

MCP 를 위한 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프의 계면 미세구조에 따른 전기적 및 기계적 특성 평가

Electrical and Mechanical Characteristics of Cu pillar/Sn-3.5Ag for Multi-Chip Package

곽병현, 정명혁, *#박영배

B. H. Kwak, M. H. Jeong, *#Y. B. Park(ybpark@andong.ac.kr)

안동대학교 신소재공학부 청정소재기술연구센터

Key words : Multi-chip package, Cu pillar/Sn-3.5Ag bump, Intermetallic compound, electromigration

1. 서론

최근 전자제품의 소형화 및 고성능화 추세에 따라 TSV 공정을 만족시키는 3 차원 적층 MCP(Multi-Chip Package) 기술이 활발히 연구되고 있다. 이러한 가운데 플립칩 기술은 기존의 패키지에 비해 고성능 및 고기능화를 이룰 수 있다.[1] 하지만 솔더범프는 100 μm 이하의 미세피치에서 인접 범프간의 접합(bump bridging)을 유발하고 패키지 내 전류밀도를 증가시켜 Electromigration 에 의한 신뢰성 문제를 야기시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 새로운 형태의 범프 구조가 필요하다. Cu pillar/solder cap 구조는 곧은 Cu pillar 와 비교적 적은 솔더량을 가지고 있어 인접 범프간의 접합이 발생하지 않아 미세피치를 적용할 수 있다. 뿐만 아니라, 두꺼운 Cu pillar 는 우수한 전기전도도 및 열전도도, 그리고 Electromigration 에 의한 전기적 및 기계적 신뢰성 저하 문제를 해결 할 수 있다.[2] 하지만, 기존 솔더범프에 비해 상대적으로 적은 양의 솔더는 접합부 계면에 조대한 금속간화합물(Intermetallic Compound) 및 커켄달보이드(Kirkendall void)를 형성시켜 접합부의 전기적 및 기계적 신뢰성을 저하시킨다. 현재 Cu pillar 범프 구조에서의 금속간화합물의 형성 및 성장거동에 대한 연구는 기존 솔더범프 구조에 대한 연구에 비해 많이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 등은 열처리 시간에 따른 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프 접합부 계면에서 금속간 화합물 성장 거동을 비교 분석하고 die shear test 를 통하여 기계적인 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프에서 접합부의 금속간화합물 형성과 성장거동을 실시간으로 관찰하기 위해 그림 1 과 같이 시편 구조를 형성하였다. Si 으로 구성되어 있는 상부 칩에 스퍼터로 2 μm 두께의 Al 박막을 형성하였다. 그 위에 전기도금을 통하여 약 40 μm 두께의 Cu 와 3 μm 의 Sn-3.5Ag 을 형성하였고, 같은 공정으로 20 μm 의 Cu 와 3 μm 의 Sn-3.5Ag 을 형성하여 서로 플립칩 본딩(flip-chip bonding)을 실시하였다. 열처리 및 전류인가에 따른 금속간화합물의 형성 및 성장을 실시간으로 관찰하기 위해 시편을 단면 폴리싱한 후, 각각 120 ~ 175 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도와, $2.5 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 의 전류밀도 조건에서 실험을 실시하였다. 또한 열처리 시간에 따른 기계적 특성을 알아보기 위해 150 $^{\circ}\text{C}$ 의 고정된 온도에서 0~1000h 까지 열처리를 실시한 후 각 시편으로 die shear test 를 이용한 진단실험을 실시하였고 진단속도는 100 $\mu\text{m/s}$ 로 수행하였다. 솔더 접합부의 미세구조 변화와 파면 분석은 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)의 BSE(back scattered electron)사진과 EDS(energy dispersive x-ray spectroscopy)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 토의

온도 및 전류 인가에 따른 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프에서의 금속간화합물 형성과 성장거동을 관찰하기 위해 120~175 $^{\circ}\text{C}$, $2.5 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 의 조건에서 일정한 시간 동안 열처리 및 전류인가를 실시하였다. 한 온도 조건에서 금속간화합물 성장을 열처리 시간에 따라

