

Sn-3.5wt%Ag 비납솔더를 이용한 미세피치 솔더접합부의 신뢰성에 관한 연구

하범용* · 이준환* · 신영의* · 정재필** · 한현주**

*중앙대학교 공과대학 기계공학부

**서울시립대학교 공과대학 재료공학부

Reliability of Fine Pitch Solder Joint with Sn-3.5 wt% Ag Lead-Free Solder

Beom-Yong Ha*, Jun-Hwan Lee*, Young-Eui Shin*, Jea-Pil Jung** and Hyun-Ju Han**

* Department of mechanical engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

** Department of material science & engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract

As solder joint becomes small and fine, the reliability and solderability of solder joint are the critical issue in present electronic packaging industry. Besides the use of lead(Pb) containing solders for the interconnections of microelectronic subsystem assembly and packaging has environmental problem.

In this study, using Sn/Pb and Sn/Ag eutectic solder paste, in order to obtain decrease of solder joint strength with increasing aging time, initial solder joint strength and aging strength after 1000 hour aging at 100°C were measured by peel test. And in order to obtain the growth of intermetallic compound(IMC) layer thickness, IMC layer thickness was measured by scanning electron microscope(SEM).

As a result, solder joint strength was decreased with increasing aging time. The mean IMC layer thickness was increased linearly with the square root of aging time. The diffusion coefficient(D) of IMC layer was found to 1.29×10^{-13} cm²/s at using Sn/Pb solder paste, 7.56×10^{-14} cm²/s at using Sn/Ag solder paste.

(Received January 28, 2000)

Key Words : Lead(Pb) free solder, Peel strength, Aging strength, IMC layer

1. 서 론

최근의 전자제품의 소형화, 경량화, 고기능화, 저비용화의 추세에 따라 전자제품에 사용하는 패키지도 경박단소화 되고 있다. 패키지의 고밀도화에 따라 패키지의 형태가 DIP(Dual In line Package) → QFP(Quad Flat Package), TSOP(Thin Small Outline Package) → BGA(Ball Grid Array) → CSP(Chip Scale Package)로 발전함에 따라 실장방법도 삽입실장기술(Through Hole Technology,

THT) → 표면실장기술(Surface Mount Technology)로 발전하고 있다. 1990년 이전에 세계 패키징 시장의 50%이상을 차지하던 삽입실장 방식은 점차 그 비중이 줄어들고 표면실장방식이 크게 증가하는 추세에 있다^{1,2)}.

표면실장 방식에 따라 솔더접합부의 면적이 미세화됨에 따라 비교적 고온의 사용환경에서 장기간 동안의 솔더 접합부의 신뢰성이 중요한 과제로 대두되었다. 솔더링 과정 혹은 패키지의 사용중에 솔더와 구리 합금 사이에서 생성되는 금속간화합물(Intermetallic Compound)층의 취성파괴와 박리는 솔더 접합부의 기

계적인 강도 및 장기신뢰성 저하의 원인이 되고 있다³⁾.

또한, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 세계 각국에서는 납의 사용이 점차적으로 규제되고있는 실정이다. 이미 일본의 전자산업계에선 납의 사용에 대한 규제를 자발적으로 만들어 실행하고 있다. 이와 같이 전 세계적으로 비납 솔더에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 우리나라에선 이에 대한 대비책이 부족한 실정이다. 환경 문제가 새로운 무역장벽이 되어가고 있는 지금 이에 대한 대비가 매우 시급하다⁴⁾.

본 연구에선 실제적으로 전자 제품에 사용되고 있는 패키지를 Sn-3.5wt%Ag 솔더 페이스트를 사용하여 리플로우를 통해 접합시킨후 초기접합강도, 시효처리 후의 강도, 금속간 화합물층 성장의 측면에서 기존의 Sn-37wt%Pb 솔더 페이스트의 대체 가능성을 실험을 통해 비교, 검토하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

2.1.1 패키지(Package)

본 연구에서 사용한 패키지는 두 종류로서 피치간격이 0.8mm인 QFP와 피치간격이 0.4mm인 TSOP를 사용하였다. Table 1에 패키지의 규격 및 사양을 나타내었다.

Table 1 Specimen of package

Specimen	QFP	TSOP
Pin count	44	48
Pitch (mm)	0.8	0.4
Lead thickness (mm)	0.137	0.125
Lead width (mm)	0.35	0.16
Lead material	Alloy 42	Alloy 42

2.1.2 솔더 페이스트(Solder paste)

본 연구에 사용한 솔더 페이스트는 현재 비납솔더중 주목 받고있는 Sn-3.5wt%Ag 솔더 페이스트(용융점 : 221℃)와 이를 비교하기 위한 기준으로써 현재 가장 일반적으로 사용되는 Sn-37wt%Pb 솔더 페이스트(용융점 : 183℃)를 사용하였다. Table 2에 솔더 페이스트의 조성 및 물성치를 나타내었다

2.1.3 PCB(Printed Circuit Board)

PCB의 재료는 에폭시 계열의 FR-4로 만들어진 기판 위에 순수한 구리를 전기도금(두께 : 30μm)하여 만들어진 구리패드로 구성되어있다.

