

## μBGA 패키지에서 솔더 볼의 초기 접합강도와 금 확산에 관한 연구

김 경 섭\* · 이 석\*\* · 김 현 희\*\* · 윤 준 호\*

\*여주대학 전자과

\*\*중앙대학교 공과대학 기계공학부

### A Study on the Initial Bonding Strength of Solder Ball and Au Diffusion at Micro Ball Grid Array Package

Kyung-Seob Kim\*, Suk Lee\*\*, Heon-Hee Kim\*\* and Jun-Ho Yoon\*

\*Dept. of Electronics, Yeo-Joo Institute of Technology, Kyonggido 469-800, Korea

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

#### Abstract

This paper presents that the affecting factors to the solderability and initial reliability. It is the factor that the coefficient of thermal expansion between package and PCB(Printed Circuit Board), the quantity of solder paste and reflow condition, and Au thickness of the solder ball pad on polyimide tape. As the reflow soldering condition for 48 μBGA is changed, it is estimated that the quantity of Au diffusion at eutectic Sn-Pb solder surface and initial bonding strength of eutectic Sn-Pb solder and lead free solder. It is the result that quantitative measurement of Au diffusion quantity is difficult, but the shear strength of eutectic Sn-Pb solder joint is 842 mN at first reflow and increases 879 mN at third reflow. The major failure mode in solder is judged solder fracture. So, Au diffusion quantity is more affected by reflow temperature than by the reflow times.

(Received February 13, 2001)

Key Words : BGA, Solder ball, Shear strength, Reflow, Diffusion

#### 1. 서 론

고밀도 실장 패키지인 CSP(Chip Scale Package)의 한 종류인 μBGA(Micro Ball Grid Array)의 경우 최근 휴대폰, 노트북, 메모리 카드 등의 제조 과정에 폭넓게 채용되고 있는 추세이다. μBGA는 기존의 BGA 패키지에 적용되고 있는 솔더볼의 크기가 0.76 mm 인 것에 비해서 더욱 작아진 0.3~0.35 mm이고, 0.75 mm의 미세 패드피치를 가지고 있다<sup>1)</sup>. 때문에 기존 BGA 패키지보다 솔더링성(Solderability)과 솔더 접합부의 신뢰성 관점 측면에서 취약할 것으로 판단된다<sup>2,3)</sup>. 현재 여러 업체에서 μBGA를 개발하고 있으나,

이들 패키지를 시스템에 탑재한 후 장기 신뢰성에 대해 검토한 연구는 부족한 실정으로 솔더링과 솔더 접합부의 신뢰성에 대한 연구가 요구되고 있다. μBGA를 PCB(Printed Circuit Board)에 실장할 때 솔더링 특성에 영향을 주는 요인으로는 패키지와 PCB간의 열팽창계수 차이, PCB 실장시 솔더 페이스트 량, 그리고 필름 내부의 솔더 볼 패드 부분의 Au 두께를 들 수 있다. 특히 Au가 일정 두께 이상이 되면 PCB 실장시 Au가 솔더의 표면으로 확산되어 Au-Sn의 금속간 화합물을 형성시켜서 PCB와의 접착강도를 떨어뜨려 각종 신뢰성시험에서 제품의 품질을 저하시키는 원인이 되고 있다. 특히 다양한 전자기기의 실장기판에 사용되어 왔던 솔더 내부에 함유된 납의 환경 유해

성이 사회 문제가 되면서 실장기판에서의 납 제거를 위한 무연 솔더(lead free) 재료와 그 접합기술이 중요한 과제로 대두되고 있으며 현재 활발한 연구가 진행되고 있다<sup>4~9)</sup>.

본 논문에서는 μBGA 패키지 조립 공정에서 솔더 볼을 접합하는 적외선(Infra Red, IR) 리플로우 솔더링 온도 조건과 핏수들을 변화시켜서 솔더 접합부의 초기 접합강도를 측정하였다. 또한 솔더링 조건에서 솔더 볼 표면으로 Au가 확산되는 정도를 분석하였고, 세계적인 납 금속의 규제동향 문제에 대응하기 위해서 무연 솔더 3종류를 적용하여, 유연 솔더와의 전단강도 특성을 비교 평가하였다.

