

# 금속간화합물의 분석을 통한 Sn-Ag 솔더 접합부의 미세파괴특성 평가

정아람, 정중현, J.W. Evans, 권동일<sup>1)</sup>

## Assessment of micro-fracture characteristics of Sn-Ag solder joint by analysis of intermetallic compounds

A. Jeong, J.-h. Jeong, J.W. Evans, and D. Kwon

### 요약

전자 산업의 발달에 따라 전자 패키지에서 소자의 소형화 및 고집적화가 가속화 되고 그로 인해 interconnection 부분의 신뢰성 평가의 중요성이 나날이 증가되고 있다. 특히 이러한 interconnection 부분 중 솔더 접합부는 사용중 솔더와 UBM(Under Bump Metallurgy) 층 사이에 금속간화합물이 생성되어 접합 강도가 저하되는 것이 큰 문제로 지적되고 있다. 본 연구에서는 공정 Sn-Ag 솔더 접합부에 대해 열시효 시간에 따라 접합 강도를 측정하고 파괴 기구 및 파괴 경로의 분석을 통해 접합 강도 변화와의 연관성을 도출하고자 하였다. 그 결과 열시효 초기에는 미세 조직의 조대화 및 불균일 조대 성장이 가속화되면서 응력 및 변형 집중으로 인해 솔더 내부에서 연성 파괴가 일어나 급격한 접합 강도의 저하가 발생하였으나 금속간화합물이 생성, 성장함에 따라 금속간화합물 내부에서의 취성 파괴가 나타나면서 접합 강도 저하가 포화되는 경향을 보였다.

### 1. 서론

전자 산업의 발달과 더불어 전자 패키지에서 소자의 소형화 및 고집적화에 의해 단위 면적당 발열량이 증가함에 따라 발생하는 열문제로 인해 각 소자는 물론이고 소자를 연결하는 interconnection 부분의 신뢰성이 전체 패키지의 신뢰성을 좌우하는 중요한 관건이 되고 있다. 이러한 interconnection 부분 중에서 특히 솔더 접합부는 각 레벨의 패키지를 전기적, 기계적으로 연결하는 매우 중요한 역할을 하는데, 구조상 크게 솔더 볼과 UBM(Under Bump Metallurgy) 층으로 구성되어 있다. UBM 층은 기판 및 보호층과의 접합을 좋게 하기 위한 adhesion layer, 솔더링시

---

1) 서울대학교 재료공학부, 서울특별시 관악구 신림동 산56-1

솔더와 기판 사이의 젖음성을 좋게 하기 위한 wetting layer 및 UBM 층의 과도한 확산을 억제하기 위한 barrier layer 등으로 구성되는데 솔더 불과 wetting layer 사이에 원자 확산으로 인해 솔더링 공정 및 사용 중 금속간화합물이 생성된다[1, 2]. 그런데 솔더 접합부는 사용중 지속적인 전기적 on/off 및 열방출 불량으로 발생하는 열시효 및 열피로에 의해 이러한 금속간화합물이 과도하게 성장하여 접합 강도가 급격히 저하되는 것이 큰 문제로 지적되고 있다. 기존의 솔더 접합부에는 주로 다양한 조성비를 가지는 Sn-Pb 계열의 솔더가 사용되어 왔고, 이러한 Sn-Pb 솔더에서는 열피로에 의해 솔더 내부에서 불균일 과대 성장 및 주석의 소모로 인해 용력, 변형 집중에 의한 연성 파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다[3, 4]. 그러나 최근 환경 오염 문제로 인해 납을 대체하여 개발되고 있는 다양한 비납 솔더중 Sn-Ag 솔더는 고온 강도가 높기 때문에 자동차 부품용 패키지와 같은 고온 분위기에서 많이 사용되고 있다[5]. 이러한 Sn-Ag 솔더에서는 Sn-Pb 계열의 솔더에서와는 달리 금속간화합물의 생성으로 인한 취성 파괴가 주요한 파괴 원인으로 보고되고 있다[6, 7, 8]. 따라서 본 연구에서는 Sn-Ag 솔더에서 열시효시 생성되는 금속간화합물에 의한 미세파괴거동의 변화를 고찰하고 접합 강도 변화와의 연관성을 확립하고자 한다.

