

비납솔더를 사용한 미세 피치 솔더 접합부의 신뢰성에 관한 연구

A Study on the reliability of fine pitch solder joint with lead-free solder

하범용 : 중앙대학교 기계설계학과
한현주 : 서울시립대학교 재료공학과
박재용 : 서울대학교 재료공학부
신영의 : 중앙대학교 기계설계학과
정재필 : 서울시립대학교 재료공학과
강춘식 : 서울대학교 재료공학부
이준환 : (주)웨스텍 기술연구소

1. 서론

최근의 전자제품의 소형화, 경량화, 고기능화, 저비용화의 추세에 따라 전자제품에 사용하는 패키지도 경박단소화 되고 있다. 이러한 미세화 추세로 인해 접합기술의 미세화는 필연적으로 요구되고 있으며 접합부의 미세화에 따른 여러 가지 문제점에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 비교적 고온의 사용환경에서 장기간 동안의 솔더 접합부의 접합성 및 신뢰성이 중요한 과제로 대두되었다. 솔더링 과정 혹은 패키지의 사용중에 솔더와 구리 합금 사이에서 생성되는 금속간화합물(Intermetallic Compound, 이하IMC) 층의 취성으로 인한 취성파괴와 박리는 솔더 접합부의 기계적인 강도의 저하의 원인이 되고 있다⁽¹⁾. 또한, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 세계 각국에서는 납의 사용이 점차적으로 규제되고있는 실정이다⁽²⁾. 이에 따라 비납 솔더에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 우리나라에선 이에 대한 대비책이 부족한 실정이다. 환경 문제가 새로운 무역장벽이 되어가고 있는 지금 이에 대한 대비가 매우 시급하다.

본 연구에선 실제적으로 사용되고 있는 패키지를 사용하여 Sn/Ag 공정 솔더 페이스트를 접합 재료로 하여 솔더 접합부의 초기 접합 강도와 Aging 강도를 45° Peel test를 통해 측정하였으며, Aging후에 솔더와 구리 합금 사이에서 생성되는 IMC층의 두께를 측정, 분석하여 Sn/Pb 공정 솔더 페이스트를 사용했을 경우와 비교하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 패키지

본 연구에서 사용한 패키지의 종류에는 현재 일반적으로 널리 사용되는 리드간 피치간격이 0.4mm인 Thin Small Outline Package (TSOP)를 중심으로 이와 비교하기 위한 기준으로써 피치간격이 0.8mm인 QFP(Quad Flat Package)를 사용하였다. TSOP의 경우, 리드의 수는 48개, 리드의 폭은 0.16 mm, 리드의 두께는 0.125 mm이며, QFP는 리드의 수는 44개, 리드의 폭은 0.35mm, 리드의 두께는 0.137 mm이다. 또한 패키지의 리드 프레임의 재질로는 모두 42합금(Alloy 42, Fe-Ni(42%))이 사용 되었다.

2.2 솔더 페이스트 및 기판

솔더 페이스트는 대표적인 비납 솔더인 Sn/Ag 공정 솔더 페이스트(96.5Sn/3.5Ag, wt%)와 이와 비교하기 위한 기준으로써 가장 널리 사용되고 있는 Sn/Pb 공정 솔더 페이스트(63Sn/37Pb, wt%)를 사용하였다. 기판은 예폭시 계열의 FR-4를 사용하였고, 구리 패드는 순수한 구리를 전기도금하여 만들어졌다.

2.3 리플로우 솔더링 시스템

본 연구에 사용된 열풍 및 적외선 겸용 리플로우 솔더링 시스템으로써 네 개의 가열 영역으로 구성되어 있다. 예열온도를 150℃로 고정하고, 본가열온도를 Sn/Pb 솔더 페이스트의 경우 210~250℃, Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 250~280℃로 설정하였다. 솔더링 시스템의 기판 이송 속도는 0.5m/min으로 설정하였다.

