

48 μ BGA에 적용한 무연솔더의 시효처리에 대한 금속간화합물의 특성

신영의 · 이 석 · 코조 후지모토* · 김종민*

중앙대학교 기계공학부, *오사카대학교 기계공학대학원

Characteristic of Intermetallic Compounds for Aging of Lead Free Solders Applied to 48 μ BGA

Young Eui Shin, Suk Lee, Kozo Fujimoto* and Jong Min Kim*

Dept. of Mechanical Engineering, Chung-ang University, Seoul 154-756, Korea

*Graduate School of Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan

초 록: 지금 까지 전자패키지 접합에 사용되어온 Sn/37Pb 솔더는 낮은 용융온도와 우수한 물리적 특성, 그리고 저렴한 가격 등으로 널리 사용되었다. 그러나 납의 독성으로 인한 환경문제와 인체 유해성이 문제화되면서 이를 대체할 무연솔더의 요구가 시급한 실정이다. 또한 제품의 소형화에 따른 접합부의 미세화로 인한 접합부신뢰성이 요구되고 있다. 본 연구에서는 현재 Sn/37Pb 솔더를 사용하여 제품에 사용되고 있는 48 μ BGA 패키지를 사용하여 Sn/Ag 계열의 두 무연솔더인 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi를 접합하여 장기신뢰성을 시효처리를 통하여 제시하였다. 시효처리는 130°C, 150°C, 170°C 온도에서 각각 300, 600, 900 시간동안 하였으며, 시효처리에 따른 전단강도와 각 솔더의 활성화에너지를 구하여 Sn/37Pb 솔더와 비교하였다. 두 무연솔더의 시효강도는 Sn/37Pb 솔더 보다 우수하였으며, 시효처리에 따라 형성된 솔더내부의 금속간화합물의 형상으로부터 균열의 성장과 형성에 대하여 논하였다. 이런 실험결과들로부터 두 무연솔더의 장기신뢰성 측면에서 대체가능성을 제시하였다.

Abstract: The concerns of the toxicity and health hazard of lead in solders have demanded the research to find suitable lead-free solder alloys. It was discussed that effect of the intermetallic formation and structure on the reliability of solder joints. In this study, lead-free solder alloys with compositions of Sn/3.5Ag/0.75Cu, Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi were applied to the 48 μ BGA packages. Also, the lead-free solder alloys compared with eutectic Sn/37Pb solder using shear test under various aging temperature. Common μ BGA with solder components was aged at 130°C, 150°C and 170°C. And the each temperature applied to 300, 600 and 900 hours. The thickness of the intermetallics was measured for each condition and the activation energy for their growth was computed. The fracture surfaces were analyzed using SEM (Scanning Electron Microscope) with EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). These results for reliability of lead-free interconnections are discussed.

Key words: Lead free solder, Intermetallic, Aging, 48 μ BGA(48 Micro ball grid array), Activation energy

1. 서 론

최근의 전자제품들은 고기능화, 소형화, 경량화 추세에 있으며, 이에 따른 전자제품 내부의 패키지 또한 경박 단소화 추세에 있다. 패키지의 소형화추세로 인하여 미세한 접합부의 신뢰성에 대한 연구들이 요구되고 있다.

CSP (Chip scale package) 계열의 48 μ BGA (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)은 솔더와 구리패드 사이에 층

으로 형성된다. 이렇게 형성된 구리패드와 솔더 계면의 금속간화합물 층은 솔더 접합부의 기계적인 강도 저하의 원인인 균열의 성장 유도작용으로 알려져 있다¹⁾. 그리고 환경에 대한 관심이 높아지면서 세계각국에서 납을 배제한 무연솔더의 연구²⁻⁵⁾가 활발히 이루어지고 있으며, 규제의 범제화를 도모하여 실행에 직면하게 될 날이 멀지 않았다. 이는 무연솔더의 적용여부가 기업의 생존에 중요한 인자가 될 수 있다는 것을 뜻하므로 우리나라에서도 하루 빨리 무연솔더에 대한 대비책이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 현재 Sn/37Pb 솔더를 실장하여 제품에 사용되는 48 μ BGA 패키지를 사용하여 지름 0.35 mm인 두 무연솔더볼 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi를 접합재료로 적용하여 솔더 접합부의 초기접합 강도와 시효처리에 따른 시효강도를 전단강도실험을 통해 측정하였다. 각 무연솔더의 재료 변화를 비교하기 위해서 활성화에너지를 구하였으며, Sn/37Pb 공정솔더와 비교하였다.