## 2. 시험편과 실험 방법

### 2.1 시험편

본 연구에서 사용된 패키지는 48 μBGA이며, Fig. 1에 패키지의 단면 구조를 나타내었다. 패키지의 크기는 6.3×6.2 mm이고, 솔더 볼 크기는 φ0.35 mm이다. 패드 피치는 0.75 mm이며, 베이스 필름은 UPILEX-S 타입으로 두께는 50 μm이고, 소프트 Au 두께는 1.0±0.3 μm이며, 동박(Cu foil)의 두께는 18 μm이다. Table 1에는 패키지를 구성하고 있는 재료의 물성치를 나타내었다.

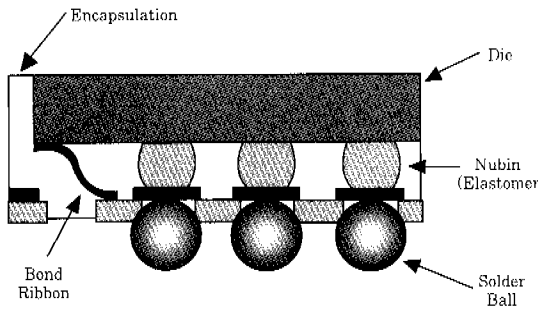


Fig. 1 Cross sectional structure of μBGA

Table 1 Material properties of components in a 48 μBGA

Material properties	Young's modulus(GPa)	Thermal expansion coefficient(ppm/°C)	Poisson's ratio
Elastomer	0.25	α 1: 90 α 2: 120	0.45
Base film	0.90	17	0.35
Encapsulant	2.54	164	0.40
Land	119	17	0.34
Solder ball (63Sn-37Pb)	43.25	25.4	0.36

### 2.2 실험 방법

μBGA 패키지를 조립하는 공정에서 솔더 볼을 볼 패드에 부착시킬 때 리플로우 솔더링 방식이 사용된다. 이 솔더링 온도의 영향을 분석하기 위해서 최대 솔더링 온도 조건을 210°C, 220°C, 230°C의 3가지로 구분하였다. 설비는 ultra profile 2000(Sikama Co.)을 적용하였으며, 컨베이어 벨트 속도는 23.2 inch/min, 전체 통과 시간은 5분이다. 리플로우 과정 동안 노(furnace) 내부의 온도 분포는 SlimKIC thermal profiler로 측정하였다. 노는 5개의 가열 영역으로 구성되었으며, 가열 영역마다 설정된 온도 조건은 110°C, 170°C, 160°C, 197°C, 220°C이다. Fig. 2에 리플로우 솔더링시 온도 프로파일을 나타내었으며, 솔더 용융점 이상에서의 유지 시간은 54초이다.

