

본 연구에선 실제 사용되는 48μBGA 패키지를 사용하여 지름 0.35mm 솔더볼 Sn/Ag/Cu와 Sn/Ag/Cu/Bi 두 종류의 무연솔더를 접합재료로 적용하여 솔더 접합부의 초기접합강도와 시효처리에 따른 시효강도를 Shear test를 통해 측정하였다. 각 무연솔더의 IMC 성장 변화를 비교하기 위해서 활성화에너지를 구하였으며 Sn/Pb 공정솔더와 비교하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 μBGA 패키지

실험에 사용된 48μBGA는 칩보다 0.5mm큰 6.3×6.2mm이며, 구리 패드간 pitch는 0.75mm인 CSP 패키지이다. 칩과 polyimide film사이에는 응력완화재로 elastomer를 사용하였으며, 구리패드에 도금한 Au 두께는 1.0±0.3μm이다.

2.2 솔더 볼 및 플럭스

실험에 사용된 무연솔더는 Sanju Metal Industry사의 지름 0.35mm의 3원계 M31인 Sn-3.5Ag-0.75Cu와 4원계 M41인 Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi이며, 각 용융온도는 217~219℃와 211~222℃이다. 솔더링에 사용된 플럭스는 저잔사, 무세정, 광택표준품인 Alpha metal사의 Rosin계 RMA SR-12를 사용하였다.

2.3 리플로우

솔더링에 사용된 리플로우 장비는 Koki사의 적외선·열풍 혼합방식으로서 전체 리플로우 시간은 5분이고 Conveyer 속도는 0.55m/min이다. 각 솔더의 peak 온도는 Sn/Pb 230℃, 무연솔더 260℃로 하였다. 액상상태 유지시간은 약 60초로 설정하여 IMC 높이가 전단강도에 미치는 영향과 패키지에 미치는 영향을 최소화하였다⁽²⁾.

2.4 전단 실험

전단 실험은 Rhesca사의 Bonding Tester PTR-1000을 사용하였으며, Tip의 속도는 0.2mm/s, location 5μm 조건에서 실험하였다. Fig. 1에 전단 실험 방법을 나타내었다. 전단강도 값은 조건마다 3개 시편의 각각에서 24개의 ball을 실험하였으며, 최대와 최소를 제외한 평균값을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전단강도

48μBGA의 패드 지름은 0.3mm이며, 이런 미세 접합부의 기계적 성질의 변화를 검토하기 위해서 Sn/Ag/Cu와 Sn/Ag/Cu/Bi, Sn/Pb 공정솔더의

전단강도를 측정하여 비교였다.

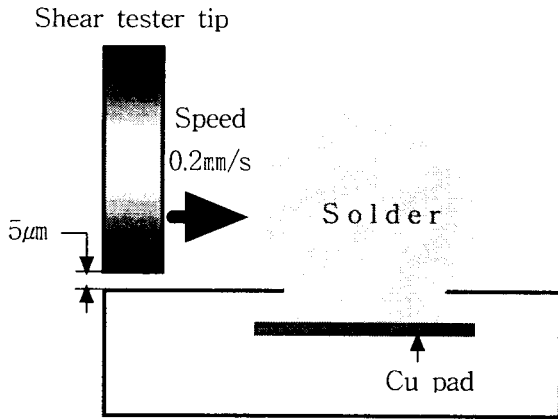


Fig.1 The shear test of method

세 종류의 솔더 모두 초기접합의 전단강도 실험에서는 솔더부의 파단을 보여주었다. Fig.2는 시효온도 170°C에서 0, 300, 600, 900시간 동안 시효처리 한 후에 전단강도를 측정한 것이다. 측정결과 두 무연솔더는 Sn/Pb솔더 보다 높은 강도를 보였다. 초기접합강도 보다 시효 300시간 이후의 강도가 높은 것은 시효효과에 따른 미세 석출물로 기인한 것으로 판단된다. 세 솔더 모두 시효 시간이 증가함에 따라 강도는 감소하는 경향을 나타내었다.

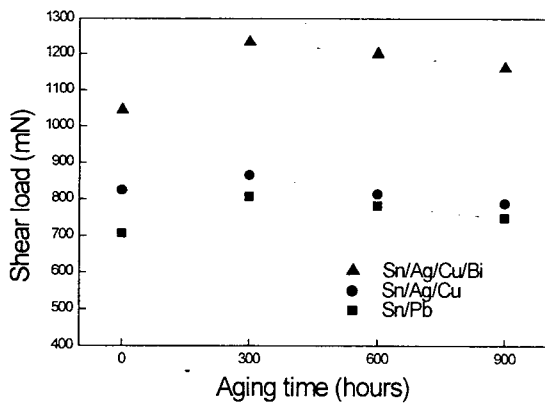


Fig.2 Relation between aging time and shear load with solder alloys at aging temperature 170°C

Fig.3은 무연솔더의 시효처리 전과 후의 전단강도 실험에 의한 파단면을 보여주었다. 시효처리전의 파단면에서는 작은 입자에 의한 파단을 관찰

할 수 있으며, 시효온도 170°C, 900시간 후의 파단면 입자는 상당히 성장한 것을 관찰할 수 있었다. 이는 시효처리에 의해서 성장한 입자의 크기가 성장할 수록 강도는 저하하는 것으로 판단된다.

