PCB의 ENIG와 OSP 표면처리에 따른 Sn-3.5Ag 무연솔더 접합부의 Electromigration 특성 및 전단강도 평가

김성혁¹ · 이병록² · 김재명³ · 유세훈⁴ · 박영배^{2†}

¹네팩스 반도체연구소, ²안동대학교 신소재공학부 청정에너지 소재기술 연구센터

³스테츠칩팩코리아 기술연구소, ⁴한국생산기술연구원 용접접합기술센터

Effects of PCB ENIG and OSP Surface Finishes on the Electromigration Reliability and Shear Strength of Sn-3.5Ag Pb-Free Solder Bump

Sung-Hyuk Kim¹, Byeong-Rok Lee², Jae-Myeong Kim³, Sehoon Yoo⁴ and Young-Bae Park^{2†}

¹Nepes Corporation, Ochang 363-880, Korea

²School of Materials Science and Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea

³STATS ChipPAC Korea Ltd, Icheon 467-701, Korea

⁴Korea Institute of Industrial Technology, Micro-Joining Center, Incheon 406-840, Korea

(2014년 1월 10일 접수: 2014년 3월 18일 최종수정: 2014년 3월 19일 채택)

Abstract The effects of printed circuit board electroless nickel immersion gold (ENIG) and organic solderability preservative (OSP) surface finishes on the electromigration reliability and shear strength of Sn-3.5Ag Pb-free solder bump were systematically investigated. *In-situ* annealing tests were performed in a scanning electron microscope chamber at 130, 150, and 170 °C in order to investigate the growth kinetics of intermetallic compound (IMC). Electromigration lifetime and failure modes were investigated at 150 °C and 1.5×10^5 A/cm², while ball shear tests and failure mode analysis were conducted under the high-speed conditions from 10 mm/s to 3000 mm/s. The activation energy of ENIG and OSP surface finishes during annealing were evaluated as 0.84 eV and 0.94 eV, respectively. The solder bumps with ENIG surface finish showed longer electromigration lifetime than OSP surface finish. Shear strengths between ENIG and OSP were similar, and the shear energies decreased with increasing shear speed. Failure analysis showed that electrical and mechanical reliabilities were very closely related to the interfacial IMC stabilities.

Key words Sn-3.5Ag Pb-free solder, electroless nickel immersion gold(ENIG), organic solderability preservative(OSP), high-speed shear test, electromigration.

1. 서 론

최근 restricting the use of hazardous substances (RoHS)와 같은 법령에 의해 세계적으로 유연솔더의 사용 규제가 이루어지면서 무연솔더에 대하여 많은 연구가 이루어지게 되었다.^{1,2)}

이러한 사회적 분위기 속에서 산업체에 주목을 받고 있

는 무연솔더의 소재 중의 하나가 Sn-Ag-Cu계 솔더인데, 그 중에서도 젓음 특성과 접합부의 신뢰성 측면에서 우수한 것으로 알려진 Sn-3.0Ag-0.5Cu 조성이 최근 몇 년 동안 대표적인 무연솔더로 사용되어 왔다.³⁾ 그러나 Sn-3.0Ag-0.5Cu 조성으로 이루어진 솔더 접합구조의 경우 외부에서 인가되는 응력(stress)에 의해 크랙(crack)의 전파가 비교적 잘 이루어지는 특성을 나타내는 것으로

[†]Corresponding author

E-Mail : ybpark@andong.ac.kr (Y.-B. Park, Andong Nat'l Univ.)

© Materials Research Society of Korea, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보고되고 있다.⁴⁾ 이와 같은 이슈에 의하여 다양한 주제의 솔더가 연구 중이다. 특히 고온용 무연솔더는 지난 유해물질규제지침에서 예외 항목으로 인정받은 바, 아직 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되지는 않고 있으나 최근 일본을 중심으로 관련 연구 결과들이 속속 발표되고 있다.