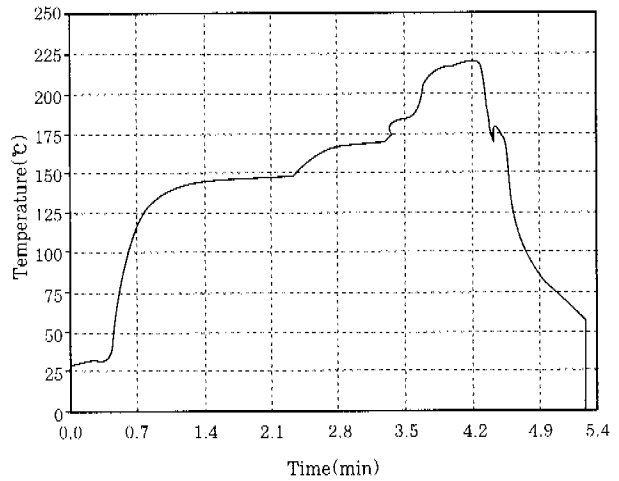


Fig. 2 Temperature profile of IR reflow soldering

플럭스는 수용성인 WS613을 사용하였고, 솔더 볼의 조성으로 유연 솔더는 63Sn-37Pb이고, 무연솔더는 Sn-3.5Ag, Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi, Sn-3.5Ag-0.75Cu 3종류를 사용하였다. 무연 솔더에서는 리플로우 솔더링 온도가 최대 260°C 조건에서 볼을 접합시킨 후 초기 접합강도를 측정하였다. 솔더 볼이 패키지에 접합된 후 초기 접합강도를 평가하기 위해서 솔더 볼에 대한 전단강도를 측정하였다. 전단강도는 5개의 시편을 대상으로 Shear tester를 사용하여, 0.2 mm/sec의 속도로 실험하였다. 리플로 솔더링 후에 시편의 관찰은 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다. 또한 EDX(Energy Dispersive X-ray)와 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 사용하여 계면 접합부와 솔더 볼 표면에 형성된 성분을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 초기 접합강도

Fig. 3에는 리플로우 솔더링 최대 온도 220℃에서 리플로우 횟수를 1회에서 3회까지 실시한 후 솔더 볼 형상을 관찰한 결과이다. 리플로우 횟수를 증가시키면서 솔더 볼 형상을 관찰한 결과 1회 리플로우 형상보다 3회에서 가장 많은 형상의 변화가 발생하였다. 즉, 솔더 볼이 용융된 폭은 1회에서 3회로 갈수록 증가하였고, 높이는 반대로 감소하였다. 1회에서는 볼의 형상이 원형(mushroom)에 가까운 형태를 유지하였으나, 2, 3회 리플로우 과정을 거친 후에는 타원형(earthenware)의 형상으로 변화됨을 알 수 있었다. 이것은 시편이 고온

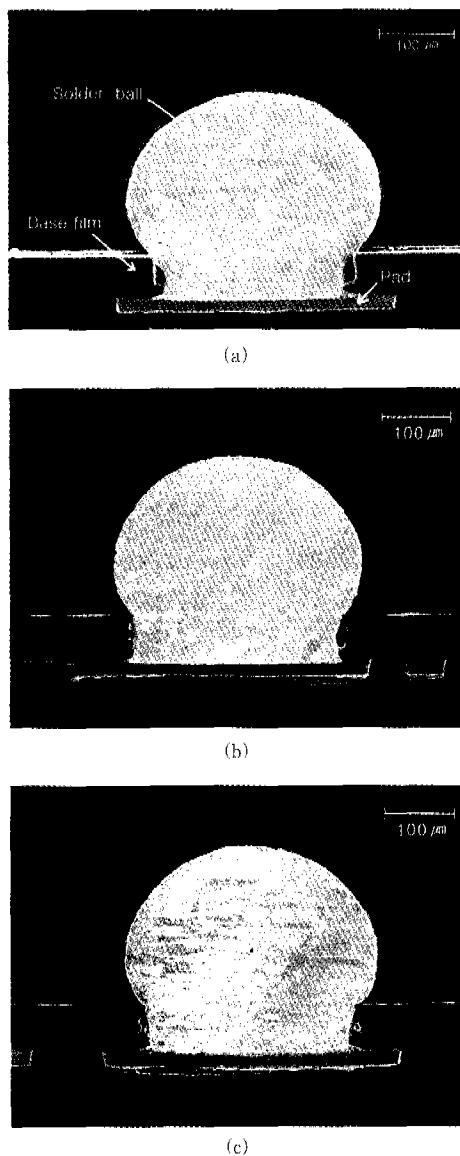


Fig. 3 Solder ball shape on reflow soldering (a) first reflow (b) second reflow (c) third reflow

