

Ni-P/Au UBM을 갖는 Pb-free 솔더 접합부의 전단강도 평가에 관한 연구

조성근*, 양성모**, 유효선⁺

(논문접수일 2010. 12. 8, 심사완료일 2011. 1. 31)

A Study on Evaluation of Shear Strength for Pb-free Solder Joint with Ni-P/Au UBM

Seong-Keun Cho*, Sung-Mo Yang**, Hyo-Sun Yu⁺

Abstract

UBM(Under Bump Metallurgy) is very important for successful realization of Flip-Chip technology. In this study, it is investigated the interfacial reactions between various Sn-Ag solder alloys and Ni-P/Au UBM and Cu plate finish. It is also evaluated the shear strength by using the micro shear-punch test method for Sn-37Pb alloy, binary and ternary alloys of environment-friendly Pb-free solder alloys which are applied in the electronic packages. In terms of interfacial microstructure, the Pb-free solder joints have thicker IMCs than the Sn-Pb solder joints. The thickness of IMC is related to Reflow time. The IMC has been observed to grow with the increase in Reflow time. As a result of the shear test, in case of Max. shear strength, Pb-free solder showed the highest strength value and Sn-37Pb showed the lowest strength value to be generally condition of Reflow time.

Key Words : Pb-free Solder Joint(무연솔더 접합부), Under Bump Metallurgy(UBM), Micro Shear-Punch Test(미소전단편치시험), Shear Strength(전단강도), Intermetallic Compound(금속간화합물)

1. 서론

최근 전자기기의 대표적인 노트북, 핸드폰 등은 소형화, 고성능화 추세로 더 많은 I/O(Input/Output)를 형성할 수 있는 플립칩(Flip Chip : FC) 기술이 제안되었고, 이와 관련하여 표면실장 기술에서 개발된 패키지 가운데 하나는 BGA (Ball Grid Array) 기술이다. BGA는 현재 전자 패키징 분야 연구에서 상당부분을 차지하며, 솔더의 비중이 상대적으로 높은 패키지 특징 때문에 기판사이의 솔더 접합부 계면 반응, 열적 변형거동,

그리고 기계적 특성들이 연구의 주된 목적이 되고 있다.

플립칩 기술을 성공적으로 구현하는데 있어 UBM(Under Bump Metallurgy)은 꼭 필요한 핵심 기술이다. UBM 구조는 일반적으로 칩 전극과 접합을 용이하게 하는 접합층(AP layer), 솔더의 칩 전극으로의 확산을 방지하는 확산방지층(DB layer), 솔더와 접합되는 솔더 젖음층(SW layer)으로 구성되어 있다⁽¹⁾. 현재 널리 사용되고 있는 UBM 시스템의 종류로는 TiW/Cu, Al/NiV/Cu, electroless Ni/Au 시스템 등이 있다. 과거 공정 Sn-Pb 솔더에서는 주로 Cu계 UBM이 사용되었다. 그러나 Sn-Pb

* 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 전북대학교 기계시스템공학부

+ 교신저자, 전북대학교 기계시스템공학부 (yuhs@jbnu.ac.kr)

주소: 560-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

솔더에 함유된 Pb는 인체의 중추신경에 치명적인 손상을 주어 유해하고 환경을 오염시키는 문제로 인하여 EU 및 일본을 중심으로 전 세계적으로 사용규제가 확산되면서, Sn- Pb 솔더를 대체할 무연(Pb-free) 솔더 합금이 등장하였다^(2,3). 최근 연구가 되고 있는 Sn계 Pb-free 솔더의 경우, Cu가 솔더 내부로 급속히 확산하여 취성의 금속간화합물을 형성한다고 보고되고 있다. 이러한 이유로 Cu계 UBM을 대체하기 위해 비교적 솔더 내부 확산이 심하지 않은 Ni계 UBM에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 현재는 전자부품 산업에서 무전해 Ni-P UBM이 널리 사용되고 있으며, 연구 또한 진행되고 있다⁽⁴⁾.