2. 실험방법

2.1. 48 μ BGA 패키지

실험에 사용된 48 μ BGA는 칩보다 0.5 mm큰 6.3×6.2 mm이며, 구리 패드간 피치는 0.75 mm인 CSP 계열의 패키지이다. 칩과 폴리미드 필름(Polyimide film) 사이에는 응력완화재로 일레스트머(Elastomer)를 사용하였으며, 구리패드에 도금한 Au 두께는 1.0±0.3 μ m이다.

2.2. 솔더링 및 플럭스

실험에 사용된 무연솔더는 센주메탈(Sanju metal industry)사의 지름 0.35 mm의 3원계 M31인 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 4원계 M41인 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi이며, 각 용융온도는 217°C와 211°C이다. 솔더링에 사용된 플럭스는 저잔사, 무세정, 광택표준품인 알파메탈(Alpha metal)사의 로진(Rosin)계 RMA SR-12를 사용하였다.

2.3. 리플로우

솔더링에 사용된 리플로우 장비는 코오키(Koki)사의 적외선 · 열풍 혼합방식으로서 전체 리플로우 시간은 5분이고 Conveyer 속도는 0.55 m/min이다. 각 솔더의 최고온도는 Sn/37Pb 230°C, Sn/Ag계열 무연솔더 260°C로 하였다. 액상상태 유지시간은 약 60초로 설정하여 금속간화합물의 높이가 전단강도에 미치는 영향과 패키지에 미치는 영향을 최소화하였다⁶⁾.

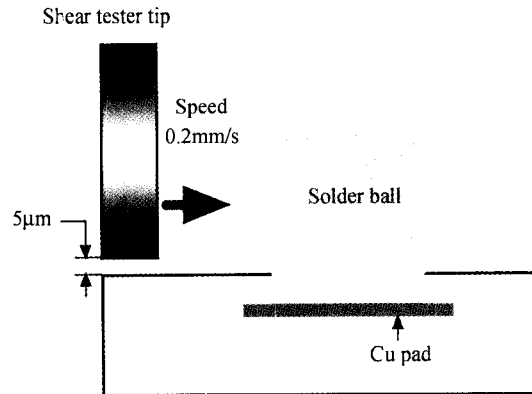


Fig. 1. The method of shear test.

2.4. 전단 실험

전단 실험은 레스카(Rhesca)사의 Bonding Tester PTR-1000을 사용하였으며, 팁(Tip)의 속도는 0.2 mm/s, 접지 높이는 5 μ m조건에서 실험하였다. Fig. 1에 전단실험 방법을 나타내었다. 전단강도 값은 조건마다 3개 시편의 각각에서 24개의 솔더볼(Solder ball)을 실험하였으며, 최대와 최소를 제외한 평균값을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전단하중

48 μ BGA의 패드 지름은 0.3 mm이며, 이런 미세 접합부의 기계적 성질의 변화를 검토하기 위해서 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi, Sn/37Pb 공정솔더의 전단강도를 시효처리에 따라 측정하여 각 조건에 따라 값을 비교하였다. 세 종류의 솔더 모두 초기접합의 전단

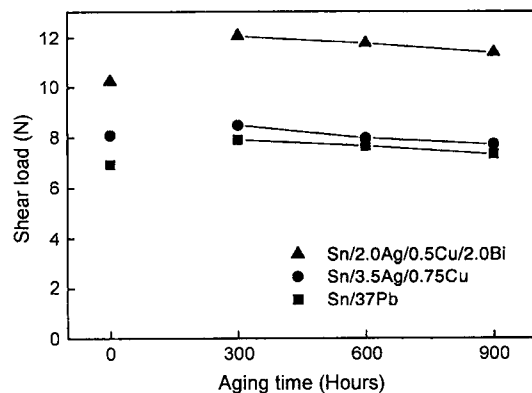


Fig. 2. Relation between aging time and shear load with solder alloys at aging temperature 170°C.