Table 2 Characteristics of solder paste

	Sn-37wt%Pb	Sn-3.5wt%Ag
Particle size(μm)	Max. 45	Max. 45
Powder shape	Sphere	Sphere
Metal contents(%)	90	90
Viscosity(cps)	610,000	990,000

2.1.4 메탈 마스크(Metal mask)

본 실험에 사용한 메탈 마스크는 두께가 0.12mm인 스테인레스를 사용하였다. 솔더 페이스트의 도포를 위한 Hole은 PCB의 구리패드와 같은 형상으로 레이저 가공 방식에 의해 가공되었으며 전해도금과정을 거쳤다.

2.1.5 스퀴지(Squeegee)

스퀴지는 솔더 페이스트를 PCB의 구리패드위에 도포하기 위한 도구로써 사용되는데 본 실험에서는 니켈 금속 스퀴지를 사용하였다.

2.2 실험장비

2.2.1 리플로우 솔더링 시스템(Reflow soldering machine)

본 실험에 사용된 리플로우 솔더링 시스템은 표면실장부품의 리플로우 솔더링에 사용되는 열풍 및 적외선 가열방식이며, 노(Furnace) 내부에 원적외선 세라믹 면 히터와 열풍 히터의 범용가열에 의한 온도구배가열 방식을 택하고 있다.

2.2.2 마이크로 인장 시험기(Micro tensile tester)

본 실험에서는 솔더접합부의 초기접합강도를 측정하기 위해 마이크로 인장 시험기를 사용하였다. 마이크로 인장 시험기는 스텝 모터로 구동되며 시편을 고정할 수 있는 홀더가 있는 스탠드부와 인장값을 측정하는 압력계가 달려있는 측정부, 이를 분석해주는 PC로 구성되어 있다. 실험에 사용한 압력계는 측정범위가 0~50N인 AFG-50이다.

2.3 실험방법

Fig. 1에 본 실험의 과정을 간략하게 나타내었다.

2.3.1. 접합강도 시험

접합강도 시험을 위한 시편 제작시에는 예열온도를 150℃로 고정하고, 본가열온도를 Sn/Pb 솔더 페이스트

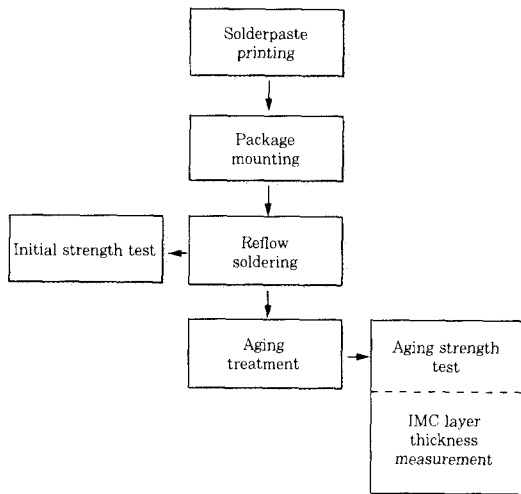


Fig. 1 Flow chart of experiment

트의 경우 210~250℃, Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 250~280℃로 각각의 솔더의 조성에 맞게 설정하였다. 솔더링 시스템의 체인 속도는 0.5m/min, 0.6m/min, 0.7m/min로 설정하였다.

접합강도를 측정하기 위해 접합실험을 통해 얻어진 QFP 시편을 가지고 45° Peel test를 실시하였다. 45° Peel test의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 핀 번호가 1~3, 12~13, 23~25, 34~35에 해당하는 리드를 Peel test하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 10개의 측정값 중 최대값과 최소값 제외한 8개의 값을 평균으로하여 산출하였다.

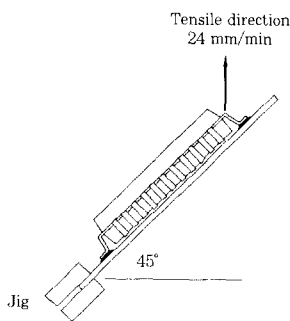


Fig. 2 Schematic representation of 45° peel test

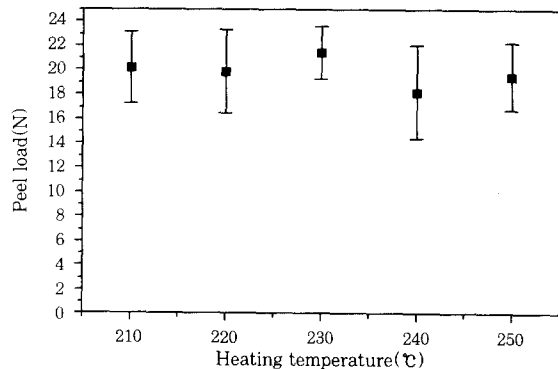
QFP 시편을 가지고 100℃의 가열로에서 500시간, 1000시간 시효처리한 후에 45° Peel test를 통해 얻은 시효처리한 후의 강도와 시효처리하지 않은 시편의 초기접합강도를 비교하였다.