한편, 표면실장기술 형식의 ball grid array(BGA)와 같은 고집적 패키지 기술이 개발되면서 소형 전자기기를 비롯한 기타 전자 부품 실장에 널리 이용되고 있다.⁵⁾ BGA 실장기술은 칩과 패키지 간 범프 간격이 짧기 때문에 칩의 소형화에 유리한 장점을 가지고 있다. 이와 같은 고집적 패키지의 개발로 전자제품의 소형화 및 고성능화는 가능해졌지만 솔더 접합부의 신뢰성이 전자 기기의 수명과 직접적 연관을 가지게 되면서 관련 패키지 기술 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있다.⁶⁾

인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)에 실장된 칩 패키지는 기판상 구리패드의 표면처리 물질 또는 기술에 따라서 솔더 접합부 신뢰성에 지대한 영향을 미친다. 환경친화적 표면처리공법으로 유기 땀납성 보존제(organic solderability preservative, OSP), 무전해 Ni 도금/Au 치환 도금(electroless nickel immersion gold, ENIG) 처리 등이 산업체 전반에 널리 쓰이고 있다.^{7,8)} 이와 같이 다양한 표면처리 방식이 존재하며 산업적으로 널리 쓰이고 있지만, 표면처리에 따른 솔더 접합부의 신뢰성에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 또한, 최근 전자기기의 경박단소화 추세에 따른 미세 패드 피치의 적용으로 인해 BGA 솔더 범프의 직경 및 금속 하부 층(under bump metallurgy) 단면적의 감소는 패키지 내 전류밀도의 증가를 야기한다. 이러한 전류밀도의 증가는 기존 플립칩 솔더 범프에서 보아왔던 electromigration에 의한 파괴현상을 BGA 솔더 범프에서도 일으킨다고 보고된 바 있다.⁹⁾

최근 BGA 솔더 범프의 합금 종류 및 표면처리와 관련하여 솔더 접합부의 electromigration 평가 및 전단강도 평가에 많은 연구가 진행되고 있다.⁹⁻¹⁴⁾ 기 그룹에서는 대표적인 무연 솔더인 Sn-3.0Ag-0.5Cu 조성의 BGA 솔더 범프를 130~175 °C 조건에서 ENIG, immersion Sn, OSP 표면처리의 활성화 에너지 값은 각각 0.52, 0.78, 0.72 eV로 평가 되었고,¹⁰⁾ 전단 강도 평가 결과 OSP, immersion Sn 표면처리 보다 ENIG 표면처리의 전단강도가 더 크다고 평가되었다.¹¹⁾ 또한 Sn-1.2Ag-0.7Cu-0.4In 조성의 BGA 솔더 범프를 135~170 °C 조건에서 OSP, ENIG 표면처리의 활성화 에너지 값은 각각 0.86 eV, 0.87 eV 값으로 평가 하였으며,¹²⁾ 전단강도 평가 결과 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리보다 더 높은 전단강도 값을

나타내었다.¹³⁾ 또한, Sn-3.5Ag 플립칩 범프는 120~160 °C, 4.6×10^4 A/cm² 전류밀도 조건에서 활성화 에너지 값을 0.92 eV로 평가 하였다.¹⁴⁾ 하지만 Sn-3.5Ag 조성의 BGA 솔더 범프에서 표면처리에 따른 electromigration 특성 및 전단 강도 평가에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Sn-3.5Ag 조성의 BGA 솔더 범프에서 표면처리에 따른 계면 반응 특성 및 electromigration 특성을 알아보기 위하여 PCB 표면에 ENIG 표면처리와 OSP 표면처리를 하여 솔더 접합부를 in-situ 실험을 통하여 비교 분석하였다. 또한, 표면처리에 따른 접합 강도 특성을 평가하기 위하여 고속의 전단 속도 조건에서 볼 전단 강도 평가를 실시하였다.

2. 실험 방법

Sn-3.5Ag 솔더 범프의 금속간 화합물(intermetallic compound) 성장거동에 미치는 PCB 표면처리의 영향을 알아보기 위해서 전기적 및 기계적 평가에 따른 솔더 접합부의 금속간 화합물 형성과 성장거동을 연구하였다.