## 2. 실험방법

기판 재료로는 가로, 세로의 길이가 각각 5mm이고 두께가 0.5mm인 Ti를 사용하였다. Ti 기판을  $1\mu\text{m}$  다이아몬드 페이스트로 미세 연마한 뒤 RF 스퍼터링을 이용하여  $0.7\mu\text{m}$  두께로 Cu를 증착하였다. 솔더 재료는 Sn-3.5wt%Ag를 사용하였으며 솔더 케를  $100\mu\text{m}$  두께로 압연한 뒤 hot plate 위에서 리플로우 솔더링을 통해 Cu가 증착된 기판 위에 솔더링하였다. 솔더링시 최고 온도는  $250(\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 였으며, 녹는점 이상에서의 유지 시간은  $27(\pm 5)$ 초였다. 열시효를 위해 솔더링된 시편을 대류 오븐 내에서 1, 9, 25, 36, 49, 81시간 동안 유지하였다. 열시효된 시편에 대해 접합 강도를 측정하기 위해 pull test를 실시하였으며 수직 단면의 미세 조직 관찰을 위해  $0.3\mu\text{m}$ 의 알루미늄 분말로 연마한 뒤, 미세 조직을 더욱 명확하게 관찰하기 위해 2%  $\text{HNO}_3$ -5%  $\text{HCl}$ -93% 메틸알콜 용액으로 에칭하였다. Pull test 및 연마한 시편에 대해 20kV의 가속 전압을 가진 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 파단면 및 수직 단면을 관찰하였다. 또한 파단면에 대해서는 EDX(Electron Dispersive X-ray), 수직 단면에 대해서는 EPMA(Electron Probe Microanalysis)를 통해 성분 분석을 행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1에 열시효 시간에 따른 pull test 결과를 나타내었다. 열시효 시간이 증가할수록 접합 강도가 감소하는 것을 알 수 있는데 특히 25시간 이후에는 접합 강도의 저하가 포화되어 거의 비슷한 접합 강도를 가지는 것으로 나타났다. 이를 통해 시효 시간 25시간 이후에는 파괴 기구가 변화하여 파괴 거동이 다른 양상을 보이게 된 것으로 유추해 볼 수 있다.

이러한 열시효에 따른 접합 강도의 변화를 분석하기 위해 시효 시간별로 단면에

대한 SEM 사진을 그림 2에 나타내었다. 열시효 시간이 증가함에 따라 미세 조직이 조대화됨을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 열시효 시간이 증가할수록 가속화되고 있으며, 특히 25시간 열시효시킨 시편의 경우에는 거대한 불균일 조대화 영역이 존재하기도 하였다. 이것은 또한 그림 3에서 보는 바와 같이 수직 단면의 EPMA mapping에 의해서도 알 수 있는데 열시효 시간이 증가할수록 전반적으로 Sn, Ag rich 영역의 분리 정도가 증가하며 이러한 영역 자체의 크기도 증가하는 경향을 보였다. 그리고 Cu는 솔더 내부 쪽으로의 확산 정도가 컸지만 Ti는 거의 확산이 일어나지 않았다.

먼저 초기 접합 강도의 급격한 저하가 나타나는 부분에 대해서는 그림 4에서 보는 바와 같이 9시간 시효된 시편에 비해 25시간 시효된 시편의 파면 조직에서 상당히 조대화가 진행되었으며, 또한 그림 2에서 본 바와 같이 불균일 성장이 심하게 일어났음을 알 수 있다. 이를 통해 불균일 과대 성장된 부분에서 소성 불균일에 의해 응력 및 변형이 집중되어 파괴가 일어난 것으로 판단되었다. 또한 그림 5에 나타난 바와 같이 파면의 EDX 분석 결과 9시간 시효된 시편에 대해 금속간화합물이 거의 검출되지 않았으므로 파괴는 솔더 내부에서 일어난 것으로 판단할 수 있었다. 이러한 결과를 종합해 보면 열시효에 따라 미세 조직 성장이 가속화되어 접합 강도가 급격히 저하된 것으로 판단되었다.