강도 실험에서는 솔더부의 파단을 보여주었다. Fig. 2는 시효온도 170°C에서 0, 300, 600, 900 시간 동안 시효처

리 한 후에 전단강도를 측정하였다. 측정결과 두 무연 솔더는 전체적인 시효조건에서 Sn/37Pb 솔더 보다 높은

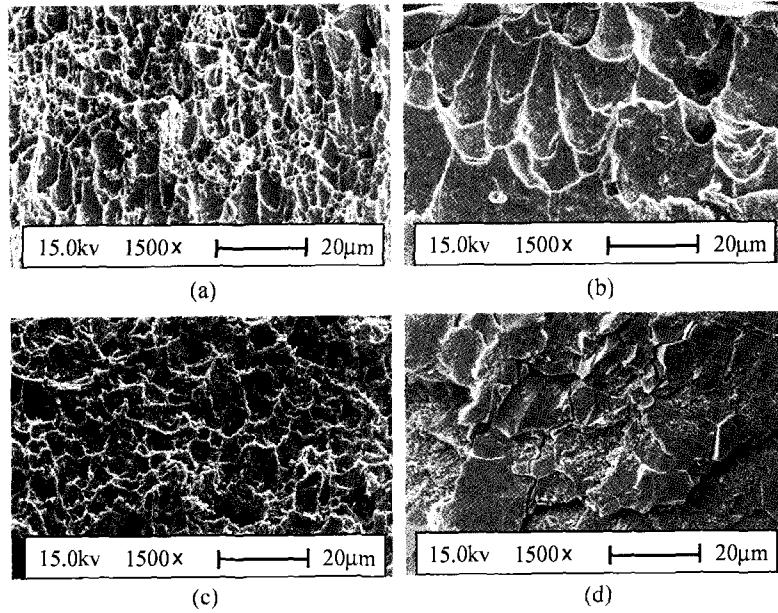


Fig. 3. Fracture surface of Sn/3.5Ag/0.75Cu (a: No aging, b: Aging 170°C, 900 h) and Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi (c: No aging, d: Aging 170°C, 900 h)

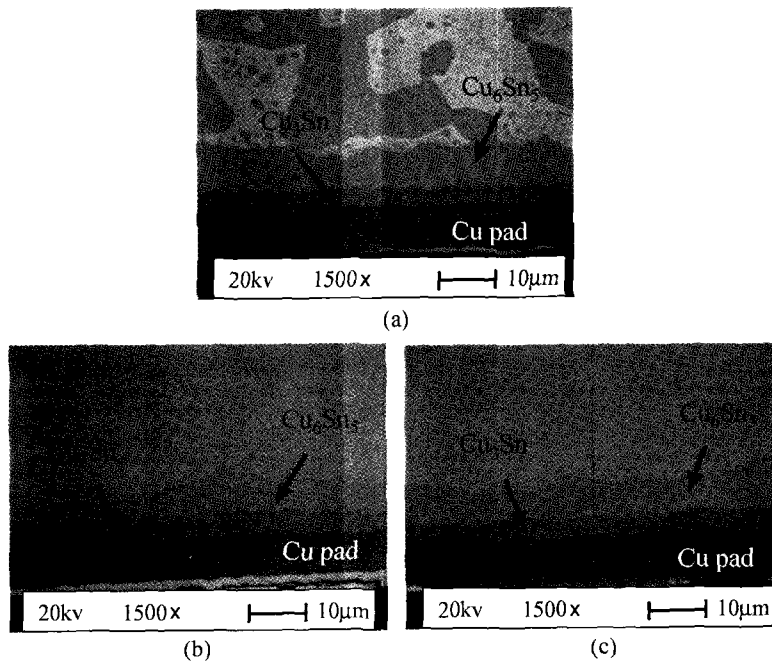


Fig. 4. Two phases of intermetallic compounds with solder alloys (a: Sn/37Pb, b: Sn/3.5Ag/0.75Cu, c: Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi).

강도를 보였으며 Bi가 첨가된 4원계 무연솔더는 높은 재료강성을 보여주었다. 초기접합강도 보다 시효 300시간 이후의 강도가 높은 것은 시효처리에 따른 미세 석출물로 인한 시효경화 현상에 기인한 것으로 판단되며, 세 솔더 모두 시효 시간이 증가함에 따라 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 3은 무연솔더의 시효처리 시간에 따라 전단강도실험에 의한 파단면을 보여주었다. 시효처리전의 파단면에서는 작은 입자에 의한 파단을 관찰할 수 있으며, 시효온도 170°C, 900시간 후의 파단면 입자는 상당히 성장한 것을 관찰할 수 있었다. 이는 시효처리에 의해서 성장한 입자의 크기가 증가할 수록 강도는 저하하는 것으로 판단된다.

3.2. 금속간화합물

전자 패키지의 열피로파괴는 일반적으로 솔더와 금속간화합물 층의 계면을 따라 성장하는 균열로 발생한다. 본 실험에서는 금속간화합물 층을 관찰하기 위해서 시효처리한 시편의 단면을 연마하여 SEM (Scanning Electron Micrography)과 EDS (Energy Dispersive spectroscopy)로 관찰 · 분석하였다.