실험에 사용된 bis-maleimide-triazine(BT)-type 레진(resin)으로 제조된 P-BGA(plastic-BT) 상부 기판과 지름 490 μ m, 높이 323 μ m, Sn-3.5(wt%)Ag 조성의 BGA 솔더볼이 사용되었다. 상부 P-BGA와 하부 PCB에 단층 copper-clad-laminate(CCL) 형성 후, non solder mask defined(NSMD) 타입으로 설계되었다. 상부에 사용된 P-BGA 패드 층의 표면처리는 ENIG 표면처리로, Ni(P) 층을 무전해 도금으로 형성 후, Au 층을 치환 도금으로 형성하였다. 하부에 사용된 기판은 PCB 타입의 FR-4 기판이 사용되었으며, 기판 위 표면처리는 각각 OSP 표면처리와 대략 5 % 정도의 P 함량을 지닌 ENIG(Ni-P 층: 4 μ m, immersion Au 층: 0.15 μ m) 처리가 되었다. 상부 P-BGA의 패드와 솔더볼에 rosin mildly activated(RMA) 플럭스를 도포 후 솔더볼을 탑재(solder ball attach) 하고, 227 °C 이상에서 60초 동안 리플로우 접합 후 플럭스 세척제를 사용하여 잔여 플럭스를 제거하였다. 한 번 리플로우 과정을 거친 시편의 경우 상부 P-BGA에 붙어있는 솔더볼과 하부 PCB에 다시 한 번 RMA 플럭스를 도포한 후 두 기판을 정렬하고, 두 번째 리플로우를 통하여 시험용 시편을 제작하였다. Fig. 1(a)는 Sn-3.5Ag 솔더 범프의 모식도를 나타냈으며, Fig. 1(b)는 Sn-3.5Ag 솔더 범프의 단면을 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)의 back scattered electron (BSE) 이미지이다.

두 표면처리 모두 135, 150, 170 °C에서 열처리 실험을 하였으며, electromigration 수명 평가는 daisy chain

Fig. 1. (a) Schematic diagram and (b) cross-sectional BSE image of the Sn-3.5Ag solder bump structure.

구조 시편을 이용하여 130°C , $5.0 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ 의 전류 밀도 조건에서 9~10개의 시편을 동시 실험하였다. 기계적 신뢰성 평가용 시편은 총 64개의 솔더볼을 실장하여 접합하였으며, 실장된 솔더볼은 볼 전단 강도 시험을 위해 평가될 영역의 솔더볼을 제외하고 나머지 솔더볼을 제거하였다. 볼 전단 강도는 미국 Richardson Electronics사의 범용 접합부 테스트 장비(Dage-4000HS)를 이용하여 joint electronic device engineering council (JEDEC) 규격(JEDEC22-B117A)¹⁵⁾을 기준으로 10~3000 mm/s 조건과 전단높이 40 μm의 조건으로 전단강도를 평가하였다. 표면처리에 따른 미세구조 분석 및 파괴에 따른 분석은 SEM의 BSE 이미지와 energy dispersive x-ray spectroscopy(EDS)를 이용하여 분석하였다. 또한 in-situ SEM을 통하여 실시간으로 금속간 화합물 성장 거동을 분석하고 금속간 화합물의 두께는 image analyzer를 이용하여 측정된 금속간 화합물의 면적을 계면의 길이로 나눔으로써 정의하였고, 열처리 온도와 시간에 따른 금속간 화합물의 두께변화를 이용하여 활성화 에너지 값을 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

Sn-3.5Ag 솔더 범프의 접합 후 표면처리에 따른 접합 계면의 미세구조를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 ENIG 표면처리된 시편의 접합 직후 미세구조이며, EDS 분석을 통하여 Sn/Ni(P) 계면에서 Ni_3Sn_4 및 $\text{Ni}_3\text{-P}$ (p-rich Ni layer) 금속간 화합물이 형성된 것을 관찰하였다. Fig. 2(b)는 OSP 표면처리된 시편의 접합 직후의 미세구조이며, EDS 분석을 통하여 접합 패드 계면에서 Cu_6Sn_5 금속간 화합물이 형성된 것을 관찰하였다. 접합 직후, ENIG 표면처리보다 OSP 표면처리에서 금속간 화합물층이 더 두껍게 형성된 것을 관찰하였다. 이것은 ENIG 표면처리에서 Cu와 솔더 사이에 Sn과 반응이 서로 활발하지 않은 Ni(P)층이 존재하기 때문에 나타나는

Fig. 2. As-reflowed BSE micrographs of cross-sectioned solder/surface finishes: (a) ENIG and (b) OSP.