2.4 인장실험

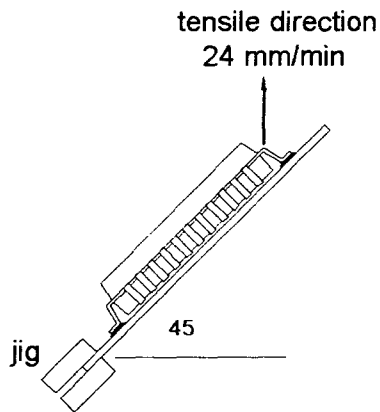


Fig. 1 The method of 45° Peel test

Fig. 1에 45° Peel test의 방법을 나타내었다. 하중 부가 속도는 24mm/min이고 Peel 하중값은 10개의 리드를 Peel test하여 값을 측정 한 후, 최고값과 최저값을 제외한 8개의 평균값을 취하였다.

2.5 실험과정

본 실험의 과정을 Fig. 2에 간략하게 나타내었다.

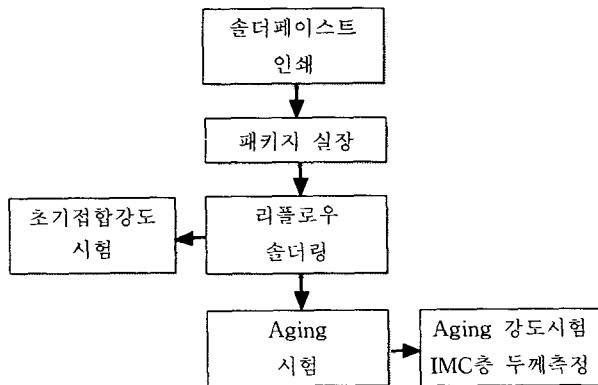


Fig. 2 Flow Chart of Experiment

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Aging 시간에 따른 Peel 하중의 변화

미세 접합부의 기계적인 성질의 변화를 구체적으로 검토하기 위해 Sn/Pb, Sn/Ag 공정 솔더 페이스트를 사용하여 Aging 시간에 따른 솔더 접합부의 Peel 하중을 측정하였다.

3.1.1 Sn/Pb 솔더 페이스트

Fig. 3은 Sn/Pb 공정 솔더페이스트를 사용하

였을 경우 각각의 접합온도에서의 Aging 시간과 Peel 하중과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는바와 같이 Aging 시간이 증가함에 따라 접합강도가 저하되는 경향을 보였다. 1000시간동안의 Aging을 통해 접합강도(17.125N)가 초기접합강도(20.1N)에 비해 최고 14.8%(최고접합온도가 210℃일 경우) 감소되었다. 또한, 리플로우 온도에 따른 초기접합강도의 경우 최고 온도가 230℃일 경우 가장 높은 값을 나타내었다. 최고 온도가 230℃이상일 경우 비교적 낮은 값의 초기접합강도를 보이는 것은 플럭스의 열화에 기인한 것으로 판단된다.

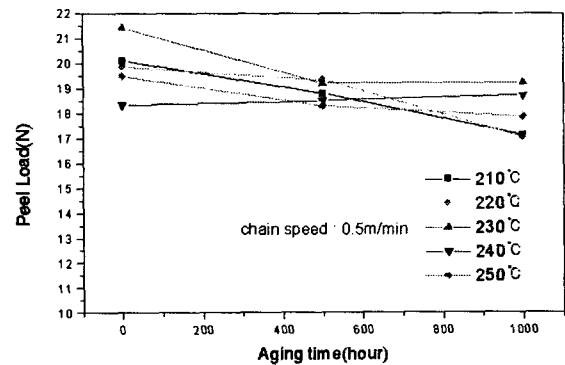


Fig. 3 Relation between aging time and peel load with Sn/Pb eutectic solder paste

3.1.2 Sn/Ag 솔더 페이스트

Fig. 4는 Sn/Ag 공정 솔더페이스트를 사용하였을 경우 각각의 접합온도에서의 Aging 시간과 Peel 하중과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 3에서처럼 Fig. 4의 결과 역시 Aging 시간이 증가함에 따라 접합강도가 저하되는 경향을 나타내었다. 1000시간동안의 Aging을 통해 접합강도(12.9N)가 초기접합강도(14.79N)에 비해 최고 12.87%(최고접합온도가 250℃일 경우) 감소되었다. 초기접합강도의 경우 리플로우 최고 온도가 250℃이하일 경우 낮은 강도값을 나타낸 이유는 솔더 페이스트의 불완전한 용융에 기인한 것이다.