2.3.2 금속간화합물 층의 두께 측정

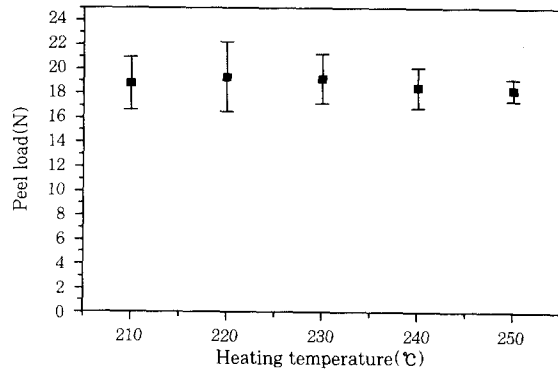
시효에 따른 금속간 화합물층의 두께 측정을 위한 시편 제작시에는 예열온도를 150℃로 고정하고, 본가열

온도를 Sn/Pb 솔더 페이스트의 경우 230℃, Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 270℃로 설정하였고 솔더링 시스템의 체인 속도는 0.5m/min로 설정하였다.

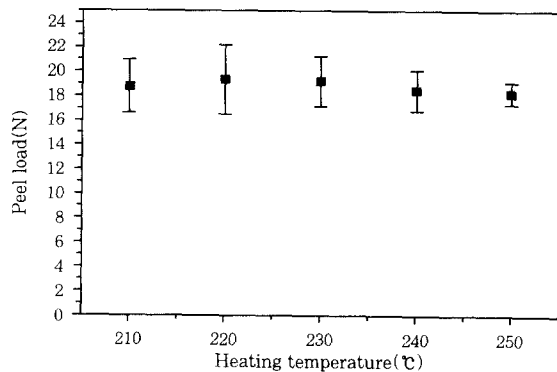
TSOP 시편을 가지고 100℃의 가열로에서 200, 400, 800, 1000시간동안 시효처리한 후 PCB의 구리패드와 솔더 접합부 사이에서 생기는 금속간 화합물층의 두께를 SEM을 통해 관찰하였다. 또한 EDX를 이용하여 금속간 화합물층의 성분을 분석하였다.



(a) No aging

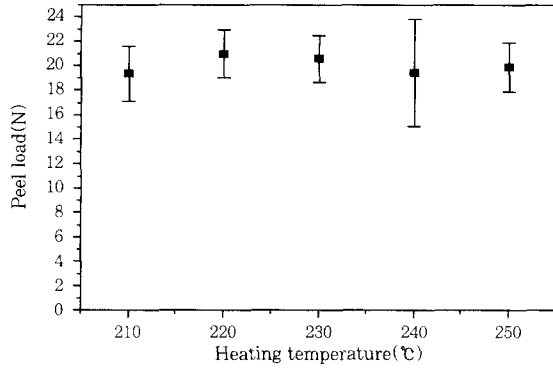


(b) 500 hours aging

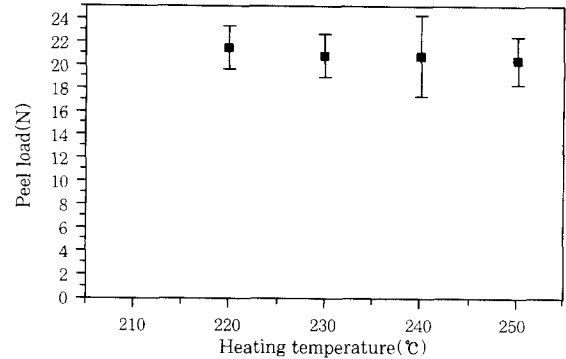


(c) 1000 hours aging

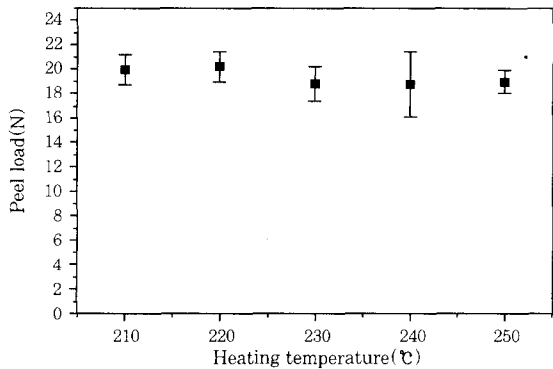
Fig. 3 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-37wt%Pb solder paste, Chain speed : 0.5m/min)