차이로 판단된다.¹⁶⁾ 열처리에 따른 Sn-3.5Ag 솔더 범프에서의 금속간 화합물 형성과 성장거동을 관찰하기 위해 각각 135, 150, 170°C 온도에서 1000 h 동안 열처리 실험을 진행하였다. Fig. 3은 각 온도 조건에서 1000 h 열처리 후, 표면처리에 따른 접합 계면의 SEM 이미지를 나타내었고, Fig. 4는 ENIG 표면처리 및 OSP 표면처리 솔더 접합부의 열처리 시간과 온도에 따른 금속간 화합물 성장거동을 정량화하여 그래프로 나타내었다. Fig. 3(a)와 같이 ENIG 표면처리 시편의 경우 열처리 시간 및 온도가 증가하여도 초기 Ni_3Sn_4 상의 두께에는 큰 변화는 없는 것을 관찰할 수 있으며, Fig. 3(b)의 OSP 표면처리 시편과 비교해 보았을 때 OSP 표면처리의 금속간 화합물이 더 빠르게 성장하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 4에서 표면처리에 따라 금속간 화합물 성장 속도가 차이 나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 위에서 언급한 Cu와 솔더 사이에 Sn과 반응이 활발하지 않은 Ni(P)층이 확산방지막 역할을 했기 때문이라 판단된다. 같은 온도와 시간 조건에서 금속간 화합물의 성장속도는 ENIG 표면처리보다 OSP 표면처리가 빠른 것을 확인할 수 있었다. 따라서 ENIG 표면처리가 열처리에 따른 금속간 화합물 성장 거동과 관련한 계면 반응 특성에서 OSP 표면처리보다 안정적인 것으로 판단된다.

Fig. 5는 열처리 온도에 따른 Sn-3.5Ag BGA 솔더 범프의 표면처리 별 활성화 에너지를 나타낸 그래프이다. 이

Fig. 3. Enlarged BSE micrographs of cross-sectioned solder/surface finishes after annealing at 135 °C, 150 °C, and 170 °C for 1000 h: (a) ENIG and (b) OSP.

Fig. 4. Effects of the surface finish on the total IMC thickness as a function of annealing temperature: (a) ENIG and (b) OSP.

때, 활성화 에너지는 식(1)의 Arrhenius 방정식을 이용하여 계산할 수 있다.¹⁶⁾

$$k^2 = k_0^2 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

여기서, k^2 은 반응상수의 제곱, k_0^2 은 frequency factor, E_a 는 활성화 에너지, R 은 기체상수 그리고 T 는 열처리 온도를 나타낸다. 열처리 시 표면처리 별 금속간 화합물 성장에 대한 활성화 에너지를 구하기 위해서 Arrhenius plot을 이용하였으며, 이를 Fig. 5에 나타내었다. ENIG

Fig. 5. Arrhenius plot of the total IMC growth rate for the various surface finishes with annealing: ENIG and OSP.

Fig. 6. Cumulative distribution function (CDF) plots of electromigration for the Sn-3.5Ag solder bump (a) ENIG and (b) OSP surface finishes

표면처리의 경우, 전체 금속간 화합물인 Ni_3Sn_4 금속간 화합물체의 활성화 에너지 값은 0.84 eV로 평가되었으며, OSP 표면처리의 경우, 전체 금속간 화합물인 Cu_6Sn_5 와 Cu_3Sn 의 활성화 에너지 값이 0.94 eV로 평가되었다. 기 그룹에서는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 조성의 BGA 솔더 범프에서는 130~175 °C 조건에서 활성화 에너지 값은 ENIG 표면처리와 OSP 표면처리가 각각 0.52 eV, 0.72 eV로 평가되었다.¹⁰⁾ 이러한 표면처리에 따른 활성화 에너지 값의 차이는 ENIG 표면처리의 Ni(P) 층에 의해 서로 다른 금속간 화합물이 형성되었기 때문으로 판단된다.

Sn-3.5Ag 솔더 범프를 130 °C, $5.0 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ 전류밀도 조건에서 ENIG 표면처리 및 OSP 표면처리에 따른 electromigration 수명평가를 실시하였다. Electromigration 수명평가는 오븐 내에서 표면처리 별 9~10개의 샘플을 동시에 실험하였으며, 시편에 전류를 인가 할 때, 솔더 범프 내부에서 Joule heating에 의해서 시편의 온도가 증

