

공정 Sn-Ag 솔더접합부의 열시효에 의한 접합강도변화 분석

Analysis of joint strength change of eutectic Sn-Ag solder joint by thermal aging

정아람, 주장복, 장재일*, 권동일

서울대학교 재료공학부

*(주)프론틱스 연구개발팀

1. 서론

전자 산업의 발달에 따른 전자 패키지에서 소자의 소형화 및 고집적화에 의해 단위 면적당 발열량이 증가함에 따라 발생하는 열문제로 인해 각 소자는 물론이고 소자를 연결하는 접합부의 신뢰성이 전체 패키지의 신뢰성을 좌우하는 중요한 관건이 되고 있다. 이러한 접합부 중에서 특히 솔더접합부는 각 레벨의 패키지를 전기적, 기계적으로 연결하는 매우 중요한 역할을 하는데, 솔더 볼과 UBM(Under Bump Metallurgy) 층의 wetting layer 사이에 원자 확산으로 인해 솔더링 공정 및 사용 중 금속간화합물이 생성된다[1, 2]. 그런데 솔더접합부는 사용중 지속적인 전기적 on/off 및 열방출 불량으로 발생하는 열시효 및 열피로에 의해 이러한 금속간화합물이 과도하게 성장하여 접합강도가 급격히 감소하는 것이 큰 문제로 지적되고 있다. 기존의 솔더접합부에는 주로 다양한 조성비를 가지는 Sn-Pb 계열의 솔더가 사용되어 왔고, 이러한 Sn-Pb 솔더접합부에서는 열피로시 솔더 내부에서 미세조직의 불균일 과대 성장 및 주석의 소모로 인해 응력, 변형 집중에 의한 연성 파괴가 주로 발생하는 것으로 알려져 있다[3, 4]. 그러나 최근 환경 오염 문제로 인해 납을 대체하여 개발되고 있는 다양한 비납 솔더 중 Sn-Ag 솔더는 고온 강도가 높기 때문에 자동차 부품용 패키지와 같은 고온 분위기에서 많이 사용되고 있는데[5]. 이러한 Sn-Ag 솔더접합부에서는 Sn-Pb 계열의 솔더접합부에서와는 달리 금속간화합물의 생성으로 인한 취성 파괴가 주된 파괴 기구로 보고되고 있다[6, 7, 8]. 그러나 이러한 연구들은 대부분 단순히 열피로 또는 열시효 시간에 따라 접합강도를 측정하거나 각각의 파괴 조건에 대해 파괴 기구를 제시하는 데 그쳤을 뿐, 접합강도의 변화를 파괴 기구와 연관시켜 분석한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 여기서는 공정 Sn-Ag 솔더접합부의 열시효에 의한 접합강도변화를 파괴 기구의 관점에서 분석하고자 한다.

2. 실험 방법

기판 재료로는 가로, 세로의 길이가 각각 5mm이고 두께가 0.5mm인 Ti를 사용하였다. Ti 기판을 1 μ m 다이아몬드 페이스트로 미세 연마한 뒤 RF 스퍼터링을 이용하여 0.7 μ m 두께로 Cu를 증착하였다. 솔더 재료는 Sn-3.5wt%Ag를 사용하였으며 솔더 케를 100 μ m 두께로 압연한 뒤 hot plate 위에서 리플로우 솔더링을 통해 Cu가 증착된 기판 위에 솔더링하였다. 솔더링시 최고 온도는 250 $^{\circ}$ C였으며, 녹는점 이상에서의 유지 시간은 27초였다. 열시효를 위해 솔더링된 시편을 대류 오븐 내에서 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 81시간 동안 유지하였다. 열시효된 시편에 대해 접합 강도를 측정하기 위해 pull test를 실시하였으며 수직 단면의 미세 조직 관찰을 위해 0.3 μ m의 알루미나 분말로 연마한 뒤, 미세 조직을 더욱 명확하게 관찰하기 위해 2% HNO₃-5% HCl-93% 메틸알콜 용액으로 에칭하였다. Pull test 및 수직 절단 후 연마한 시편에 대해 20kV의 가속 전압을 가진 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 파단면 및 수직 단면을 관찰하였다. 또한 파단면에 대해서는 EDX(Electron Dispersive X-ray)를 이용하여 성분 분석을 행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 1에 열시효 시간에 따라 pull test한 결과를 나타내었는데 열시효 시간이 증가함에 따라 접합강도는 감소하다가 25시간 이후에는 접합강도 감소가 점차 포화되는 경향을 보였다. 이러한 접합강도변화를 분석하기 위해 열시효 시간에 따라 평균 결정립 크기를 측정한 후 그림 2에서 접합강도변화와의 관계를 그래프로 나타내었는데 그림 1에서와 비슷한 개형을 얻을 수 있었다. 그림 3은 이러

한 관계를 Hall-Petch 관계식을 이용하여 도시한 결과를 보여주고 있는데 열시효 25시간까지는 R값이 0.98638로 직선 관계를 비교적 잘 만족하는 데 반하여 이후에는 그 관계를 만족하지 않았다. 이를 통해 솔더링된 시편을 25시간까지 열시효시켰을 경우에는 솔더 내부의 결정립 조대화가 접합강도를 감소시키는 주된 요인으로 작용하였지만 그 이후에는 다른 요인이 접합강도에 더 지배적인 영향을 미쳤다는 것을 유추할 수 있었다. 이를 고찰하기 위해 그림 4에서 보는 바와 같이 SEM을 이용하여 파단면을 관찰하였는데 16시간 열시효된 시편의 파단면에서와 같이 열시효 25시간 이전에는 주로 금속간화합물에 인접한 솔더 내부에서 연성 파괴가 발생하는 경향을 보인 반면 그 이후에는 36시간 열시효시킨 시편의 파단면에서와 같이 금속간화합물의 취성 파괴로 인해 주변에서 파괴가 불규칙적으로 발생한 것으로 예측할 수 있었다. 이를 검증하기 위해 EDX를 이용하여 성분을 분석한 결과 열시효 25시간 이전에는 금속간화합물에서의 파괴를 확인할 수 없었으나 25시간 이후에는 금속간화합물에서 파괴가 발생한 것을 유추할 수 있었다. 이를 통해 열시효 초기에는 주로 솔더 내부의 결정립 조대화가 주된 파괴 기구로 작용하여 접합강도가 감소하다가 취약한 금속간화합물의 생성으로 인한 금속간화합물에서의 취성 파괴가 지배적인 파괴 기구로 작용하여 접합강도의 감소가 포화되는 경향을 보인 것으로 판단할 수 있었다.