한편, 25시간 이상 열시효된 시편에 대해서는 접합 강도의 저하가 포화되는 경향을 보였는데 이는 그림 6의 25시간 시효된 시편 파면의 SEM 사진과 EDX 분석 결과를 통해 그 원인을 찾고자 하였다. 파괴가 시작된 부분의 EDX 정량 분석 결과를 보면 Cu와 Sn의 원자 비율이 43.43%, 20.91%로 나타났는데 이는 Cu 대 Sn의 원자비로 2.08에 해당하는 값이므로  $Cu_6Sn_5$ 의 원자비 1.2와  $Cu_3Sn$ 의 원자비 3의 중간값이다. 이로부터  $Cu_3Sn$ 의 생성을 확인할 수 있었고 주변 부분의 EDX 분석 결과 금속간화합물이 검출되지 않았으므로 파괴는 매우 취약한  $Cu_3Sn$ 의 생성 및 성장으로 인한 취성 파괴로 일어난 후 연한 솔더 내부로 진전되었다는 것을 알 수 있었다[9, 10]. 그리고 앞에서 언급한 미세 조직의 조대화 및 불균일 조대 성장이 가속화되었음에도 불구하고 취약한  $Cu_3Sn$ 에서의 취성 파괴가 25시간 이후에도 계속 유지되어 접합 강도 저하의 포화 현상이 일어난 것으로 해석할 수 있었다.

#### 4. 결론

Sn-Ag 솔더 접합부의 열시효에 따른 미세파괴특성을 금속간화합물의 분석을 통해 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 열시효 시간이 증가함에 따라 전반적으로 미세 조직이 조대화되었으며 불균일 조대화 현상도 심화되었다. 그리고 Sn 및 Ag rich 영역의 분리 현상이 심화되었고 그 영역 자체의 크기도 증가하였으며 Cu의 솔더 내부로의 확산 현상도 가속화되었다.

2) 열시효 25시간 이전의 초기 부분에서는 솔더 내부에서 연성 파괴가 일어났으며

접합 강도는 급격하게 저하되었다. 이는 분석 결과 미세 조직 조대화 및 불균일 조대 성장에 의한 응력 및 변형 집중으로 인해 연성 파괴가 일어난 것으로 보이며 미세 조직 성장의 가속화에 의해 접합 강도가 급격히 저하된 것으로 판단되었다.

3) 열시효 25시간 이후에는 접합 강도 저하가 포화되고 파괴는 금속간화합물에서 시작되어 솔더 내부로 진전되는 경향을 보였다. 이는 미세 조직의 조대화 및 불균일 조대 성장의 가속화 현상에도 불구하고  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 의 생성 및 취성 파괴에 의해 거의 비슷한 접합 강도를 나타낸 것으로 판단되었다.

## 5. 참고문헌

- 1) E.K. Yung and I. Turlik, "Electroplated Solder Joints for Flip-Chip Applications," *Proc. 1991 IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology Conference*, pp. 772-778.
- 2) B. Gibson, "Flip Chips: The Ultraminiature Surface Mount Solution," *Surface Mount Technology*, 1990, pp. 23-25.
- 3) R.J. Fields, S.R. Low, III, and G.K. Lucey, Jr., "Physical and Mechanical Properties of Intermetallic Compounds Commonly Found in Solder Joints," in *The Metal Science of Joining*, 1991, pp.165-174.
- 4) J.W. Morris, Jr., D. Trubula, T.S.E. Summers, and D. Grivas, "The Role of Microstructure in Thermal Fatigue of Pb-Sn Solder Joints," in *Solder Joint Reliability*, 1991, pp. 225-265.
- 5) S.K. Kang, "Lead (Pb)-Free Solders for Electronic Packaging," *Journal of Electronic Materials*, 1994, vol. 23, pp. 701-707.
- 6) W. Yang and R.W. Messler, Jr., "Microstructure Evolution of Eutectic Sn-Ag Solder Joints," *Journal of Electronic Materials*, 1994, vol. 23, pp.765-772.
- 7) Y.Y. Wei and J.G. Duh, "Effect of Thermal Ageing on (Sn-Ag, Sn-Ag-Zn)/PtAg, Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Solder Joints," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 1998, vol. 9, pp. 373-381.
- 8) J.L. Marshall, "Gold Embrittlement in Soldering Process," *Int. J. of Hybrid Microelectr.*, 1985, vol. 6, p. 10.
- 9) Y. Wu, J.A. Sees, C. Pouraghabagher, L.A. Foster, J.L. Marshall, E.G. Jacobs, and R.F. Pinizzotto, "The Formation and Growth of Intermetallics in Composite Solder," *Journal of Electronic Materials*, 1993, vol. 22, pp. 769-777.
- 10) D. Grivas, D. Frear, L. Quan, and J.W. Morris, Jr., "The Formation of  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  Intermetallic on the Reaction of Cu with 95Pb-5Sn Solder," *Journal of Electronic Materials*, 1986, vol. 15, pp. 355-359.

