

μ-BGA에서 Sn-Ag-Cu 솔더의 도금층에 따른 솔더링성 연구

신 규 식* · 정 석 원** · 정 재 필**

*전자부품연구원 마이크로머신연구센터

**서울시립대학교 재료공학과

A Study on Solderability of Sn-Ag-Cu Solder with Plated Layers in μ-BGA

Kyu Sik Shin*, Seok Won Jung** and Jae Pil Jung**

*MEMS Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Kyungi-do 451-865, Korea

**Dept. of Materials Science & Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract

Sn-Ag-Cu solder is known as most competitive in many kinds of Pb-free solders. In this study, effects of solderability with plated layers such as Cu, Cu/Sn, Cu/Ni and Cu/Ni/Au were investigated. Sn-3.5Ag-0.7Cu solder balls were reflowed in commercial reflow machine (peak temp.: 250°C and conveyer speed: 0.6m/min). In wetting test, immersion speed was 5mm/sec., immersion time 5sec., immersion depth 4mm and temperature of solder bath was 250°C. Wettability of Sn-3.5Ag-0.7Cu on Cu, Cu/Sn (5μm), Cu/Ni (5μm), and Cu/Ni/Au (5μm/500Å) layers was investigated. Cu/Ni/Au layer had the best wettability as zero cross time and equilibrium force, and the measured values were 0.93 sec and 7mN, respectively. Surface tension of Sn-3.5Ag-0.7Cu solder turned out to be 0.52N/m. The thickness of IMC is reduced in the order of Cu, Cu/Sn, Cu/Ni and Cu/Ni/Au coated layer. Shear strength of Cu/Ni, Cu/Sn and Cu was around 560gf but Cu/Ni/Au was 370gf.

(Received May 8, 2002)

Key Words : μ-BGA, Pb-free solder, Sn-3.5Ag-0.7Cu, Joint strength, Microstructure

1. 서 론

μ-BGA(Ball Grid Array)는 최근 발표되고 있는 여러 가지 CSP 패키지(package) 중에서 real chip size package로서 기존 패키지와 비교하여, 그 크기와 무게를 약 1/3~1/4 수준으로 줄일 수 있는 특성을 가지고 있다. μBGA는 독특한 구조에 의하여 응력(stress)을 현저히 감소시키고 낮은 인덕턴스(inductance)와 높은 동작속도(high operation speed)를 갖고 있어 고신뢰성 및 고품질의 패키지이다.

Fig. 1에 μ-BGA의 개략도를 나타내었다. 패키지의 구성은 저응력 접착제 위에 칩이 접착되며, 칩 본딩 패드에 S자 모양으로 리드가 와이어 대신 본딩 된다¹⁻³⁾.

본 연구에서 사용된 Sn-3.5Ag-0.7Cu솔더는 Sn-37Pb 솔더를 대체할 무연솔더 중 가장 유력한 후보합금중의 하나이다. Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더는 Cu 기판

의 용출현상이 적고, 전단강도 및 열피로 강도가 Sn-37Pb 솔더보다 우수한 특징을 갖고 있다⁴⁾.

현재 μ-BGA에서의 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더의 도금층에 따른 솔더링 특성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 실험에서는 기판의 도금층(Cu, Cu/Sn,

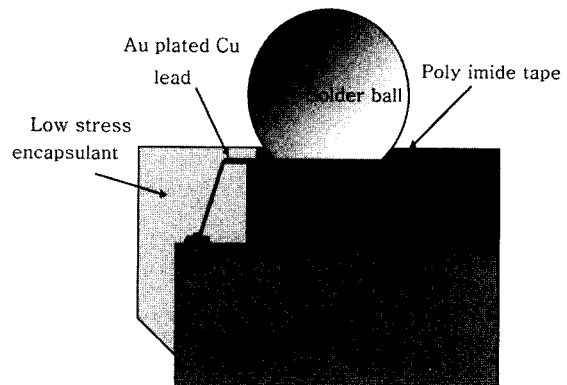


Fig. 1 Schematic illustration of μBGA

Cu/Ni, Cu/Ni/Au)에 따른 솔더의 젖음력 및 솔더링 특성을 비교하고자 하였다.