4. 결론

공정 Sn-Ag 솔더접합부의 열시효에 의한 접합강도변화를 분석한 결과 열시효 초기에는 주로 솔더 내부의 결정립 조대화에 의해 접합강도가 감소하다가 열시효 시간이 증가함에 따라 금속간화합물의 취성 파괴에 의해 접합강도 감소가 포화되는 것을 알 수 있었다.

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, (1991), 772-778
- [2] B. Gibson: Flip Chips: The Ultraminiature Surface Mount Solution. Surface Mount Technology, (1990), 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. The Metal Science of Joining. (1991), 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, Solder Joint Reliability. (1991), 225-265
- [5] S.K. Kang: Lead (Pb)-Free Solders for Electronic Packaging. Journal of Electronic Materials. 23(1994), 701-707
- [6] W. Yang and R.W. Messler, Jr.: Microstructure Evolution of Eutectic Sn-Ag Solder Joints. Journal of Electronic Materials. 23(1994), 765-772
- [7] Y.Y. Wei and J.G. Duh: Effect of Thermal Ageing on (Sn-Ag, Sn-Ag-Zn)/PtAg, Cu/Al₂O₃ Solder Joints. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 9(1998), 373-381
- [8] J.L. Marshall: Gold Embrittlement in Soldering Process. Int. J. of Hybrid Microelectr.. 6(1985), 10

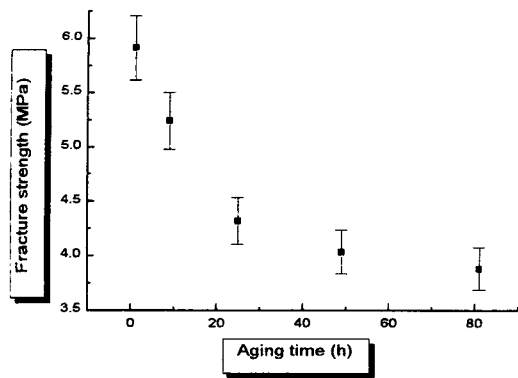


Fig. 1. Fracture strength change according to aging time

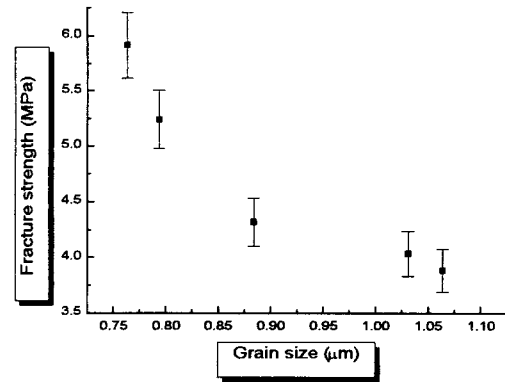


Fig. 2. Fracture strength change according to grain size

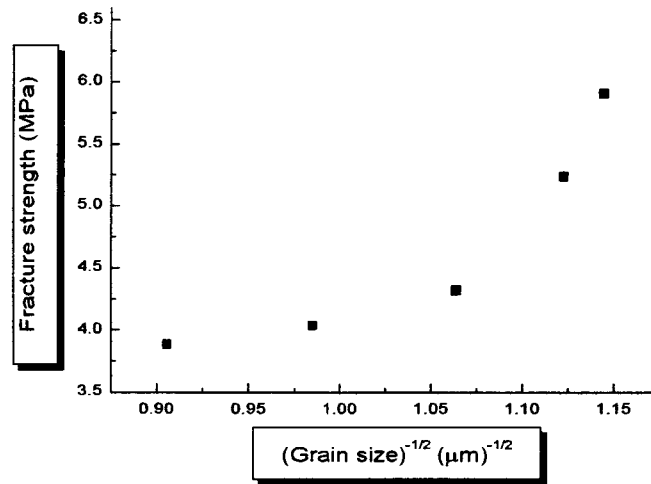
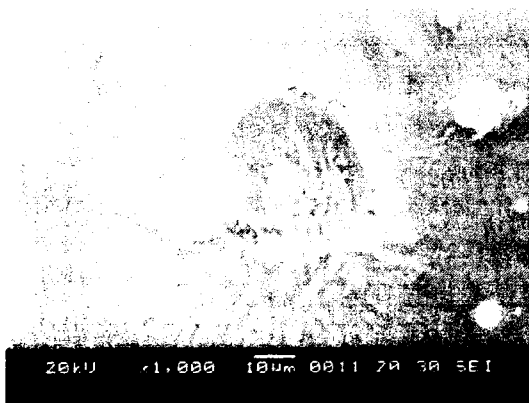


Fig. 3. Plots for fracture strength vs. (grain size)^{-1/2}



(a)



(b)

Fig. 4. SEM photographs of fracture surface for the specimens (a) 16h. and (b) 36h. aged