Kim⁽⁵⁾ 등은 저융점 Sn-Zn계 무연 솔더를 CSP(Chip Scale Package) 패키지에 리플로우 솔더링한 후 등온시효 처리에 따른 전단강도를 측정하였고, Koo⁽⁶⁾ 등은 리플로우 횟수가 증가함에 따라 순 Sn 범프와 Cu UBM, 그리고 Sn 범프와 Ni UBM 사이의 계면 반응과 범프 전단 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 현재 전기전자 산업에서 사용되고 있는 환경친화적 Pb-free 솔더 합금인 Sn-4Ag, Sn-4Ag-0.5Cu와 Pb가 포함된 솔더 합금인 Sn-37Pb를 대상으로 Reflow time에 따른 솔더 접합부의 계면반응을 조사하였으며, 또한 미소전단-펀치 시험기(micro shear-punch tester)⁽⁷⁾를 사용하여 솔더합금과 Ni-P/Au UBM 접합부의 전단강도를 평가하였다.

2. 시험편 제작 및 실험 방법

2.1 Pb-free 솔더 접합부 시험편

전자부품의 솔더 접합부에서 발생하는 응력은 인장응력과 압축응력도 있지만, 전단응력이 주요 응력성분이다. 변형 또한 응력과 마찬가지로 주로 전단변형이 중요하다. 이처럼 솔더가 받는 응력과 변형이 접합상태에서 전단방향이므로 솔더 접합부의 전단강도에 대한 연구를 하였다.

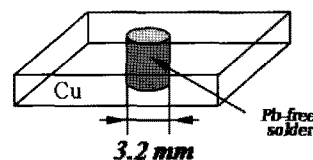
종래 솔더 접합부의 전단강도 평가를 위한 시험편은 약 50×10×1mm의 크기를 갖는 두 개의 구리 판(Cu plate)을 이용해 솔더 접합부분이 두께 1mm, 길이 10mm 되게끔 제작된 싱글 랩 전단 시험편(single lap shear specimen) 형태가 널리 사용된다. 그러나 이 같은 싱글 랩(single lap) 형태의 시험편은 전단 변형 시 솔더 접합부 부분에 회전모멘트가 발생하여 솔더가 전단변형외의 변형을 하게 되어 완전한 전단변형에 의한 기계적 특성이 될 수 없다. 또한 수십~수백 크기인 실제 전자부품의 미세 솔더 접합부의 크기와 비교해 볼 때 시험편의 크기가 상대적으로 크기 때문에 시험편의 사이즈 효과(size effect)의 영향이 존재하게 되어 정확한 미세 솔더 접합부의 전단강도 평가에 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 솔더링(soldering)에서 구리(Cu)와 같은 전자부품 소재와 다양한 솔더 합금의 접합부(solder joint)

에 대한 마이크로 신뢰성 평가를 위한 미소 전단-펀치 시험편을 제작하여 실제 전자기기의 솔더 접합부와 유사한 조건에서 실험을 수행하고자 하였다. 본 연구에서 솔더와 UBM 접합사이의 계면반응과 접합부 전단강도를 평가하기 위해 Fig. 1과 같은 미소시험편을 사용하였다⁽⁸⁾. 미소시험편은 Cu 기판의 Hole 가공 부위 안에 Table 1과 같이 솔더에 Cu 확산을 방지하기 위해 Ni-P를 무전해 도금하였고, 그 위에 산화방지 및 젖음성 향상을 위하여 전해 Au 도금을 하였다. 준비된 두 종류의 미소시험편에 세 종류의 솔더(Sn-37Pb, Sn-4Ag, Sn-4Ag-0.5Cu)를 Reflow time 10, 30, 100, 300 sec 조건에 따라 솔더 접합을 하고, 10×10×0.5mm의 크기로 미세 연마하여 제작하였다. Fig. 2의 개략도와 같이 두 종류의 솔더 접합부 시험편을 완성하였다.