2. 실험방법

젖음성 측정용 시편은 무산소동 (순도 : 99.99%)을 사용하였으며, 시편의 크기는 $10 \times 20 \times 0.3$ (mm)이다. 기판의 도금은 Ni/Au ($5\mu\text{m}/500\text{\AA}$), Ni($5\mu\text{m}$), Sn($5\mu\text{m}$)층을 사용하였으며⁵⁾, 각 도금층은 무전해 도금법을 이용하여 적층하였다. 또한 비교 데이터로서 도금이 되지 않은 Cu 기판을 사용하였다. 젖음성 시험 시 표면의 산화막을 제거하기 위해 아세톤 및 산 세척을 하였으며, 플럭스(flux)는 RMA타입을 사용하였다. 또한 플럭스의 활성화를 위하여 납조 위에서 30초간 예열을 실시하였다. 솔더 베스(solder bath)의 온도는 250°C 로 고정하였으며, 침지깊이는 4mm, 침지속도는 5mm/s, 침지시간은 5초로 유지하였다. 젖음력은 wetting balance tester를 이용하여 실험하였으며, PC를 사용하여 그 결과를 분석하였다.

미세조직 관찰 및 전단강도를 시험하기 위해 기판 위에 크기 0.28mm의 패드(pad)를 만들었으며, 패드재료는 Cu이다. 젖음성 측정 시편과 동일하게 도금된 기

판 위에 BGA용 플럭스를 사용하여 0.3mm의 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 솔더볼을 올려놓고, reflow machine에서 가열하였다. reflow machine은 열풍 및 적외선 겸용이며, 예열온도는 BGA용 플럭스의 활성화 온도인 150°C 이다. reflow peak온도는 250°C , 컨베이어 속도는 0.6m/min으로 고정하였다. 전자현미경(SEM)을 이용하여 접합된 솔더볼과 기판 사이의 계면을 관찰하였다.

접합강도를 측정하기 위하여 전단시험기(shear strength tester)를 사용하였으며, 팁과 기판사이의 거리는 $10\mu\text{m}$ 이고, 팁의 속도는 $200\mu\text{m/s}$ 로 전단응력을 가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 젖음성

Fig. 2는 Cu, Cu/Sn, Cu/Ni, Cu/Ni/Au의 도금층에 따른 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더의 젖음 곡선이다. Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더의 젖음성을 정량적으로 평가하기 위하여 젖음시간(zero cross time)과 평형젖음력(equilibrium force)을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 젖음시간은 솔더가 시편에 얼마나 빨리