에서 노출되는 시간이 증가함에 따라 베이스 필름과 볼 패드 경계 부분에 존재하는 작은 공간으로 용융된 솔더가 흘러 들어가 채워지면서 형상의 변화가 발생하는 것으로 생각된다. 또한 리플로우 솔더링 횟수에 따라서 금속간 화합물 층의 발생과 두께를 측정된 결과 리플로우 횟수 1, 2회에서는 금속간 화합물 층이 미세하게 관찰되었으나, 3회에서는 약 2.7 μm 정도로 성장한  $Cu_6Sn_5$ 로 판단되는 금속간 화합물 층이 형성됨을 확인하였으며, Fig. 4에 나타내었다. 리플로우 솔더링 작업이 진행되는 고온에서는 시간이 흐를수록 Sn계 솔더와 볼 패드의 금속 층으로 주로 사용되고 있는 Cu, Au 등의 금속과 반응하여 계면에 금속간 화합물이 성장된다. 이들 계면 금속간 화합물은 매우 취약하기 때문에 이들의 과도한 성장은 솔더 접합부의 피로 수명을 단축시키는 원인이 되고 있다<sup>9)</sup>.

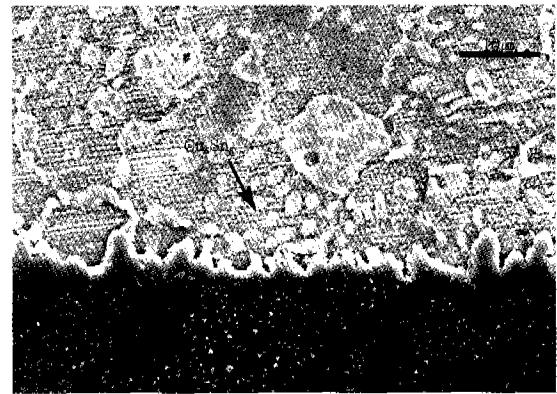


Fig. 4 Intermetallic compound layer (third reflow)

Fig. 5는 리플로우 온도가 220℃일 때 63Sn-37Pb 솔더를 접합한 후 리플로우 솔더링 횟수에 따라서 측정된 전단강도 값을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 리플로우 1회에서는 878 mN이고, 3회에서는 887 mN으로 전단강도가 증가하였으며, 파단 현상은 솔더내에서 발생하는 연성파괴 모드를 보였다. 이와 같은 결과는 일반적으로 계면의 전단강도 값은 금속간 화합물 층의 두께와 관련된 것으로 알려져 있다. 즉, 금속간 화합물 층의 일정 두께 값까지는 두께의 증가에 따라 전단강도 값이 증가하나, 그 이상의 두께에서는 솔더 볼의 전단강도 값이 감소하게 된다<sup>9)</sup>. 따라서 48 μBGA에서는 3회의 리플로우 과정을 거쳐도 임계 금속간 화합물 층의 두께를 넘어서지 못하는 것으로 생각된다. Fig. 6에서는 63Sn-37Pb 솔더를 적용하여 리플로우 횟수 1회 조건에서 리플로우 솔더링 온도에 따른 전단강도를 나타내었으며, 최고 온도가 230℃일 때 가장 우수한 값을 얻었다.

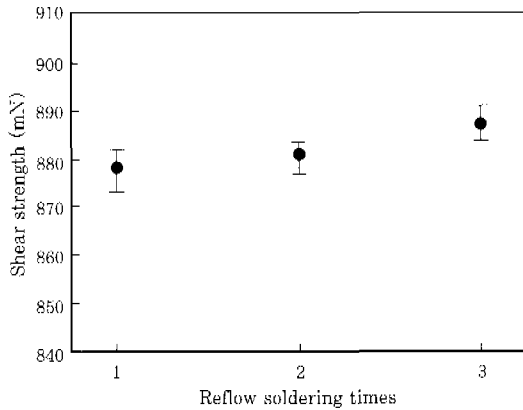


Fig. 5 Shear strength on reflow soldering times 63Sn-37Pb Solder, reflow temperature: 220℃