2.2 미소 전단-펀치 시험 방법

본 연구에서는 두 종류의 솔더 접합부의 전단응력을 Fig. 3과



(Specimen Size : 10 × 10 × 0.5mm)

Fig. 1 The schematic diagram of solder joint specimen

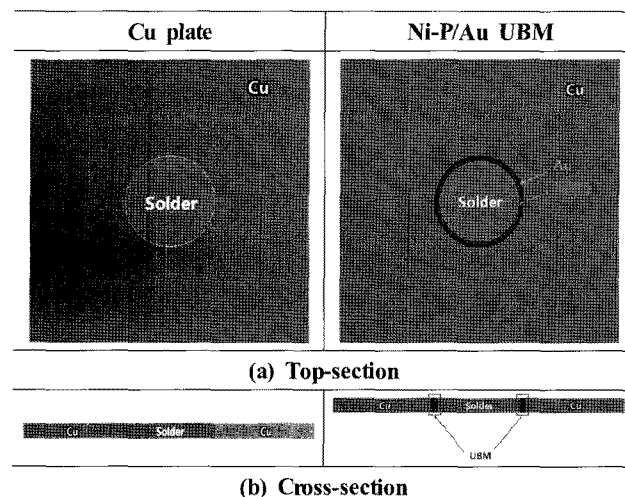


Fig. 2 The schematic diagram of Solder Joint specimen

Table 1 UBM System structure

	Specimen structure
UBM System	Ni-P / Au
Thickness(μm)	5 / 0.1
Deposition method	electroless / electro plated
P Content(at.-%)	7 ~ 9

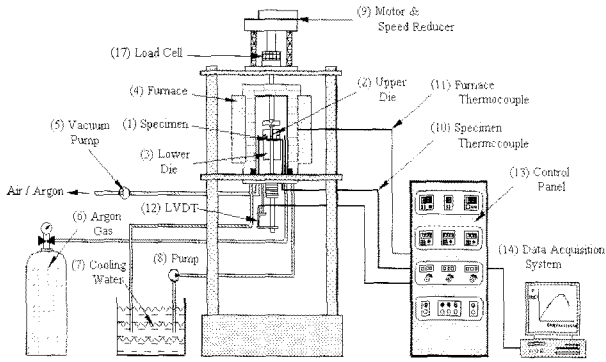


Fig. 3 The schematic diagram of shear-punch test equipment

같이 설계한 미소전단-펀치 시험 장치를 이용하여 평가하였다. 시험편의 크기는 10×10×0.5mm이며, 시험은 상온에서 실시하였다. 하중 속도는 0.2mm/min, 전단펀치의 직경은 2.8mm로 하였으며 시험 도중 시험편의 중앙변위는 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) 시스템을 이용하여 최소 1 μm까지 정밀 계측하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 솔더 접합부 시험편에 따른 IMC 거동

일반적으로 솔더 접합부에서의 금속간화합물(InterMetallic Compound : IMC)은 솔더와 기판 간의 전기적, 화학적, 그리고 기계적 결합력을 제공하는 것으로 솔더 접합부의 형성에 매우 중요하다. 그러나 조대하게 성장된 IMC는 솔더 접합부의

취성을 증가시킬 뿐만 아니라 접합부의 전단 및 피로강도에 해가 된다는 점을 고려할 때 솔더 접합부의 미시역학적인 기계적 특성평가는 전자부품의 신뢰성 확보 측면에서 매우 중요하다고 말할 수 있다. 따라서, IMC 거동을 관찰하기 위하여 준비된 두 솔더 접합부 시험편을 가지고 횡단면 방향으로 시험편을 마운팅하였고, 시험편의 1/2이 되도록 폴리싱 한 후 부식액으로 에칭하여 SEM 촬영을 하였다. UBM의 유/무에 따른 솔더 접합부의 SEM 사진은 Fig. 4와 5에 나타내었고, SEM 사진을 가지고 이미지 분석기를 이용하여 IMC 및 UBM 두께를 측정하였다.

3.1.1 Cu plate 솔더 접합부 시험편의 IMC 거동

Fig. 6은 Cu plate 솔더 접합부 시험편에서 Reflow time에 따른 IMC 두께를 나타낸 그림이다. IMC의 거동을 살펴보면, 다양한 Reflow 조건에서 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더가 가장 큰 IMC 거동을 보였다. Sn-37Pb와 Sn-4Ag의 경우는 Reflow time 30sec까지 IMC 크기는 큰 차이가 없었으나, 30sec 이후부터는 Sn-4Ag의 경우가 Sn-37Pb 보다 큰 IMC 거동을 보였다. 또한, 전반적으로 Pb-free 솔더가 공정 Sn-Pb 솔더보다 큰 IMC 거동을 보였다. 특히, Cu plate 계면부에서 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더의 경우가 다른 솔더 보다 비교해 더 큰 IMC 형성을 보인 것은 솔더에 포함된 Cu가 솔더링 반응 후 η상으로 석출하기가 용이하기 때문이라 사료된다.