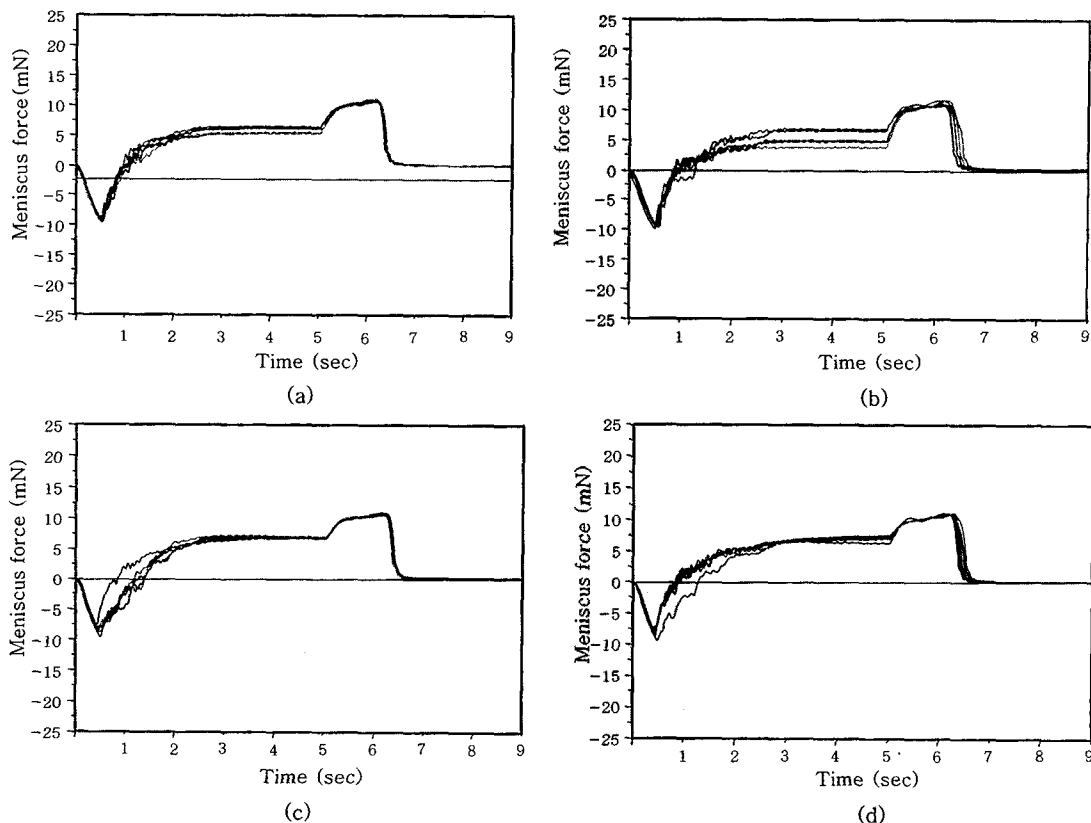


Fig. 2 Results of wetting curves with plated layers (a) Cu, (b)Cu/Sn, (c)Cu/Ni, (d)Cu/Ni/Au (solder : Sn-3.5Ag-0.7Cu, wetting condition : 250°C , in air)

젓기 시작하는가를 나타내는 값으로 젓음시간의 값이 작을수록 모체에 대한 솔더의 젓음이 빨리 진행된다. Fig. 3의 (a)에서 Cu/Ni/Au의 젓음시간이 0.93 sec로 솔더가 가장 빨리 젓기 시작하였으며, Cu 및 Cu/Sn의 경우 젓음시간이 거의 비슷하고 그 값은 약 1.08 초 정도이다. 또한 Cu/Ni층의 경우 1.31 초로 가장 느린 젓음성을 보이고 있다.

Fig. 3의 (b)에서 나타낸 평형젓음력은 충분히 젓은 솔더가 시편을 당기는 평형 힘이다. 평형젓음력은 솔더가 젓을 수 있는 힘을 나타내며, 시간변화에 따른 평형젓음력의 감소여부는 젓음력의 지속성을 나타내는 척도이다. 평형젓음력의 경우 Cu/Sn의 경우가 가장 낮은 값인 5.3 mN의 값을 갖고 있다. 그 원인은 모체에 솔더가 빨리 젓어 들어가지만 젓음력을 지속할 수 없는 것으로 판단되며, 이것은 도금된 Sn층이 솔더 내로 빠르게 확산되어 들어가기 때문이라고 사료된다.

Cu층의 경우 평형젓음력이 5.8 mN 정도로 Cu/Sn

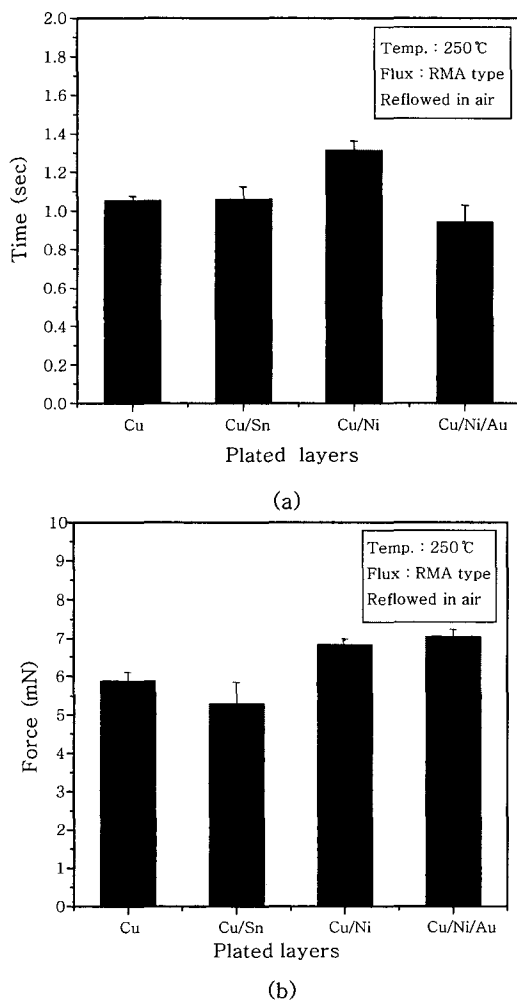


Fig. 3 Effect of plated layers on (a) zero cross time and (b) equilibrium force of Sn-3.5Ag-0.7Cu solder as plated layers