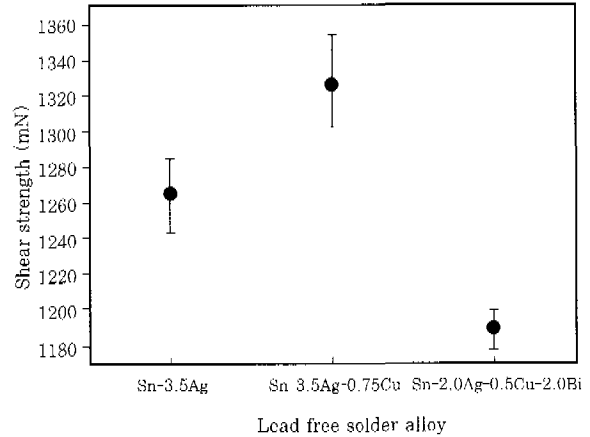


Fig. 7 Shear strength on lead free solder alloy

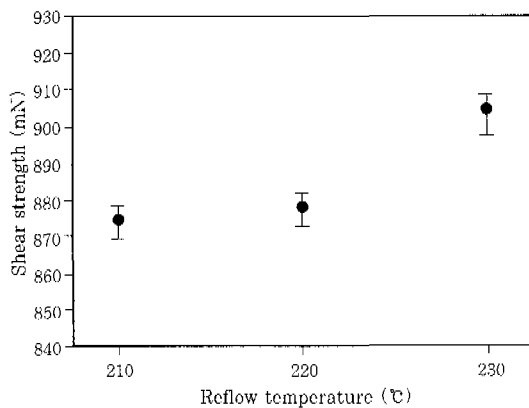


Fig. 6 Shear strength on reflow soldering temperature

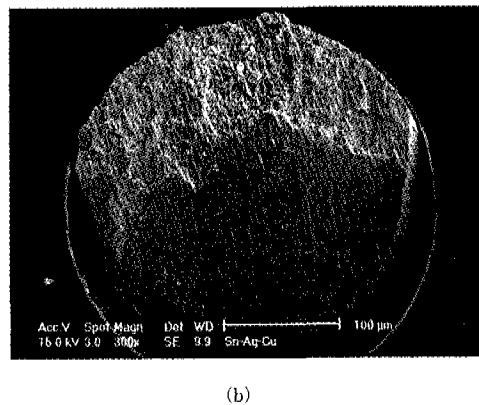
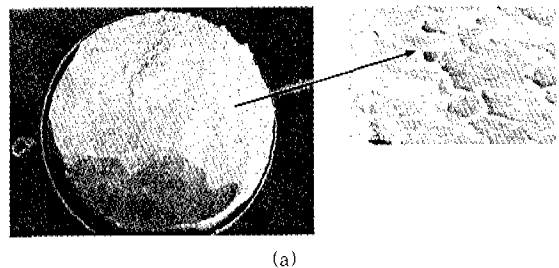


Fig. 8 Fracture surface of the solder joint after measuring shear strength (a)63Sn-37Pb (b)Sn-3.5Ag-0.75Cu

Fig. 7은 무연 솔더 3종류를 적용하여 초기 전단 강도를 측정 한 결과이다. 이때의 솔더링 온도는 최대 260℃이고, 리플로우 횟수는 1회이다. Fig. 6의 63Sn-37Pb 솔더의 초기 강도 값과 비교한 결과 Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi 무연 솔더의 전단강도 값은 1325 m/N으로 63Sn-37Pb 솔더(220℃)의 878 m/N에 비해서 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Sn-Ag계가 Sn-Pb계에 비해서 평균 용융 온도가 210℃ 이상으로 유연 솔더의 183℃에 비해서 상대적으로 높고, Ag<sub>3</sub>Sn과 같은 석출상이 존재하는 미세한 구조적 특성에 기인된 것으로 생각된다<sup>9)</sup>. Fig. 8은 전단강도를 측정 한 후 접합면의 파단 표면을 SEM으로 관찰한 결과이며, (a)는 63Sn-37Pb (b)는 Sn-3.5Ag-0.75Cu 솔더이다. 그림에서와 같이 주요 불량 현상은 솔더면으로 진행되는 솔더 파괴 모드를 보였다. (a)와 (b)를 살펴보면 솔더쪽 파면이 대부분 연성인 파괴 모드로 나타내었다. 이것은 계면 결합 강도가 솔더의 파괴 강도보다 크기 때문에 솔더의 변형에 의한 파괴가 발생하게 된다.