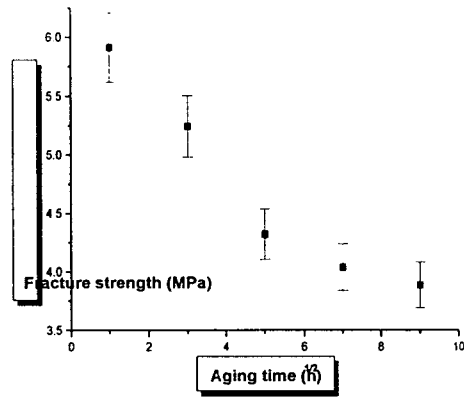


Fig. 1 Pull test results with respect to aging time

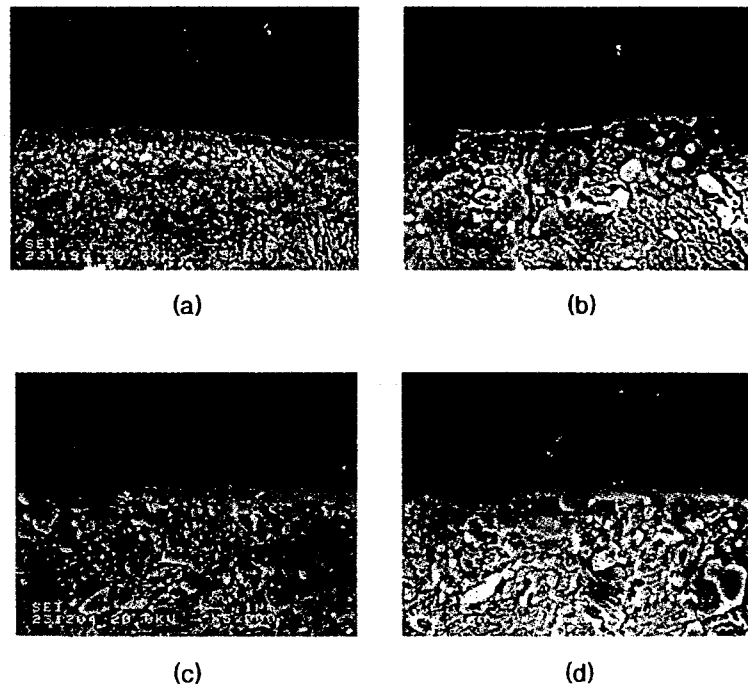


Fig. 2 SEM photographs of vertical cross section for the specimens (a) 1h., (b) 25h., (c) 49h., and (d) 81h. aged