에 비해 높게 나타났다. Cu/Ni/Au층의 경우 젓음시간이 작고 평형젓음력이 6.9 mN 정도로 큰 값을 나타내었다. Cu/Ni층의 경우 평형젓음력이 6.7 mN 정도로 Cu/Ni/Au와 비교하여 약간 떨어지는 특성을 보인다. 솔더의 표면장력은 최대인출력(withdrawal force)을 이용하여 계산되었으며 그 식은 다음에 표기하였다.

$$\gamma = \frac{F_{wf} - \rho g V_u}{P}$$

F_{wf} : 최대인출력

V_u : 최대인출력이 측정되는 순간에 시편 밑면에 매달려 있는 솔더의 부피

P : 시편의 둘레

ρ : 솔더의 밀도

g : 중력가속도⁶⁾

계산된 Sn-3.5Ag-0.7Cu solder의 표면장력은 약 0.52 N/m 정도로, 같은 온도 (250°C)에서의 Sn-3.5Ag 솔더의 표면장력인 0.47 N/m보다 약간 높다⁶⁾.

3.2 미세조직

Fig. 4는 각 도금층의 종류에 따른 접합부 계면의 미세조직을 관찰한 것이다. Cu 및 Cu/Sn도금층과 솔더 사이의 계면에서는 EDS 분석결과 Cu_6Sn_5 의 금속간 화합물이 관찰되었으며, Cu/Ni 및 Cu/Ni/Au층의 경우 계면에서의 금속간 화합물은 Fig. 5 (a)에서와 같

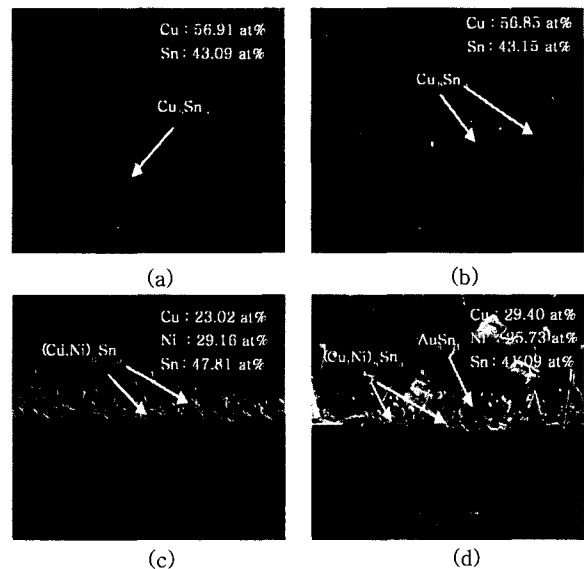


Fig. 4 Effect of plated layers on the microstructure of solder/UBM interface (a) Cu, (b)Cu/Sn, (c)Cu/Ni, (d)Cu/Ni/Au (solder : Sn-3.5Ag-0.7 Cu, soldering condition : 250°C, 0.6m/min)

이 EDS 분석결과 (Cu,Ni)₆Sn₅로 생각된다. 또한 Cu/Ni/Au층의 계면에서는 (Cu,Ni)₆Sn₅이외에 Fig. 5 (b)에서와 같이 AuSn₄의 금속간 화합물도 EDS 결과를 통하여 관찰되었다.

Table 1에 각 도금층의 종류에 따라 솔더계면에서 관찰된 금속간 화합물을 보였다. 모든 솔더 내에서 Ag₃Sn의 금속간 화합물이 관찰되었다. 이것은 Sn-Ag 계 솔더에서 볼 수 있는 전형적인 금속간 화합물로서, 그 형태는 침상 혹은 입자형태를 갖고 있다. Cu 및 Cu/Sn의 도금층에서는 Cu₆Sn₅의 금속간 화합물이 관찰되었으며, 계면에서의 금속간 화합물의 형태는 스칼롭(scallop)형이다. Cu/Ni 및 Cu/Ni/Au 도금층의 경우에는 Sn-3.5Ag솔더에서 관찰되었다고 보고된 바 있는 Ni₃Sn₄의 금속간 화합물²⁾이 아닌 (Cu,Ni)₆Sn₅의 금속간 화합물이 관찰되었다. 그 원인에 대해서는 Fig. 5 (b)에 관련하여 후술하였다.