### 3.2 확산

리플로우 솔더링 횟수와 최대 온도 조건을 210℃, 220℃, 230℃으로 구분하여 Au의 확산 정도를 평가 하였다. 63Sn-37Pb 솔더를 적용하여 최대 온도가 210℃ 일때 리플로우 횟수를 1회 실시한 후 솔더 불 표면을 SEM으로 관찰한 결과 Au가 미세하게 실 형태나 작은 덩어리 형태의 얇은 층으로 관찰되었고, 220℃, 230℃에서는 Au가 점점 많아짐을 알 수 있었다. Fig. 9(a)는 불 표면에서 작은 덩어리 형태의 얇은 층으로 관찰된 부분의 SEM 사진을, (b)는 AES 성분

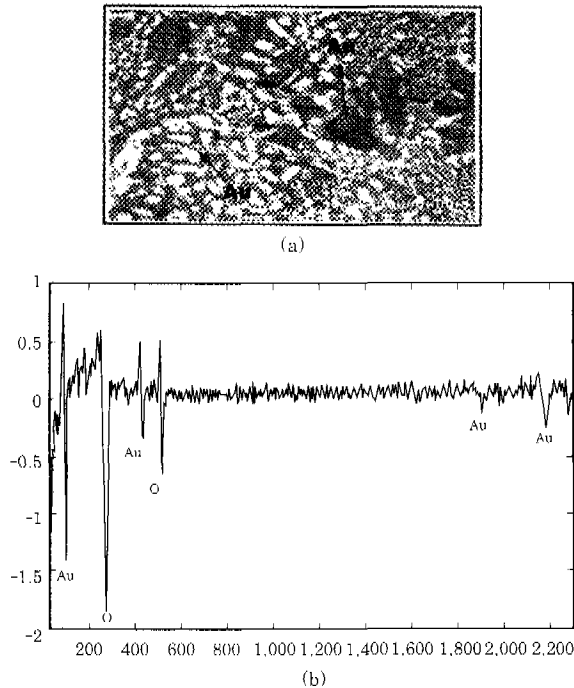


Fig. 9 Analyses of solder ball surface (a) SEM (b) AES

분석한 결과이다. 그림에서와 같이 Au가 검출되었으며 확산에 의한 결과임을 확인할 수 있었다. 또한 리플로우 횟수를 2회, 3회까지 증가시키면서 Au 확산 정도를 관찰한 결과 3회에서 가장 많은 확산이 있었다. 이것은 솔더 볼 패드에  $1.0 \mu\text{m}$  정도의 두께로 형성되어 있던 Au가 고온분위기에서 시간이 경과함에 따라 솔더 볼 표면으로 확산되는 것으로 생각된다. 확산은 볼 표면 전체에서 관찰되었다. 그러나 온도변화와 리플로우 횟수에 따라서 확산되는 Au의 정량적인 자료는 분석장비의 기능상 현실적으로 어려워 측정되지 못하였다. 따라서 Au 두께는 내부 리드 본딩 등을 고려하면 어느 정도 높게 유지되어야 하므로 조금 오차를 고려한 적절한 Au 두께의 설정이 필요하다.

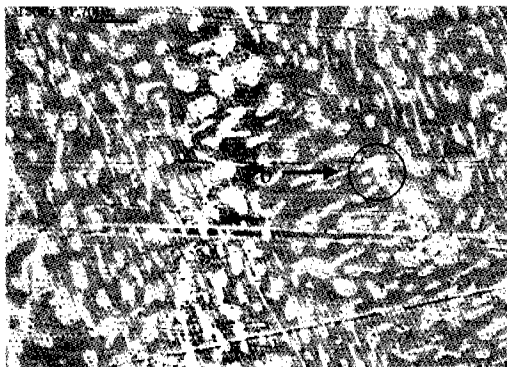


Fig. 10 SEM photographs of a solder ball

또한 Au가 솔더 볼 내부로의 확산 여부를 확인하기 위해 솔더 볼 부위를 절단하고 연마하여 중심 부분을 분석한 결과 회색 덩어리 부분에서는 Pb, 검은색 부분에서는 Sn이 검출되었다. 내부에서는 Au가 검출되지 않았으며 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 11은  $220^\circ\text{C}$  온도조건에서 리플로우를 1회 실시한 후 솔더 볼의 전반적인 형상을 관찰한 결과이며, 볼 표면에 많은 주름이 존재함을 알 수 있었다.