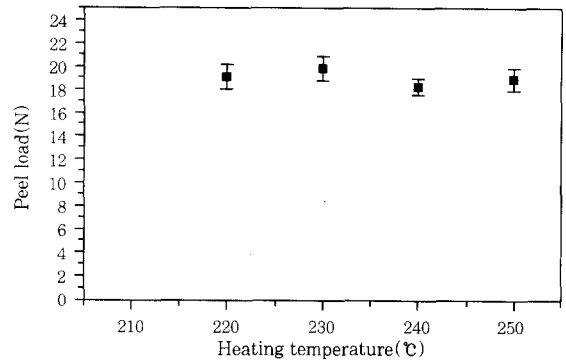
(a) No aging



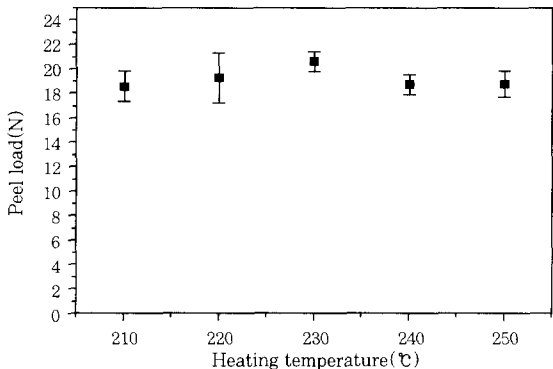
(a) No aging



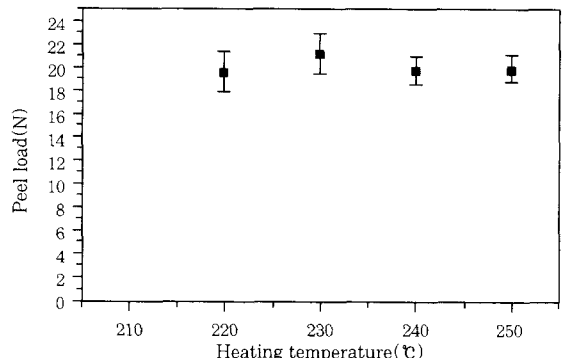
(b) 500 hours aging



(b) 500 hours aging



(c) 1000 hours aging



(c) 1000 hours aging

Fig. 4 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-37wt%Pb solder paste, Chain speed : 0.6m/min)

Fig. 5 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-37wt%Pb solder paste, Chain speed : 0.7m/min)

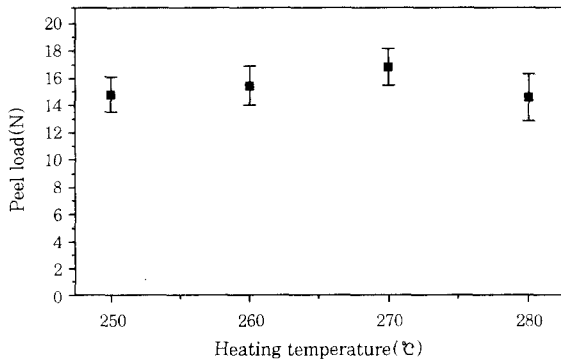
3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합강도

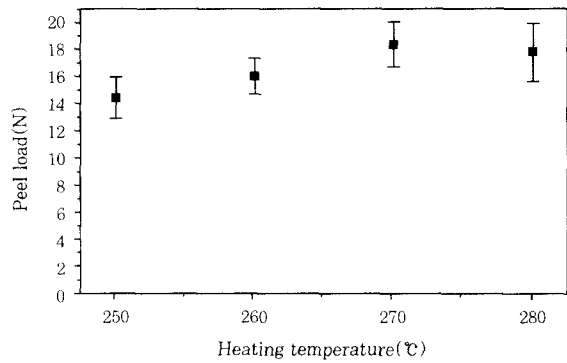
Fig. 3~5는 Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용한 경우 각 조건에 따른 강도를 측정 한 것이다. 강도 저하치가 실험오차 범위내에 있으나, 전체적인 경향은 시효처리 시간이 증가((a)→(b)→(c))함에 따라 접합강도가 감소함을 알 수 있다. 1000시간의 시효처리를 통한 강도의 평균 저하값은 0.4N에서 최고 3N으로 나타났다.

접합온도가 230°C일 때 초기접합강도 및 시효처리 후의 강도 모두 가장 높은 값을 나타내므로, 접합온도가 230°C, 체인 속도가 0.5m/min일때가 최적 접합 조건으로 판단된다. 230°C이상의 접합온도에서 비교적 낮은 접합강도값을 나타내는 것은 가열온도 상승에 따른 플럭스의 열화에 기인한 것으로 판단되어진다⁵⁾.