3.1.2 Ni-P/Au UBM 솔더 접합부 시험편의 IMC 거동

Solder Alloy	Reflow Time (sec)			
	10	30	100	300
Sn-37Pb				
Sn-4Ag				
Sn-4Ag-0.5Cu				

Fig. 4 SEM images of non UBM Solder Joints with reflow time

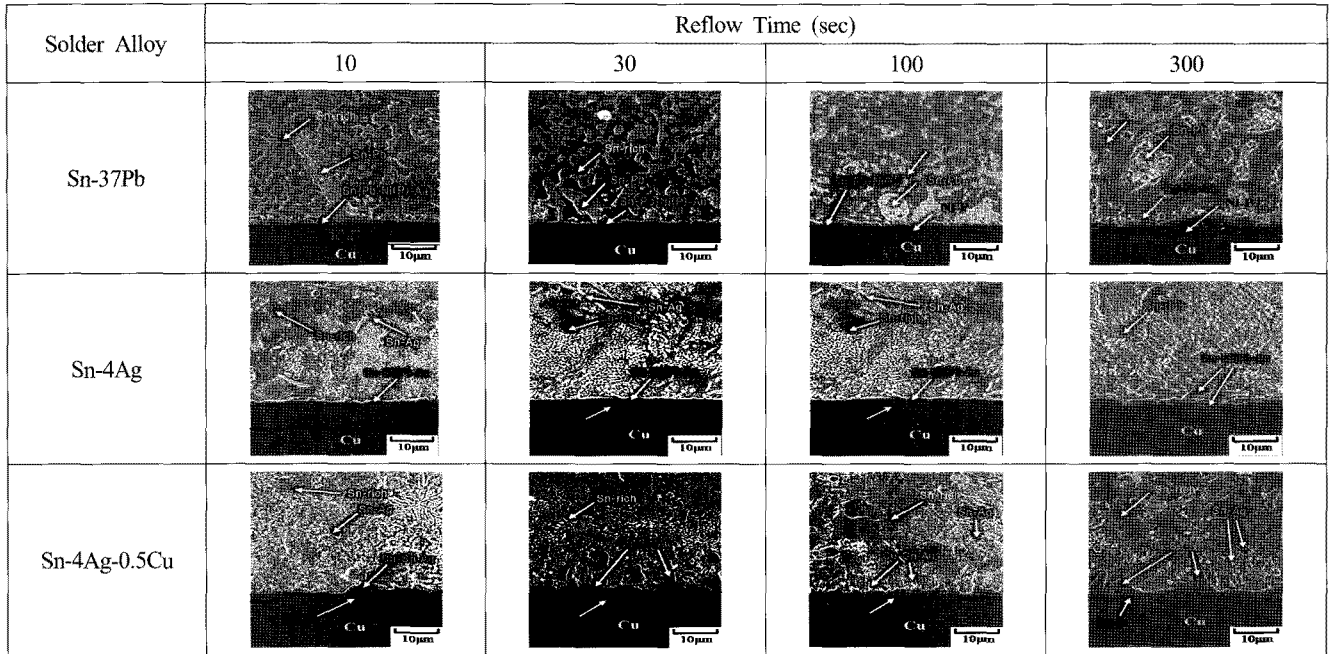


Fig. 5 SEM images of being UBM Solder Joints with reflow time

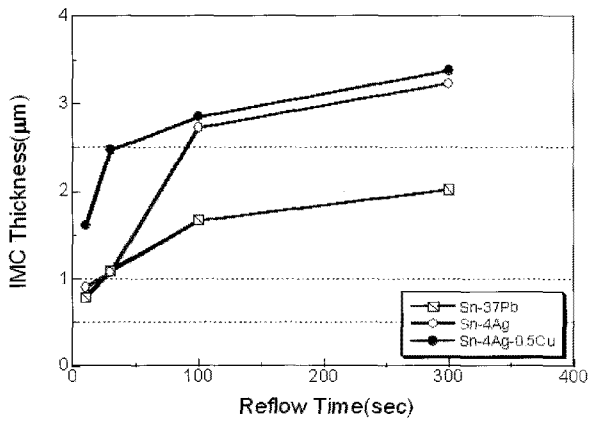


Fig. 6 Distribution of IMC thickness with reflow time for Pb-free and Sn-Pb solders on Cu plate