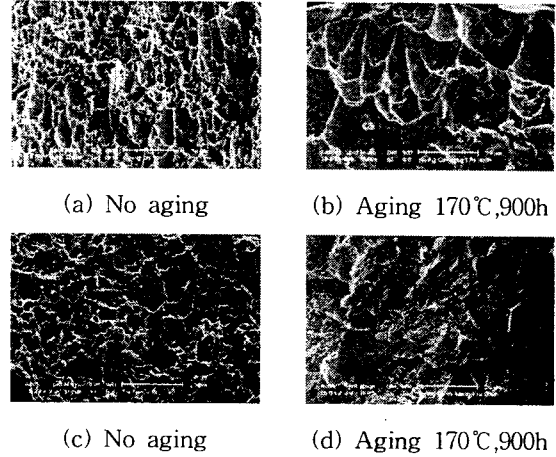
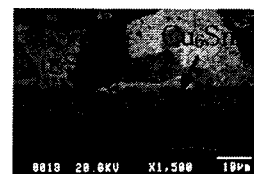


Fig.3 Fracture surface of Sn/Ag/Cu(a,b) and Sn/Ag/Cu/Bi(c,d)

3.2 금속간화합물(Intermetallic compound)

BGA의 피로파괴는 일반적으로 IMC 층의 계면을 따라 성장하는 crack으로 발생한다. 본 실험에서는 IMC 층을 관찰하기 위해서 시효처리한 시편의 단면을 연마하여 SEM (Scanning Electron Micrography)과 EDX (Energy Dispersive X-ray)로 관찰·분석하였다.

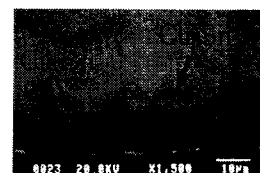
시효처리하지 않은 초기접합에서는 η -상 (Cu_6Sn_5)만이 관찰되었으나 시효처리 이후에는 ϵ -상 (Cu_3Sn)도 관찰되었다. Fig.4는 170°C, 900시간 시효처리 이후의 단면에 나타난 두 종류의 IMC 층을 나타내었다.



(a) Sn/Pb



(b) Sn/Ag/Cu

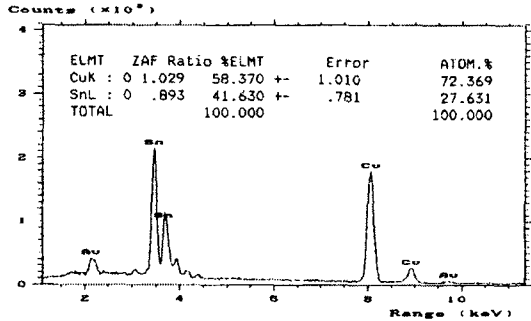


(c) Sn/Ag/Cu/Bi

Fing.4 Tow phase of IMC with solder alloys

T: 시효 온도(K)

Fig.5는 ϵ -상(Cu_3Sn)으로 예상되는 부분의 EDX 성분분석 결과를 나타낸 것이다.



Fing.5 Composition analysis of IMC layer

η -상(Cu_6Sn_5)은 솔더와 구리패드 사이에서 솔더 방향으로 생성되는데 이는 Cu가 Sn보다 확산 속도가 빨라 침입형 확산을 하기 때문이다⁽³⁾. 또한 ϵ -상(Cu_3Sn)이 초기접합에서 볼 수 없었던 것은 η -상보다 핵 생성이 어렵기 때문으로 알려져 있다.

3.3 활성화 에너지(Activation energy)

피로파괴를 유발하는 crack은 결정 입계(Grain boundary)를 따라 성장하며, 결정 입자가 클수록 쉬게 성장한다. 활성화 에너지를 계산하여 입자의 성장을 예상해 보았다.

일반적으로 IMC 두께와 시효 시간의 관계는 아래 Arrhenius식으로 나타낸다.

$$d = \sqrt{Dt}$$

여기서 d: IMC두께
D: 확산계수
t: 시효시간

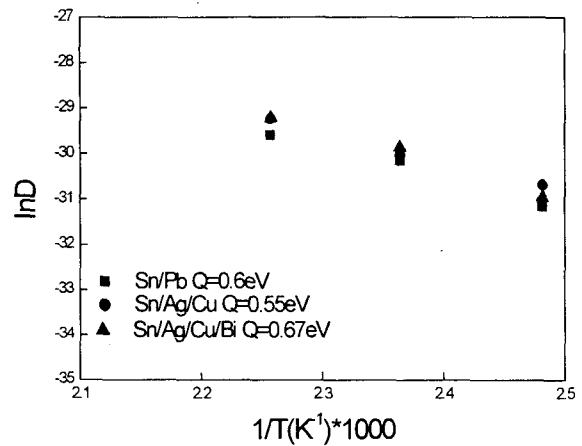
위 식에서 계산한 확산계수와 시효온도를 아래 식에 대입하여 활성화 에너지를 계산하였다.