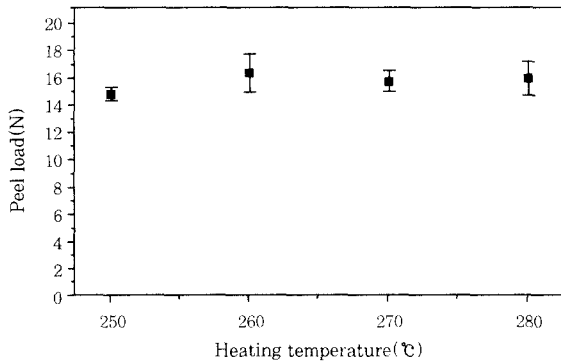
Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 역시 Fig. 6~8에서 보는 바와 같이 강도저하치가 실험오차 범위내에 있으나, 전체적인 경향은 시효처리 시간이 증가((a)→(b)→(c))함에 따라 접합강도가 감소함을 알 수 있다.



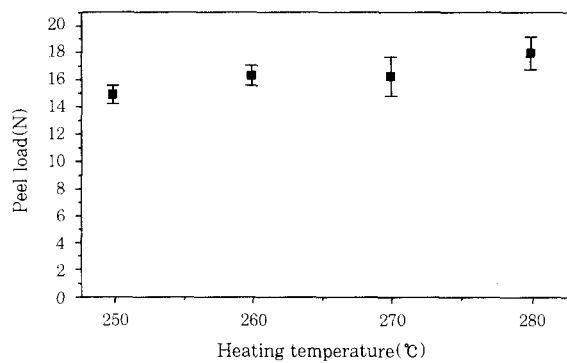
(a) No aging



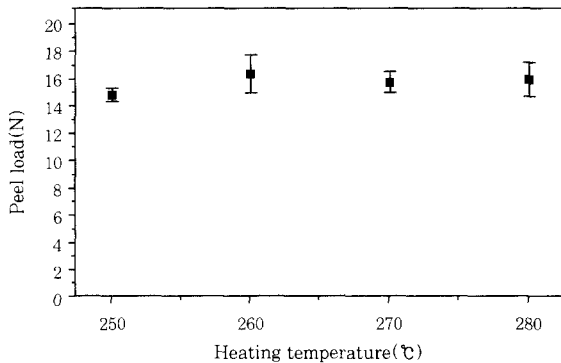
(a) No aging



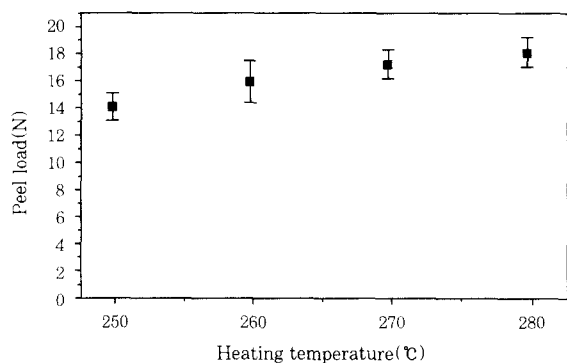
(b) 500 hours aging



(b) 500 hours aging



(c) 1000 hours aging



(c) 1000 hours aging

Fig. 6 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-3.5wt%Ag eutectic solder paste, Chain speed : 0.5m/min)

Fig. 7 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-3.5wt%Ag eutectic solder paste, Chain speed : 0.6m/min)

1000시간의 시효처리를 통한 강도의 평균 저하값은 0.2N에서 최고 2N으로 Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용했을 경우보다 저하 폭이 상대적으로 작았다. 접합강도만을 고려하였을 때, 가장 높은 강도값을 나타낸 접합온도 280°C, 체인 속도 0.6m/min이 최적 접합 조건으로 판단된다. 최고 접합온도가 250°C이하, 체인 속도가 0.7m/min이상에서 상대적으로 낮은 강도값을 보이는 것은 솔더 페이스트의 불완전한 용융에 기인한 것임을 별도로 확인하였다.

Sn/Pb 솔더 페이스트와 Sn/Ag 솔더 페이스트를 비

교하였을 경우, 초기접합강도는 Sn/Ag 솔더 페이스트가 젖음성이 떨어짐으로 인해 낮은 강도값을 보이지만, 시효처리를 통한 강도의 평균 저하값은 0.2N~2N으로 Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용했을 경우의 0.4N~3N에 비해 상대적으로 작았다.