시효처리하지 않은 초기접합에서는 η상(Cu₆Sn₅)만이 관찰되었으나 시효처리 이후에는 ε상(Cu₃Sn)도 관찰되었다. Fig. 4는 170°C, 900시간 시효처리 이후의 단면에 나타난 두 종류의 금속간화합물 층을 나타내었다. Fig. 5는 ε상(Cu₃Sn)으로 예상되는 부분의 EDS 성분분석 결과를 나타낸 것이다. η상(Cu₆Sn₅)은 솔더와 구리패드 사이에서 솔더 방향으로 생성되는데 이는 Cu가 Sn보다 확산속도가 빨라 침입형 확산을 하기 때문으로 알려져 있

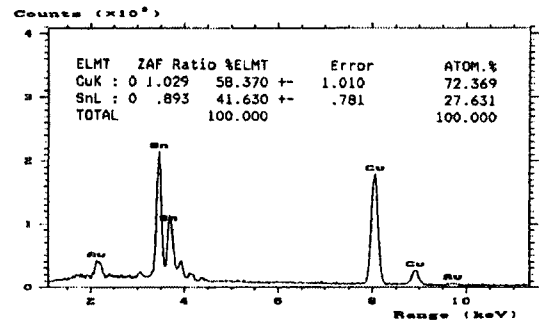


Fig. 5. Composition analysis of intermetallic compounds layer.

Table 1. Thickness of intermetallic compound layer with solder alloys in aging conditions

Unit: μm

Sn/37Pb	Aging temp (°C)	130	150	170
	Aging time (Hour)			
	300	4.124	5.714	8.243
	600	4.722	6.563	9.984
Sn/3.5Ag/0.75Cu	Aging temp (°C)	130	150	170
	Aging time (Hour)			
	300	3.402	5.049	6.761
	600	4.178	6.260	9.551
Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi	Aging temp (°C)	130	150	170
	Aging time (Hour)			
	300	3.556	4.657	6.577
	600	4.124	6.355	8.637
	900	5.027	7.123	10.006

η상보다 핵 생성이 어렵기 때문으로 알려져 있다⁷⁾.

Sn/3.5Ag/0.75Cu 무연솔더 내부에 다량 분포된 구형 모양의 금속간화합물은 피로파괴를 유발하는 균열의 성장을 지연하는 역할을 함으로서 균열이 처음 시작되는 폴리미드 필름과 솔더의 접합부에서 구리패드 위의 금속간화합물 층까지 도달하는 시간을 지연시켜 피로파괴 수명을 연장시킬 것으로 예상된다⁸⁾.

3.3. 활성화 에너지

48 μBGA에서 열피로파괴를 유발하는 균열은 결정입계(Grain boundary)를 따라 성장하며, 결정 입자가 클수록 균열은 빠르게 성장한다. 활성화 에너지를 계산하여 입자의 성장을 예상해 보았다. 일반적으로 금속간화합물층의 두께와 시효 시간의 관계는 아래 Arrhenius식으로 나타낸다. 또한 각 시효조건에 따른 금속간화합물층의 두께는 Table 1에 나타내었습니다.

$$d = \sqrt{Dt} \tag{1}$$

여기서 d : 금속간화합물 층의 두께
 D : 확산계수
 t : 시효시간

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

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \tag{2}$$

여기서 D_0 : 확산상수
 Q : 활성화 에너지
 k : 기체 상수
 T : 시효 온도(K)

활성화 에너지를 구하기 위해서 각 솔더를 시효온도 130, 150, 170°C 각각의 온도마다 300, 600, 900 시간씩 시효처리 했으며, 그 결과 Sn/37Pb는 58.03 kJ/mol, Sn/3.5Ag/0.75Cu는 53.54 kJ/mol, Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 64.44 kJ/mol로 계산되었다. 즉, 상대적으로 Sn/37Pb 솔더 보다 활성화에너지가 높은 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 조직의 변화가 적고, Sn/37Pb 솔더 보다 활성화에너지가 낮은 Sn/3.5Ag/0.75Cu는 조직의 변화가 많을 것으로 예상된다. Fig. 6은 세 종류 솔더에 대한 활성화 에너지를 나타내었으며, 각기 다른 활성화 에너지 값을 보인 솔더의 단면을 관찰한 결과 Sn/37Pb 솔더는 Pb rich상을 관찰할 수 있었으며, 상대적으로 낮은 활성화 에너지를 보인 Sn/3.5Ag/0.75Cu는 솔더 내부에 전체적으로 분포된 작고 둥근 형태의 금속간화합물을 볼 수 있었다. 또한 Sn/