3.2 Aging 시간의 증가에 따른 IMC 층의 성장

Aging 시간의 증가에 따른 솔더와 구리 패드 사이의 IMC 층의 성장을 관찰하기 위하여 시편의 솔더접합부를 절단하여 폴리싱한 후 전자

주사현미경(Scanning Electron Micrography, SEM)을 사용하여 IMC 층의 두께를 측정하였다.

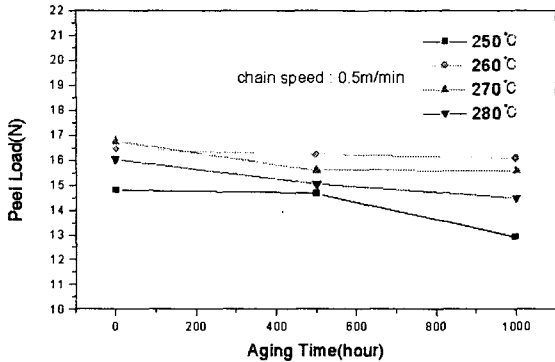


Fig. 4 Relation between aging time and peel load with Sn/Ag eutectic solder paste

3.2.1 Sn/Pb 솔더 페이스트

Fig. 5는 Sn/Pb 공정 솔더 페이스트를 사용하였을 경우 솔더와 구리사이에 생기는 IMC 층의 성장을 나타낸 것이다.

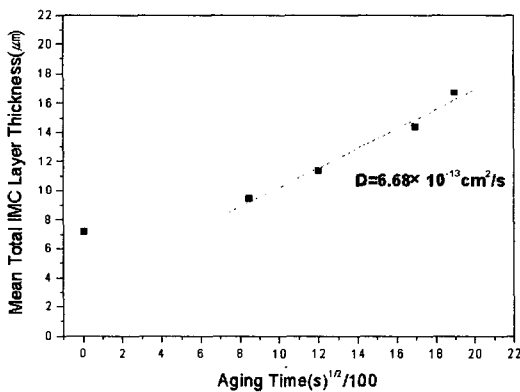


Fig. 5 Relation between aging time and IMC thickness with Sn/Pb eutectic solder paste (Aging condition : 100°C)

Fig. 5에서 보는바와 같이 IMC 층의 두께는 $\sqrt{\text{Aging time}}$ 에 선형적으로 비례하는 것을 확인할 수 있다. 이는 솔더 접합부의 확산 거동 이 식 (1)에 따르고 있음을 알 수 있다^{(3),(4)}

$$d = \sqrt{Dt} \quad (1)$$

여기서, d 는 IMC 층의 두께, D 는 확산 계수, t 는 시간을 나타낸다. Cu_6Sn_5 IMC 층의 확산 계수 D 는 $6.68 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 계산되었다.

3.2.2 Sn/Ag 솔더 페이스트

Fig. 6은 Sn/Ag 공정 솔더 페이스트를 사용하였을 경우 솔더와 구리사이에 생기는 IMC 층의 성장을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 Sn/Pb의 경우와 마찬가지로 IMC 층의 두께는 $\sqrt{\text{Aging time}}$ 에 선형적으로 비례하여 증가함을 확인할 수 있다. Cu_6Sn_5 IMC 층의 확산 계수 D 는 $3.61 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 계산되었다. Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용한 경우가 Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용한 경우보다 확산속도가 느림을 알 수 있다.

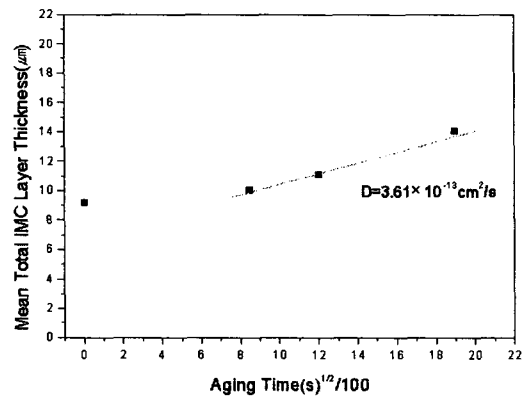
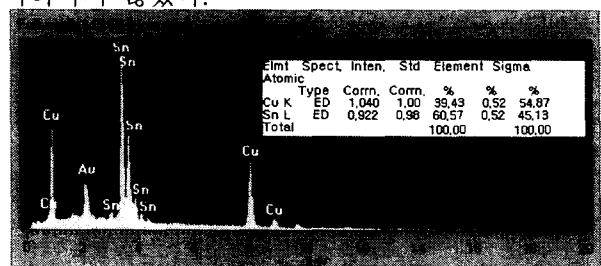