3.2 확산거동 및 분석

Fig. 9는 1000시간 시효처리후의 Sn-37wt%Pb 솔더 페이스트와 구리 패드사이에 생성된 금속간 화합

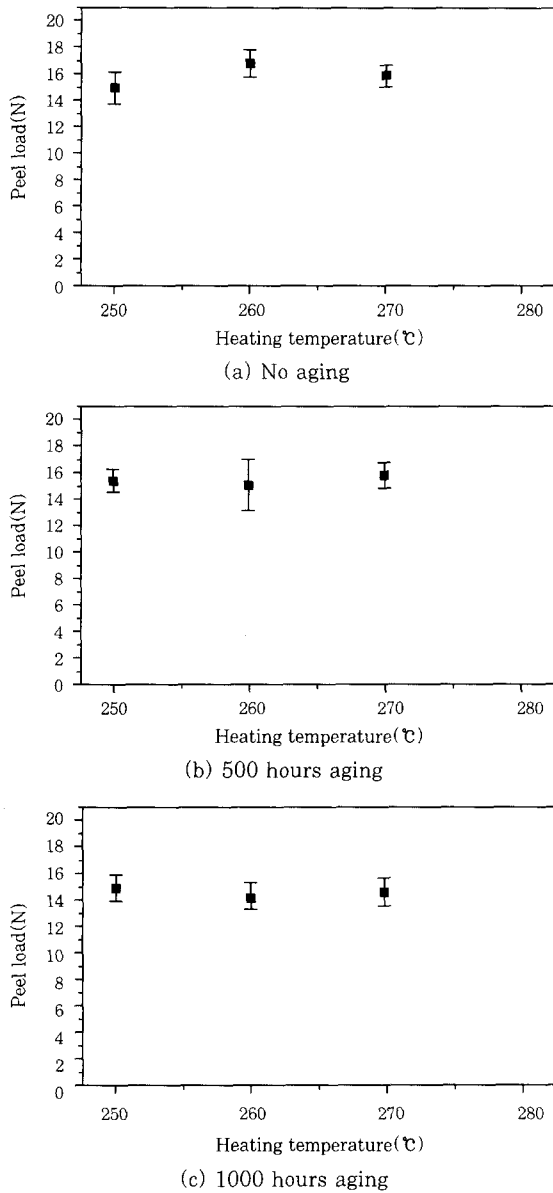


Fig. 8 Relation between peel load with aging time and heating temperature (Sn-3.5wt%Ag eutectic solder paste, Chain speed : 0.7m/min)

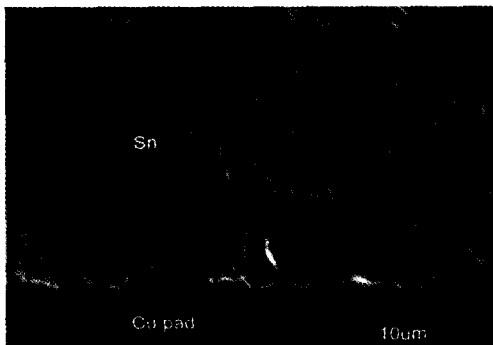


Fig. 9 SEM microstructure of interface of Sn-37 Wt%Pb solder, aged at 100°C for 1000 hours

물층을 SEM에 의해 관찰한 결과이다. EDX를 통하여 금속간 화합물층의 면 분석 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 금속간 화합물층의 조성은 Sn/Pb 및 Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용한 경우 모두 Cu-Sn 계열의 금속간 화합물임을 알 수 있다.

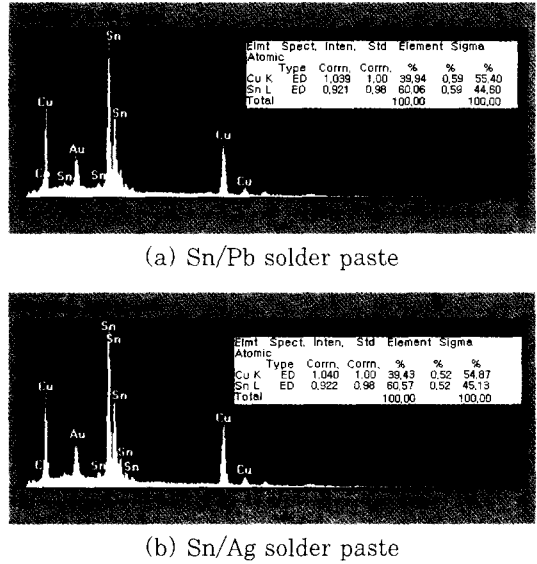


Fig. 10 Composition analysis of IMC layer

Fig. 11~12은 시효처리 시간에 따른 접합부 사이의 금속간 화합물층의 두께 변화를 나타낸 것이다. Fig. 11~12에서 보는 바와 같이 금속간 화합물층의 두께는 시효처리 시간의 평방근에 선형적으로 비례하는 것을 확인할 수 있다. 이는 솔더 접합부의 확산 거동이 식 (1)에 따르고 있음을 알 수 있다⁶⁻¹¹⁾.