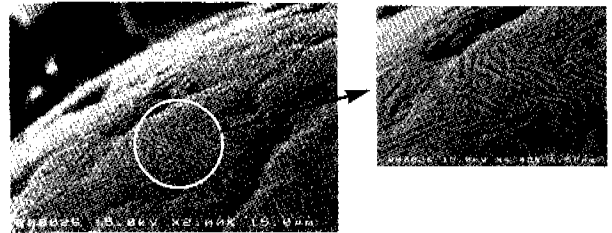


Fig. 11 SEM micrographs of solder ball surface

#### 4. 결 론

본 연구에서는  $48 \mu\text{BGA}$  패키지 조립공정에서 리플로우 솔더링 조건들을 변화시켜서 솔더 접합부의 초기 접합강도 변화와 형상, 파단면 상태를 관찰하였으며, 63Sn-37Pb 솔더와 무연 솔더 볼과의 전단강도 값을 비교 평가하였다. 또한 솔더볼 표면으로 Au의 확산 여부를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전단강도 값은 리플로우 온도  $220^\circ\text{C}$ , 리플로우 횟수 1회를 거친 시편에서는  $878 \text{ mN}$ 이었고, 3회에서는  $887 \text{ mN}$ 으로 증가하였으며, 파단은 솔더면으로 진행되는 솔더 파괴 모드를 보였다.
- 2) 63Sn-37Pb 솔더에서는 리플로우 솔더링 최고 온도가  $210\sim 230^\circ\text{C}$ 의 범위내에서 가장 우수한 전단강도 값을 보였다.
- 3) Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi 무연 솔더의 전단강도 값은  $1325 \text{ m/N}$ 으로 63Sn-37Pb 솔더의  $878 \text{ m/N}$ 에 비해서 높음을 알 수 있었다.
- 4) 리플로우 솔더링 온도가  $220^\circ\text{C}$ 이고, 솔더 용융점 이상에서의 유지시간이 45초일 때 볼 패드에 형성된 Au가 볼 표면 전체로 확산되었으며, 솔더 볼 중심으로는 확산되지 않았다.

#### 참 고 문 헌

1. J.Fjelstad, I.Mach, "Infrastructure for BGA packaging", Semiconductor Fabtech, (1998)
2. P.Boysan, "Influence of process variables on the reliability of microBGA package assemblies", IEEE,

- Trans. on Com., Vol. 21(1998), 430~436
3. 김경섭, 신영의, "플라스틱 BGA 솔더접합부의 고신뢰성에 관한 연구", 대한용접학회지, 제17권, 제3호(1999), 238~243
  4. S.K.Kang, Sarkhel, "Lead(Pb) free solders for electronic packaging", J.Electronic Materials, Vol. 23(1994), 701~707
  5. Alex C.K.So, Yan C. chan, "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(1997), 161~166
  6. D.Yoshitome, Y.Tanaka, "Development of reliable Sn-Ag lead free solder", Microjoining and Assembly Technology in Electronics" (1999), 403~408
  7. Kazuto Akagi, "Tackling of an unleaded solder", SEMICON Korea (2000), 229~237
  8. C.E. Ho, Y.M. Chen, and C.R. Kao, "Reaction Kinetics of Solder-Balls with Pads in BGA Package during Reflow Soldering", Journal of Electronic Materials, Vol. 28, No. 11(1999), 1231~1237
  9. 허정나, 이종현, "in-suit 법으로 제조된 BGA 전자패키지용 복합 솔더의 특징", 대한금속학회지, Vol. 37, No. 9(1999), 1117~1123