정량적으로 분석한 결과 열처리가 진행됨에 따라 금속간화합물은 시간의 제곱근에 비례하는 경향을 보였다. 이는 열처리시 Cu 와 솔더 사이의 금속간 화합물 성장이 확산에 의해 지배되어졌기 때문이라 판단된다. 그러나 60 시간이 경과하였을 때 솔더의 양은 모두 소모가 되고 금속간화합물 성장 기울기도 변하게 되었다. 반면에 electromigration 의 경우 Cu_3Sn 금속간화합물의 성장거동은 전류인가 시간이 경과함에 따라 시간에 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 이는 Cu 와 솔더 사이의 금속간화합물 성장이 반응에 의해 지배되어졌기 때문이라 판단된다. 그러나 40 시간이 지난 후에는 열처리의 경우와 마찬가지로 금속간화합물 성장 기울기는 변하였다.[3] 솔더의 완전한 소모로 인한 금속간화합물 성장거동의 변화는 electromigration 의 경우가 열처리의 경우보다 훨씬 빠르게 나타났다. 이는 electron wind force 가 금속간화합물의 생성을 촉진하여 솔더의 소모되는 시간에 영향을 미쳤기 때문이라 판단된다.

열처리 시간에 따른 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프의 금속간화합물 성장거동에 따른 기계적 특성을 알아보기 위한 그래프를 Fig. 2 에 나타내었다. 초기 열처리 전의 강도는 약 35MPa 의 값을 나타냈다. 열처리 시간이 증가함에 따라서 강도값은 증가하다가 200°C에서 증가 기울기가 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 이 transition time 은 금속간화합물 성장 그래프와 비교하였을 때 솔더가 완전히 소모되는 시간과 관련이 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

열처리 및 electromigration 에 따른 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프 내의 금속간화합물의 성장거동을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 금속간화합물의 성장거동은 Cu pillar/Sn-3.5Ag 범프 내 솔더가 모두 소모될 때 전체 금속간화합물 성장 기울기가 변화하였고, electromigration 의 경우가 열처리의 경우보다 훨씬 빠르게 나타났다. 또한 열처리 시간에 따른 강도 증가 기울기가 변하는 것은 솔더가 완전히 소모되는 시간과 관련이 있는 것으로 판단된다.

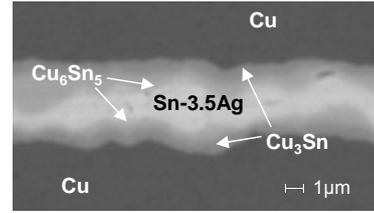


Fig. 1 SEM image of the cross-sectioned Cu pillar/Sn-3.5Ag bump structure

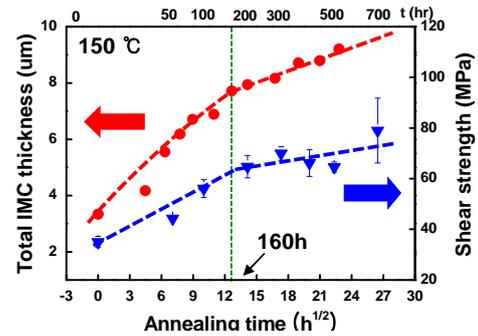


Fig. 2 Variations of the shear strength and total IMC thickness with annealing time at 150°C.

후기

본 연구는 지식경제부, 산업기술연구회의 협동연구사업 일환인 "차세대 반도체 MCP 핵심 기술 개발 사업"의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. N. Chiang, C. C. Lee, C. C. Lee, and K. M. Chen, "Current crowding-induced electromigration in SnAgCu microbumps", *Appl. Phys. Lett.* **88**, 072102 (2006).
2. M. Ding, G Wang, B. Chao, P. S. Ho, P. Su and T. Uehling, "Effect of contact metallization on electromigration reliability of Pb-free solder joints", *J. Appl. Phys.* **99**, 094906 (2006).
3. M. H. Jeong, J. W. Kim, B. H. Kwak, B. J. Kim, K. W. Lee, J. D. Kim, Y. C. Joo, and Y. B. Park, "Intermetallic Compound Growth Characteristics of Cu/thin Sn/Cu Bump for 3-D Stacked IC Package", *Kor. J. Met. Mater.*, **49(2)**, 180-186, 2011.