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right)$$

여기서 D_0 : 확산상수
Q: 활성화 에너지
k: 볼츠만 상수

활성화 에너지를 구하기 위해서, 각 솔더를 시효 온도 130, 150, 170°C 각각의 온도마다 300, 600, 900 시간씩 시효처리 했다. 그 결과 Sn/Ag/Cu는 Sn/Pb보다 0.05eV 작게 나왔으며, Sn/Ag/Cu/Bi는 Sn/Pb 보다 0.07eV 크게 나왔다. 즉, 상대적으로 Sn/Pb 공정솔더 보다 Sn/Ag/Cu/Bi는 조직의 변화가 적고, Sn/Ag/Cu는 조직의 변화가 많을 것으로 예상된다.

Fig.6은 세 종류 솔더의 IMC 전체 두께에 대한 활성화 에너지를 나타내었다.



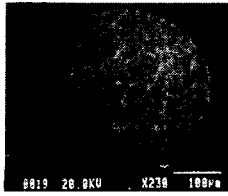
Fing.6 Activation energy of solder alloys

Fig.7은 각기 다른 활성화 에너지 값을 보인 솔더의 단면을 나타낸 것이다. Sn/Pb 솔더는 Pb rich와 솔더 내부에 형성된 IMC를 볼 수 있고, 상대적으로 낮은 활성화 에너지를 보인 Sn/Ag/Cu는 솔더 내부에 전체적으로 분포된 IMC를 볼 수 있다. Sn/Ag/Cu/Bi는 세로방향으로 형성된 IMC를 관찰할 수 있었다. 솔더 내부에 형성된 IMC는 η -상으로 분석되었다.

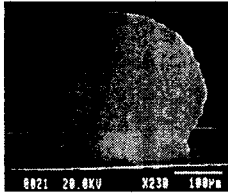
4. 결론

48 μ BGA에 기존의 Sn/Pb 공정솔더와 환경친화적인 무연솔더 Sn/Ag/Cu와 Sn/Ag/Cu/Bi를 접합한 후, 시효처리하여 장기신뢰성을 검토하였다. 시효처리 이후의 전단강도 측정에서 Sn/Ag/Cu는 Sn/Pb 공정솔더 보다 약 43.35mN 큰 강도를 보였으며, Sn/Ag/Cu/Bi는 Sn/Pb 공정솔더 보다 약 418mN 큰 강도를 보였다.

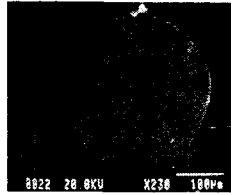
3. K. N. Tu : Acta Metall, Apr, 1973, pp347
4. Askeland. Donald R : The Science and Engineering of Materials, Third Edition, PWS Publishing Company, United States, PP264~268



(a) Sn/Pb



(b) Sn/Ag/Cu



(c) Sn/Ag/Cu/Bi

Fing.7 Cross section of solder balls

솔더의 활성화 에너지를 비교하면 Sn/Ag/Cu가 Sn/Pb 공정솔더 보다는 작게 나왔으나 Fig.7에 나타났듯이 무연 솔더 내부에 다량 분포된 구형 모양의 IMC는 피로파괴를 유발하는 crack의 진행을 방해하여 합금의 강도를 증가시키는 역할을 함으로서, crack이 처음 시작되는 Polyimide film 과 솔더의 접합부에서 구리패드 위의 IMC 층까지 도달하는 시간을 지연시켜 피로파괴 수명을 연장시킬 것으로 예상된다⁽⁴⁾.

Sn/Ag/Cu/Bi는 Sn/Pb 공정솔더 보다 높은 전단강도와 큰 활성화 에너지 값을 가진다. 이로 인하여 실제 전자제품에서 받을 낮은 온도에서는 내부 조직의 변화가 적게 일어나 높은 강도를 장시간 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

이런 이유들로 인하여 Sn/Ag/Cu와 Sn/Ag/Cu/Bi는 장기신뢰성 측면에서 Sn/Pb 공정솔더를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. AlexC. K. So : Aging Studies of Cu-Sn Intermetallic Compounds in Annealed Surface Mount Solder Joints, IEEE Transactions on Components Package and Manufacturing Technology-Part B, VOL 20, NO 2, 1997, PP.161~166
2. Thomas W. Edwards : Solder Joint Similarities between BGA/CSP and Other Surface Mount Devices, 월간 JG생산기술 Vol.3 No. 5, 2000, PP 24~28