Fig. 5는 Cu/Ni/Au층과 Sn3.5Ag0.7Cu 솔더 계면에서 관찰할 수 있는 대표적인 금속간 화합물인

Table 1 Intermetallic compounds as plated layers

Plated layer	Intermetallic compounds
Cu	Cu ₆ Sn ₅ , Ag ₃ Sn
Cu/Sn	Cu ₆ Sn ₅ , Ag ₃ Sn
Cu/Ni	(Cu,Ni) ₆ Sn ₅ , Ag ₃ Sn
Cu/Ni/Au	(Cu,Ni) ₆ Sn ₅ , Ag ₃ Sn, AuSn ₄

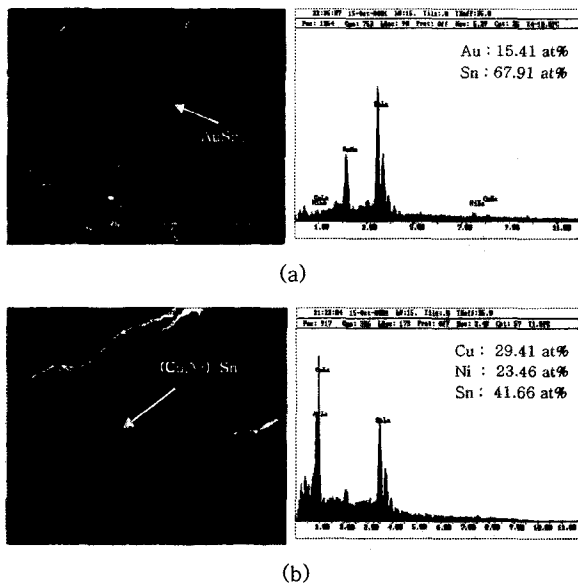


Fig. 5 Intermetallic compounds and EDS analyses on the interface between Sn-3.5Ag-0.7Cu solder and Cu/Ni/Au plated layer (a) AuSn₄, (b) (Cu,Ni)₆Sn₅

AuSn₄ 및 (Cu,Ni)₆Sn₅를 보다 자세히 관찰하기 위하여 솔더링부를 에칭한 top view이다. Fig. 5 (a)는 AuSn₄의 금속간 화합물로 생각되며, 그 형태는 봉상으로 되어 있다. 또, 솔더 내에서는 입자형태의 Ag₃Sn의 금속간 화합물도 관찰된다. 계면에서의 AuSn₄의 금속간 화합물은 취성을 가지고 있어 솔더 접합부의 신뢰성을 떨어뜨리는 것으로 보고되어 있다⁸⁾.

Fig. 5 (b)는 EDS 분석결과 (Cu,Ni)₆Sn₅의 금속간 화합물로 생각된다. Ni층과 Sn-3.5Ag-0.7Cu계 솔더의 계면에서의 (Cu,Ni)₆Sn₅의 금속간 화합물 다음의 메카니즘에 의해 생성된다고 보고되었다¹⁰⁾. 솔더링 중 솔더와 Ni 계면사이에 솔더 내에 있는 Cu의 농도가 높아지게 된다. Ni층위에 Cu₆Sn₅의 금속간 화합물이 형성된다. 형성된 Cu₆Sn₅의 금속간 화합물에 Ni이 확산되어 (Cu,Ni)₆Sn₅의 금속간 화합물을 형성한다고 알려져 있다¹⁰⁾.

Fig. 6은 도금층과 솔더 계면에 형성된 금속간 화합물의 두께변화를 보인 것이다. 계면에서의 금속간 화합물층의 두께는 Cu/Ni와 Cu/Ni/Au도금층에서 각각 1.7μm와 1.3μm로 나타났다. 또한, Cu나 Cu/Sn층에서는 각각 4.3μm와 3.1μm로 나타났다. 이 결과로부터 Ni층이 도금된 Cu/Ni, Cu/Ni/Au층의 금속간 화합물 두께가 Cu, Cu/Sn층의 경우보다 얇은 것으로 나타났다. 즉, Ni-Sn이 Cu-Sn에 비해 금속간 화합물의 성장이 적은 것으로 밝혀졌다. 이것은 금속간 화합물의 활성화 에너지(activation energy)에 의한 것으로 판단된다. Cu₆Sn₅의 금속간 화합물을 생성시키는데 필요한 활성화 에너지는 약 84.3 kJ/mol 이고, (Cu,Ni)₆Sn₅의 경우는 약 196 kJ/mol 이기 때문이다^{11,12)}.