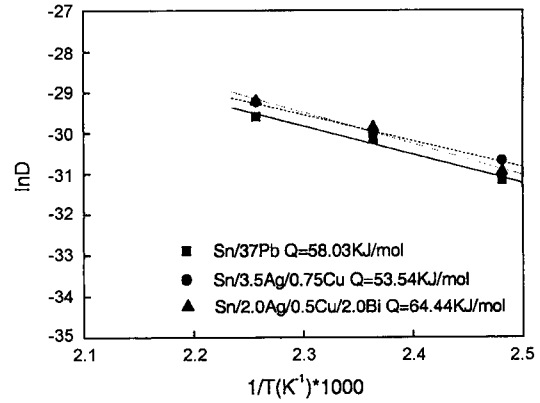


Fig. 6. Activation energy of solder alloys.

2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 세로방향으로 형성된 덩어리 형태의 금속간화합물을 관찰할 수 있었다. 그리고 솔더 내부에 형성된 금속간화합물은 η 상으로 분석되었다. 이것은 솔더내부에 Cu가 함유되어 솔더자체에서도 금속간화합물이 형성되는 것으로 판단된다

4. 결 론

48 μBGA에 기존의 Sn/37Pb 공정솔더와 환경친화적인 무연솔더 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi를 접합한 후 시효처리하여 장기신뢰성을 검토하였다.

시효처리 이후의 전단강도 측정에서 Sn/3.5Ag/0.75Cu는 Sn/3.5Pb 공정솔더 보다 약 0.38 N (4.88%) 큰 강도를 보였으며, Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 Sn/37Pb 공정솔더 보다 약 4.14 N (35.71%) 큰 강도를 보였다. 또한 솔더의 활성화 에너지를 비교하면 Sn/3.5Ag/0.75Cu가 Sn/37Pb 공정솔더 보다는 4.49 kJ/mol (8.39%) 낮게 나왔으나 솔더내부에 형성된 구형 형태의 금속간화합물이 균열의 성장을 지연시킬 것으로 판단되며, Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 Sn/37Pb 공정솔더 보다 초기접합 하중과 모든 시효조건에서의 높은 전단하중, 그리고 6.41 kJ/mol (9.95%)의 높은 활성화 에너지 값을 가진다. 이로 인하여 실제 전자제품에서 받을 온도에서는 내부 조직의 변화가 적게 일어나 높은 강도를 장시간 유지할 수 있을 것으로 예상된다. 그러므로 열피로에 의한 초기 균열이 발생하기 위해서는 장시간과 많은 에너지가 필요할 것으로 판단된다.

이런 이유들로 인하여 두 무연솔더 Sn/3.5Ag/0.75Cu와 Sn/2.0Ag/0.5Cu/2.0Bi는 장기신뢰성 측면에서 Sn/37Pb 공정솔더를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 연구과제인 'Lead-free solder 재료를 이용한 Micro BGA Solder 접합부의 신뢰성에 관한 연구'의 일부분입니다. 또한 관계자 여러분께 감사드립니다. (과제번호: 801-2000-00227)

참고문헌

1. Alex C. 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, pp161-166 (1997).
2. Karl Seeling and David Suraski, The Status of Lead-Free Solder Alloys, 2000 Electronic Components and Technology Conference, pp1405-1409 (2000).
3. Tadashi Takemoto, The Recent Situation of Lead-containing Solder Regulation and Replacement to Environmentally Compatible Lead-free Solder. Journal of The Japan Welding Society, vol. 69 no. 2, pp6-13 (2000).
4. J.R. Oliver, J. Liu, and Z. Lai, Effect of Thermal Ageing on the Shear Strength of Lead-free Solder Joints, 2000 International Symposium on Advanced Packaging Materials, pp152-157.
5. K. S. Shin, M. I. Kim, J. P. Jung, Y. E. Shin, and Kozo Fujimoto, A Study on The Solderability of Micro-BGA of Sn-3.5Ag-0.7Cu, Journal of the Microelectronics & Packaging Society, vol. 7, no. 3, pp55-61 (2000).
6. Thomas W. and Edwards, Solder Joint Similarities between BGA/CSP and Other Surface Mount Devices, 월간 LG생산기술 vol. 3, no. 5, pp24-28 (2000).
7. K. N. Tu, Acta Metall, Apr, pp347 (1973).
8. Askeland. Donald R, The Science and Engineering of Materials, Third Edition, PWS Publishing Company, United States, pp264-268