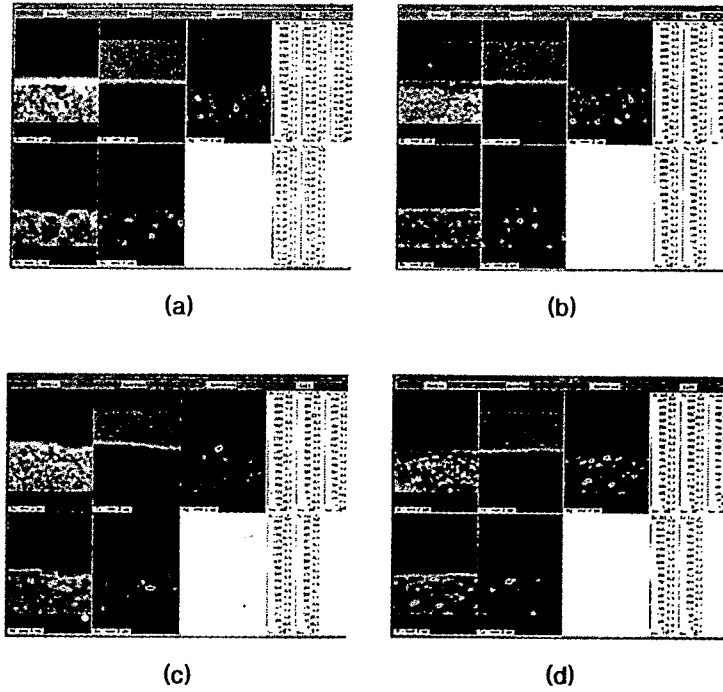


Fig. 3 EPMA mapping results of vertical cross section with respect to aging time (a) 9h., (b) 25h., (c) 49h., and (d) 81h. (from upper left image in clockwise, SEM photograph, Ti, Ag, Cu, and Sn mapping)

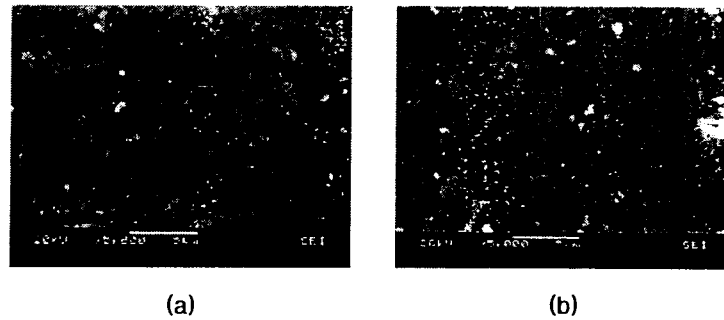


Fig. 4 SEM photographs of fracture surface for the specimens (a) 9h. and (b) 25h. aged

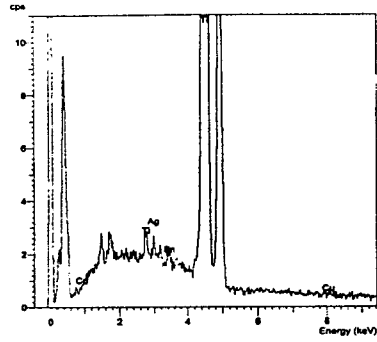


Fig. 5 EDX analysis result of fracture surface for 9h. aged specimen

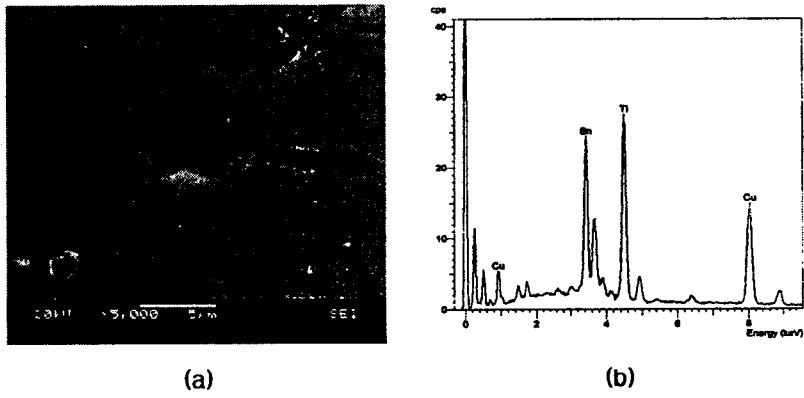


Fig. 6 (a) SEM photograph and (b) EDX analysis result of fracture surface for 25h. aged specimen