Cu 패드와 Ni 도금 패드의 비교에서 금속간 화합물의 두께 차이는 도금층에서의 Cu가 Ni에 비해 솔더내

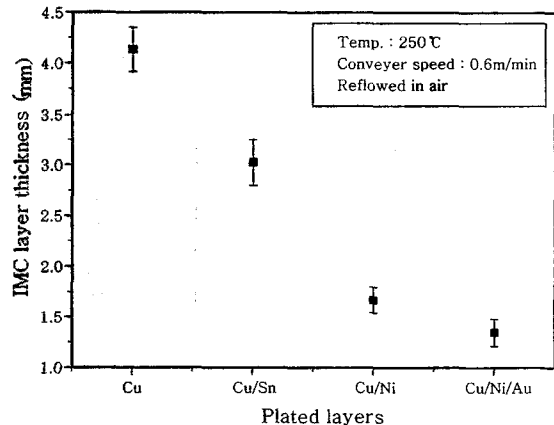


Fig. 6 Thickness of intermetallic-compound with plated layers

용해도가 크기 때문이라고 판단된다⁹⁾.

3.3 전단강도 시험

Fig. 7은 각 도금 조건에 따른 전단강도를 비교한 것이다. 전단강도의 경우 Cu, Cu/Sn, Cu/Ni층의 경우 약 560 gf 이나, Cu/Ni/Au의 경우 전단강도 값이 약 370 gf 로 비교적 낮은 값을 갖는다.

Fig. 6과 Fig. 7을 비교 시 Cu 및 Cu/Sn층의 경우 계면에서의 금속간 화합물은 Cu₆Sn₅이다. 금속간 화합물층의 성장두께는 Cu층의 경우 Cu/Sn층에 비해 약 1.2μm 정도 더 성장을 했으나, 전단강도는 Cu 및 Cu/Sn의 경우 약 560 gf 정도로 비슷하게 나타났다. 따라서, 계면에서의 전단강도 값이 같은 경우, 금속간

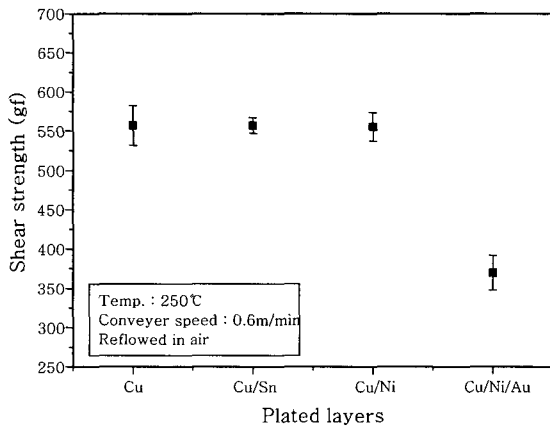


Fig. 7 Shear strength of solder ball with plated layers

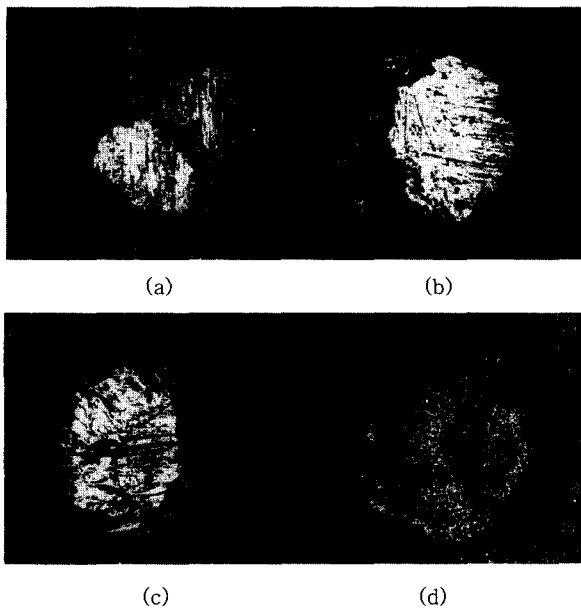


Fig. 8 The fracture surface of solder ball joints with plated layer (a)Cu, (b)Cu/Sn, (c)Cu/Ni, (d) Cu/Ni/Au (solder : Sn-3.5Ag-0.7Cu, soldering condition : 250°C, 0.6m/min)

화합물층의 두께가 같다고 판단 할 수 없다.