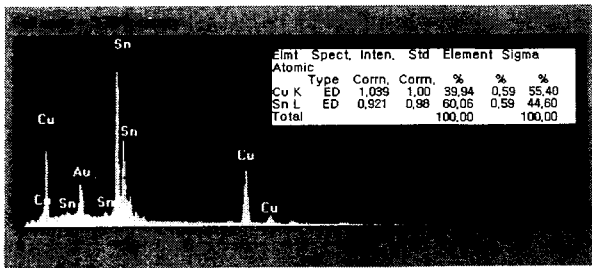
Fig. 6 Relation between aging time and IMC thickness with Sn/Ag eutectic solder paste (Aging condition : 100°C)

3.2.3 IMC 층의 성분 분석

Fig. 7은 EDX(Energy Dispersive X ray)와 ZAF-4를 통한 IMC 층의 성분 분석 결과이다. IMC layer의 조성은 η 상의 Cu_6Sn_5 로 나타났다. ϵ 상의 Cu_3Sn 은 저온의 Aging 조건으로 인해 나타나지 않았다.



(a) Sn/Pb solder paste



(b) Sn/Ag solder paste

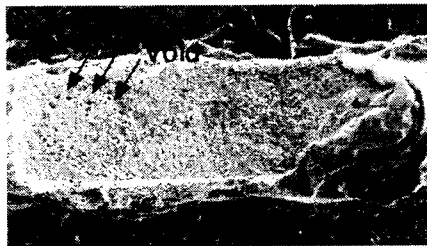
Fig. 7 Composition analysis of IMC layer

3.3 파면분석

Fig. 8은 Sn/Ag 솔더 접합부의 파단면 사진이다. SEM에 의한 파단면 분석결과 Aging 동안에 solder 조직내에 미세한 void가 발생함을 알 수 있다. 이러한 void에 의해 Aging 시간에 따라 접합강도가 저하되는 것으로 판단된다.



(a) no aging



(b) 1000hrs aging

Fig. 8 Fracture surface

4. 결론

대표적인 비납솔더인 Sn/Ag 공정 솔더 페이스트를 사용하여 실제적으로 사용되는 QFP, TSOP의 리드와 PCB의 구리 패드를 접합한후, Aging 실험을 통해 장기신뢰성을 검토하였다.

초기접합강도의 경우 Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용했을 때 Sn/Pb 솔더 페이스트보다 전체적으로 낮은 강도값을 보였으나 Aging에 따른 강도값의 저하율은 Sn/Ag 솔더 페이스트가 12.78%로 Sn/Pb 솔더 페이스트의 저하율 14.78%

보다 낮았다.

또한, 솔더 접합부의 기계적 강도 저하의 원인이 되는 IMC 층의 성장률을 나타내는 IMC층의 확산계수(D) 역시 Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 $3.61 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 Sn/Pb 솔더 페이스트의 확산계수 $6.68 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 보다 낮았다. 따라서 장기신뢰성 측면에서 Sn/Ag 솔더 페이스트가 Sn/Pb 솔더 페이스트에 비해 우수함이 확인되었고, 이를 통해 납을 함유한 솔더의 대체 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. Rikiya KATOH : Peel Strength and Microstructure of Lead-free Solder, Microjoining and Assembly Technology In Electronics, Mate 98, (1998), PP. 265 ~ 270
2. Jennie S. Hwang : Modern solder technology for competitive electronic manufacturing, McGraw-Hill, (1996), PP. 483 ~ 487
3. Pinizzoto, Jacobs : Microstructural development in composite solders caused by long high temperature annealing, NEPCON, Vol 3, (1992), 1284~1293
4. D. R. Frear, J. H. Lau, H. S. Morgan :The Mechanics of Solder Alloy Interconnects, VAN NOSTRAND REINHOLD, (1994), PP. 74~83