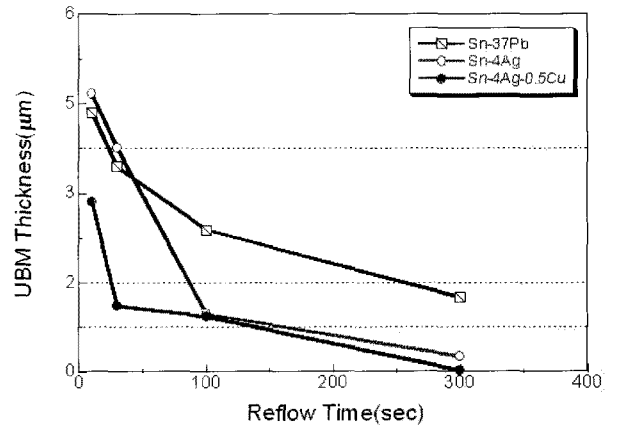


Fig. 8 Distribution of Ni-P/Au UBM thickness with reflow time for Pb-free and Sn-Pb solders on Cu plate.

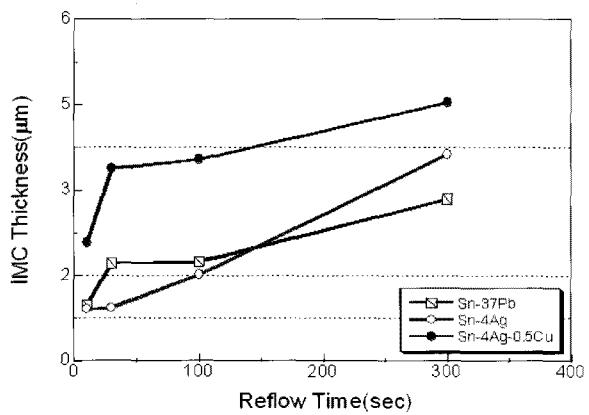


Fig. 7 Distribution of IMC thickness with reflow time for Pb-free and Sn-Pb solders on Ni-P/Au UBM

Fig. 7과 8은 Ni-P/Au UBM 솔더 접합부 시험편의 Reflow time 증가에 따라 각각 Sn-37Pb, Sn-4Ag, Sn-4Ag-0.5Cu 솔더 접합부에서의 IMC와 UBM 두께 측정값을 나타낸 그림이다. Ni-P/Au UBM 시험편의 IMC 거동을 살펴보면 Reflow 조건에서 UBM이 없는 시험편과 동일하게 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더가 가장 큰 IMC 거동을 보였다. Sn-37Pb와 Sn-4Ag의 경우, Reflow time 10sec~100sec 이전까지는 Sn-37Pb가 큰 IMC 거동을 보였으나, 100sec 이후에는 반대로 Sn-4Ag가 Sn-37Pb보다 큰 IMC 거동을 보였다.

Fig. 8의 Reflow time에 따라 소모되는 Ni-P/Au UBM 두께 조건에 경우를 살펴보면, Sn-4Ag-0.5Cu 솔더가 Sn-4Ag, Sn-37Pb 솔더보다 UBM이 소모되는 속도가 매우 빠른 것을

알 수 있다. IMC 두께와 UBM 두께의 측정값 비교를 통해 2원계 무연 솔더가 소량의 Cu 첨가된 3원계 솔더에 비해 IMC 계면 반응의 속도가 크게 줄었다.