Fig. 8은 전단강도 시험 후 파면을 관찰한 것으로 Cu, Cu/Sn, Cu/Ni의 경우 솔더에서 파괴가 일어난 반면 Cu/Ni/Au층의 경우 접합 계면에서 파괴가 일어난 것을 관찰할 수 있다. 이러한 원인으로는 Cu/Ni/Au층의 경우, 계면에서 취성의 AuSn₄의 성장에 의한 것으로 추정된다.

4. 결 론

Sn-3.5Ag-0.7Cu 및 Sn-37Pb 조성의 직경 0.3mm의 μ-BGA 솔더볼의 솔더링성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Cu, Cu/Sn(5μm), Cu/Ni(5μm), Cu/Ni/Au (5μm/500Å)에 대한 Sn-3.5Ag-0.7Cu솔더의 젖음성 평가 결과, Cu/Ni/Au층의 경우 zero cross time이 0.93 초, 평형 젖음력은 약 7mN로 젖음성이 가장 우수하였다.

2) 각 도금조건에 따른 Sn-3.5Ag-0.7Cu솔더의 표면장력 변화는 미소하였으며, 표면장력은 약 0.52 N/m 정도였다.

3) 각 도금조건에 따른 계면에서의 금속간 화합물의 두께를 측정 한 결과, 금속간 화합물층의 두께는 Cu > Cu/Sn > Cu/Ni > Cu/Ni/Au 도금층의 순위였다.

4) 전단강도를 측정 한 결과 Cu/Ni, Cu/Sn, Cu층의 경우 560gf로 비슷한 값으로 나타났으며, Cu/Ni/Au의 경우 계면에서의 AuSn₄의 금속간화합물 생성과 성장으로 인해 전단강도 값이 약 370 gf 정도로 비교적 낮게 나왔다.

후 기

이 논문은 2001년 과학재단 연구비 지원(과제번호 : R01-2000-00227)에 의해 작성되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 월간반도체 : μ-BGA, 전자자료사, 1월호, (1999) 34-35 (in Korean)
2. Hyun Joo Han : A Study on the Soldering Characteristics with Reflow Variables in BGA, MS thesis, University of Seoul, (2000), 1-27 (in Korean)
3. 월간반도체 : CSP의 기초와 실장기술 (1), 전자자료사, 3월호, (1999) 118-119 (in Korean)
4. エレクトロニクス 実装 における 環境問題シンポジウム (2000) 77-86 (in Japanese)

5. Lin Kwang-Lung and Liu Yi-Cheng : Manufacturing of Cu/electroless Nickel/Sn-Pb flip chip solder bumps, *IEEE*, **22-4** (1999) 575-579
6. Jae Yong Park : Study on the Analysis of Wetting Forces on the Wetting Balance Curve and Application to the Prediction of Solder Joint Geometry, PhD thesis, Seoul National University, (2000) (in Korean)
7. Y.Wu, J.A.Sees, C.Pouraghabagher : the dependence of the activation energies of intermetallic formation on the composition of composite Sn/Pb solders, *JEM*, **Vol. 22**, (1993) 769
8. A. Zribi, et. al : Solder Metallization Interdiffusion in Microelectronic Interconnects, *Components and Packaging Technologies, IEEE*, **23-2** (2000) 383-387
9. Thaddeus B. Massalski : 1986, *Binary Alloy Phase Diagram*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 965, 1759
10. K. Zeng, et. al : Interfacial Reactions between Lead-Free SnAgCu Solder and Ni(P)/Au Surface Finish on PWBs, *Electronic Components and Technology Conference* (2001), 693-698
11. Ka Yau LEE, Ming Li, Dennis R. OLSEN and William T. CHEN : Microstructure, Joint Strength and Failure Mechanism of Sn-Ag, Sn-Ag-Cu versus Sn-Pb-Ag Solders in BGA Package, *IEEE Electronic Components and Technology Conference* (2001), 478-485
12. 이창배, 정승부, 서창재 : Sn 계 무연솔더에 관한 연구, 한국 마이크로 전자 및 패키징 학회 추계 기술 심포지움 (2001) 75-88 (in Korean)