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

여기서, d는 IMC 층의 두께, D는 확산 계수, t는 가열 유지 시간을 나타낸다. 시효처리 시간에 따른 금속간 화합물층의 두께를 그래프에 나타낸 후, linear

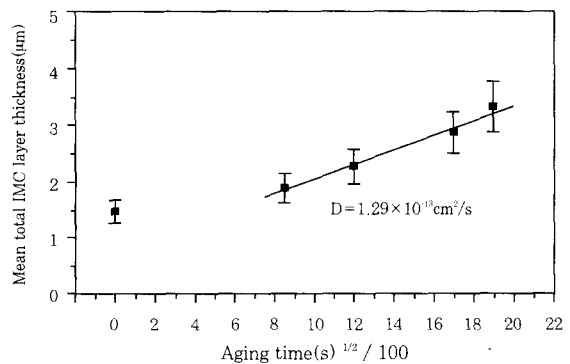


Fig. 11 Relation between IMC layer thickness and aging time with Sn-37wt%Pb solder paste

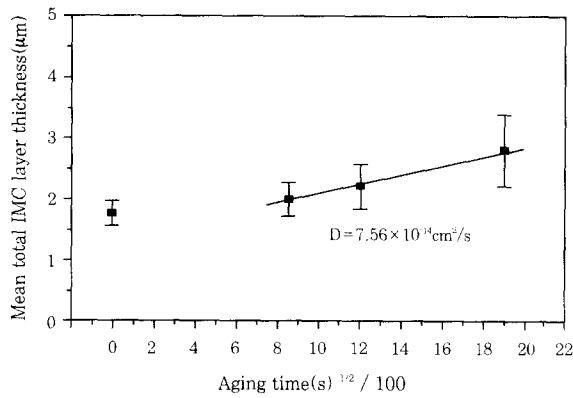


Fig. 12 Relation between IMC layer thickness and aging time with Sn-3.5wt%Ag solder paste

regression을 통해 기울기(D)를 구했다. Fig.11에서 보는바와 같이 Sn/Pb 솔더 페이스트의 경우 금속간 화합물 층의 확산계수 D는 $1.29 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 계산되었고, Fig. 12에서 보는바와 같이 Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 금속간 화합물층의 확산계수 D는 $7.56 \times 10^{-14} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 계산되었다. 동일 온도, 동일 시간에서의 시효 처리과정에서는 Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용한 경우가 Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용한 경우보다 상대적으로 확산속도가 느림을 확인하였다.

3.3 파면형상

Fig. 13은 Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용한 접합부

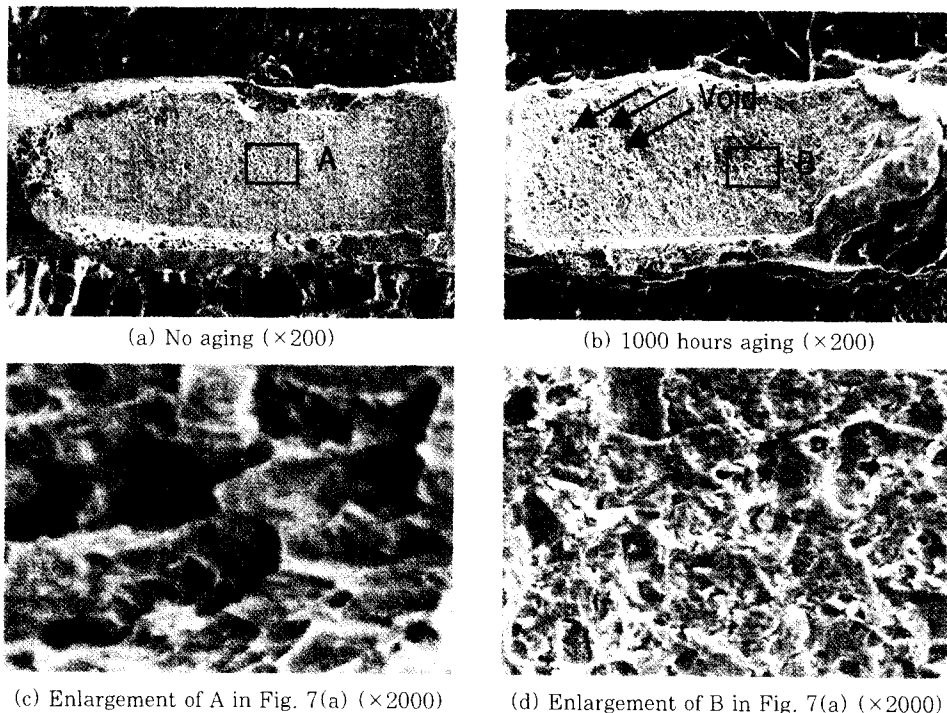


Fig. 13 Fracture surface of Sn/Ag solder joints

의 접합강도평가 후 파면을 SEM에 의해 관찰한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시효처리 동안 솔더 조직내에 미세한 보이드가 발생함을 알 수 있었다. 이것은 이종재료로 구성된 접합부의 원소의 확산 거동이 다른 커센달 효과에 따른 커센달 보이드로 사료된다. 이러한 미세한 보이드에 의해 시효처리 시간이 증가함에 따라 접합강도가 저하되는 것으로 판단된다. 또한, 시효처리 시간이 경과함에 따라 dimple 형상의 파면이 감소하여 표면 거칠기가 작아지는 것을 알 수 있다. Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용한 경우도 동일한 경향을 보였다.