3.2 솔더 접합부 시험편의 전단강도 평가

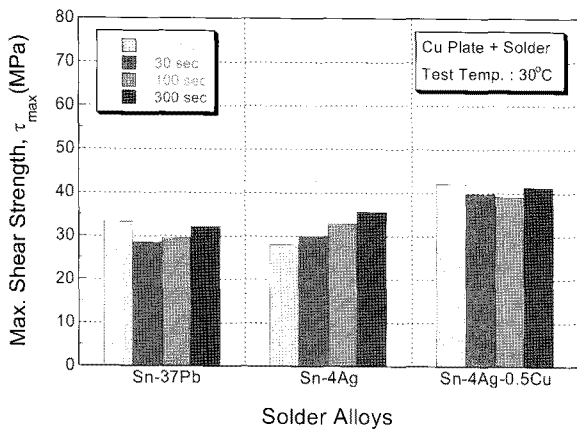
3.2.1 Cu plate 솔더 접합부 시험편의 전단강도

Fig. 9는 미소전단-펀치 시험기법을 이용하여 UBM이 없는 시험편의 Reflow time 조건에 따른 솔더 접합부 전단강도 시험결과를 나타낸 그림이다. 전반적으로 전단강도를 살펴보면, Pb-free 솔더는 공정 Sn-Pb 솔더 보다 우수한 접합강도를 보였다. 특히 세 종류의 솔더 합금 중 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더 접합부가 가장 우수한 전단강도 특성을 보였다.

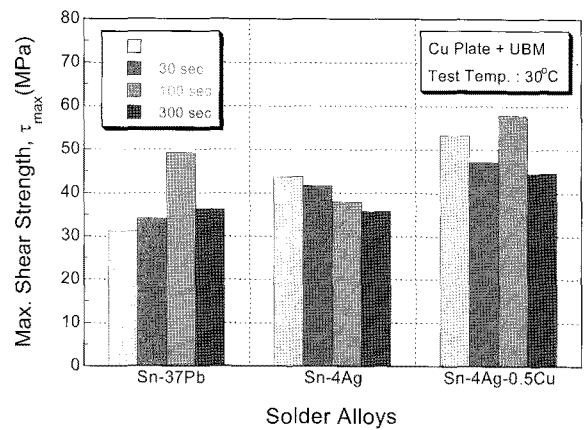
3.2.2 Ni-P/Au UBM 솔더 접합부 시험편의 전단강도

Fig. 10은 미소 전단-펀치 시험기법을 이용하여 UBM이 있는 시험편의 Reflow time 조건에 따라 수행된 솔더 접합부

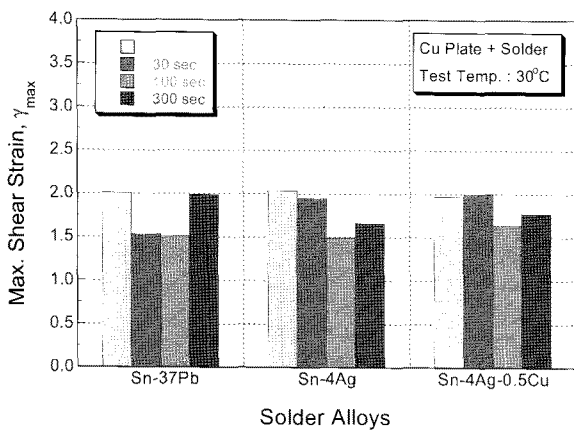
(solder joint) 전단강도 시험결과를 나타낸 그림이다. Reflow time 100sec 일 경우에 Sn-37Pb가 Sn-4Ag보다 접합강도가 높은 경향을 보였다. Pb-free 솔더 합금에서 Sn-4Ag 솔더는 전반적으로 Reflow time이 증가됨에 따라 응력-변형률 선도의 감소와 함께 최대전단강도 또한 감소함을 보였다. 따라서, Cu + Ni-P/Au UBM + Solder 접합부의 Reflow time이 증가함에 따라 불안정한 계면 화합물의 생성이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 최대 전단강도 살펴보았을 때 Pb-free 솔더가 공정 Sn-Pb 솔더보다 우수한 접합 강도를 보였다. 이는 솔더 접합부 계면부에서 형성된 금속간 화합물에 영향을 결과로 사료된다. 이 같은 미소 전단-펀치 시험 결과 UBM 유/무 모두 세 종류의 합금 중 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더 접합부가 가장 우수한 전단강도 특성을 보였다. 또한, Ni-P/Au UBM 증착된 시험편이 UBM이 없는 시험편보다 최대 전단강도가 약 28~30% 가량 증가되었다.