4. 결 론

대표적인 비납솔더인 Sn/Ag 공정 솔더 페이스트를 사용하여 실제적으로 사용되는 QFP, TSOP의 리드와 PCB의 구리 패드를 접합한후, 시효처리에 따른 접합강도평가와 확산거동의 분석을 통해 장기신뢰성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기접합강도의 경우 Sn/Ag 솔더 페이스트를 사용했을 때 Sn/Ag 솔더의 낮은 젖음성으로 인해 Sn/Pb 솔더 페이스트보다 전체적으로 약간 낮은 강도 값을 보였다.
- (2) 시효처리를 통한 강도의 평균 저하값은 Sn/Ag 솔더 페이스트가 0.2N~2N으로 Sn/Pb 솔더 페이스트의 저하값 0.4N~3N보다 다소 낮았다.

(3) 고온유지에 따른 금속간 화합물층의 확산계수(D, 가열온도 : 100℃)는 Sn/Ag 솔더 페이스트의 경우 $7.56 \times 10^{-14} \text{cm}^2/\text{s}$ 이었고, Sn/Pb 솔더 페이스트를 사용한 경우의 확산계수는 $1.29 \times 10^{-13} \text{cm}^2/\text{s}$ 이었다.

(4) 파면분석 결과 시효처리 시간이 증가함에 따라 파면에 커넨달 보이드로 추정되는 미세한 보이드가 관찰되었다. 또한 시효처리 시간이 경과함에 따라 dimple 형상의 파면이 감소하여 표면거칠기가 작아지는 것을 알 수 있다.

Sn-3.5wt%Ag 솔더 페이스트는 초기 접합강도면에서 Sn-37wt%Pb 솔더 페이스트보다 약간 낮은 강도값을 나타내고 있으나 이것은 실제 사용조건에서의 요구강도보다 높고, 시효처리 후의 강도값의 저하는 Sn/Pb 솔더 페이스트보다 상대적으로 낮은 실험결과를 얻었다. 이를 통해 Sn-3.5 wt%Ag 솔더 페이스트를 적정 조건에서 접합하여 사용하면 납을 함유한 솔더를 대체 가능하다는 것을 제시할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Hans Danielsson : Surface Mount Technology with Fine Pitch Components, CHMPMAN & HALL(1995), PP. 22~26
2. Ralph W. Woodgate : The Handbook of Machine Soldering SMT and TH, John Wiley & Sons, Inc. 1996 PP.186~193
3. Rikiya KATOH : Peel Strength and Microstructure of Lead-free Solder, Micro joining and Assembly Technology In Electronics, Mate 98(1998), PP.265 ~ 270
4. Jennie S. Hwang : Modern solder technology for competitive electronic manufacturing, McGraw-Hill (1996), PP. 483 ~ 487
5. 안 현 기 : Sn-37Pb와 Sn-3.5Ag를 이용한 Reflow Soldering의 초기접합성에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위 논문(1998)
6. Alex C. K. So, Yan C. Chan, J. K. L. Lai : Aging Studies of Cu-Sn Intermetallic Compounds in Annealed Surface Mount Solder Joint, IEEE TRANSACTION ON COMPONENTS, PACKAGING, AND MANUFACTURING TECHNOLOGY - PART B, VOL. 20, NO 2, MAY (1997)
7. Pinizzoto, Jacobs : Microstructural development in composite solders caused by long high temperature annealing, NEPCON, Vol 3(1992), 1284~1293
8. Y. G. LEE, J. G. DUH : Interfacial morphology and concentration profile in the unleaded solder/Cu joint assembly, JOURNAL OF MATERIAL SCIENCE, MATERIAL IN ELECTRONICS 10(1999), PP 33~43
9. Hanae SHIMOKAWA, Hiroaki OKUDAIRA, Tetsuya NAKASUKA, Tasso SOGA, Koji SERIZAWA, Yoshiharu INABA : Study on the Metallization for Pb-Free Solders, Microjoining and Assembly Technology In Electronics, Mate 98(1998), PP. 279 ~ 284
10. S. K. KANG, R. S. RAI, S. PURUSHOTHAMAN : Interfacial Reaction During Soldering with Lead-Tin Eutectic and Lead(Pb)-Free, Tin-Rich Solders, Journal of Electronic Materials, Vol 25, No 7(1996), PP 1113~1120
11. D. R. Frear, J. H. Lau, H. S. Morgan :The Mechanics of Solder Alloy Interconnects, VAN NOSTRAND REINHOLD(1994), PP. 74~83