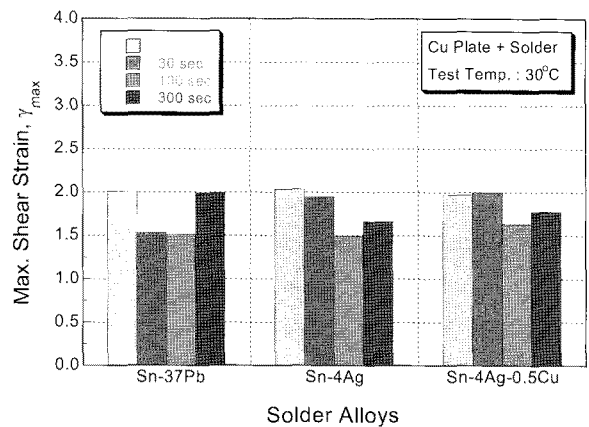
(a) Max. shear strength behavior



(a) Max. shear strength behavior



(b) Max. shear strain behavior



(b) Max. shear strain behavior

Fig. 9 The Max. shear strength and shear strain for Pb-free and Sn-Pb solders by non UBM

Fig. 10 The Max. shear strength and shear strain for Pb-free and Sn-Pb solders by UBM

4. 결론

본 연구에서는 현재 사용 중인 환경 친화적 솔더 합금인 2원계 및 3원계의 Pb-free 솔더 합금을 대상으로 솔더 접합부에서의 IMC 거동을 조사하고, 미소 전단-편치시험기법을 이용하여 솔더와 Ni-P/Au UBM 접합부의 전단강도 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Ni-P/Au UBM에 대한 Pb-free 솔더와 공정 Sn-Pb 솔더의 IMC 거동은 소량의 Cu를 첨가한 Sn-4Ag-0.5Cu가 가장 큰 IMC 거동을 보였다.
- (2) Ni-P/Au UBM에 따른 솔더 합금의 전단시험에서 Pb-free 솔더가 Sn-Pb 솔더 보다 높은 최대전단응력 값을 보였으며, 모든 Reflow 조건에서 최대전단응력은 Sn-37Pb, Sn-4Ag, 그리고 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더 합금 순으로 증가하였다.
- (3) 다양한 Reflow time에서 전단강도는 두 시험편 모두 Pb-free 솔더가 공정 Sn-Pb 솔더보다 우수한 접합강도를 보였으며, Pb-free 솔더 합금에서는 소량의 Cu를 첨가한 Sn-4Ag-0.5Cu 솔더 접합부가 우수한 전단강도 특성을 보였다. 이는 솔더 접합 계면부에서 형성된 금속간화합물에 의한 결과로 사료된다.

참고 문헌

- (1) Heo, W. J., 2004, *A Study on Reliability Evaluation of Pb-free Solder for Electronic Package*, A Master's Thesis, Chonbuk National University, Republic of Korea.
- (2) WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment), 2003, *Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council*, Official Journal of the European Union, EU.
- (3) Kim, W. Y., Kim, I. C., and Noh, B. I., 2002, "The Estimate of Progress Condition and Operation Property/Reliability of Pb-Free", *Journal of KWS*, Vol. 20, No. 3, pp. 287~292.
- (4) Ko, Y. H., 2005, *A Study on Correlation between Interfacial Reaction and Mechanical Reliability of Pb-Free Solder Joint*, A Master's Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Republic of Korea.
- (5) Kim, K. S., Yang, J. M., and Yu, C. H., 2003, "Microstructures and Shear Strength of Sn-Zn Lead-Free Solder Joints", *Journal of KWS*, Vol. 21, No. 7, pp. 59~64.
- (6) Koo, J. M., Kim, Y. N., Park, S. K., and Jung, S. B., 2008, "Effect of Under Bump Metallization (UBM) on Interfacial Reaction and Shear Strength of Electroplated Pure Tin Solder Bump", *J. Kor. Inst. Met. & Mater*, Vol. 46, No.1, pp. 33~38.
- (7) Yu, H. S., Yang, S. M., Heo, W. J., and Shin, S. R., 2007, "Shear Stress-Strain evaluation method for solder joint by Micro Mechanics Test Method", KIPO Patent: 10- 2007-0029300.
- (8) Yu, H. S., Lee, S. I., Kwon, I. H., Baek, S. S., Joung, Y. H., and Heo, W. J., 2003, *Manufacture technique of miniaturized Shear-Punch Specimen for Solder Joint*, KIPO Patent: 10-2003-0010857.