가하게 되는데 이러한 Joule heating effect를 측정하기 위해 칩의 뒷면에 thermocouple을 직접 부착하여 실시간으로 온도변화를 관찰하였다. 각 조건에서의 전류를 인가한 후 실시간으로 변화하는 전압을 측정하여 저항으로 환산한 뒤 저항이 20 % 증가하는 시점을 파괴시간으로 간주하였다. Electromigration 수명평가 시 인가하는 전류밀도는 표면처리의 영향을 알아보기 위하여 솔더 범프의 단면적이 아닌 PCB 표면처리 기판 쪽의 pad open의 단면적으로 계산하여 평가하였다. 각 시편에서의 파괴시간을 log-normal 분포로 가정하여 실험조건에서의 평균파괴시간(t_{50} , MTTF)과 표준편차(σ)를 평가하였다. t_{50} 은 특정 조건에서 50 %의 시편이 파괴되는 시간을 나타내며 평균파괴시간이라고 한다. 평균파괴시간은 누적분포함수(cumulative distribution function, CDF)와 각 시편에서의 파괴시간의 관계를 통하여 구할 수 있으며, 표준편차는 50 % 에서의 파괴시간을 16 % 에서의 파괴시간으로 나눈 값, 즉 각 시편에서의 파괴시간과 누적분포함수의 기울기를 통하여 도출할 수 있다.

표면처리 별 평균파괴시간과 표준편차 값을 Fig. 6에 나타내었다. 그래프에서 볼 수 있듯이 ENIG 표면처리의 경우 136.7 h, OSP 표면처리의 경우 97.9 h으로 평균파괴시간이 각각 평가되었고, 표준편차 값은 각각 0.36, 0.64로 도출되었다. 표준편차의 값은 작을수록 그 데이터의 신뢰성이 높은 것이며, 시편간의 편차 또한 작은 것임을 나타낸다. 위의 결과 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리에 비하여 electromigration 수명 평가에 대하여 조금 더 뛰어나다는 것을 확인 할 수 있다. 열처리 결과에서 또한 ENIG 표면처리의 경우, OSP 표면처리에 보다 낮은 금속간 화합물 성장속도와 성장량을 보였다. 이는 Sn내에서 Cu의 확산계수가 Ni의 확산계수보다 약 20 배 더 크며, electromigration 수명평가 동안 전자에 의해 가속화되기 때문에 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리보다 더 긴 수명을 가진 것으로 판단된다.

Electromigration 에 대한 수명평가가 완료된 샘플에 대한 파괴가 일어난 부분의 단면 SEM 이미지를 Fig. 7에 나타내었다. 상부의 Cu pad opening의 단면적이 아래쪽 접합부의 단면적보다 큰 구조이기 때문에, 아래쪽에서 electromigration에 의한 파괴가 일어나도록 유도하였다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)에서 알 수 있듯이, ENIG 표면처리의 경우 전자가 유입되는 모서리 부분에서 Ni를 모두 소모한 후 아래쪽 Cu 원자의 완전한 소모에 의한 파괴가 일어난 것을 관찰할 수 있으며, OSP 표면처리의 경우 Ni보다 빠른 확산계수를 가진 Cu가 Sn과의 계면에서 전체적으로 확산하여 파괴가 일어난 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 8은 표면처리에 따른 Sn-3.5Ag 솔더 접합부의 electromigration 수명평가 완료 후 미세구조를 관찰한 단

Fig. 7. Effects of the surface finish on the damage morphologies after EM failure under conditions of 130 °C and 5.0×10^3 A/cm²: (a) ENIG after failure at 151 h, (b) OSP after failure at 57 h.

면의 SEM 이미지를 나타내었다. 각 표면처리마다 전류인가 시, Fig. 8의 (1)에서 전자가 유입되고 (2)로 내려간다. 반대로 (4)에서는 전자가 유입이 되고 (3)로 빠져나가는 daisy chain 구조이다. 전자의 이동 방향을 따라 상부와 하부 Cu 기판에서 Cu 원자가 이동하여 서로 다른 두께의 금속간 화합물을 형성한 것을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 electromigration 현상에 의해 발생하는 극성효과로 전기적 신뢰성에 대한 중요한 이슈 중의 하나이다.¹⁷⁾ 본 실험에서는 실험 조건인 130 °C 보다 약 20 °C 이상의 Joule heating 값이 측정되었다. 이러한 Joule heating은 솔더 내부로 전자가 유입되는 금속배선

의 모서리 부분에서 전류 집중에 의해 발생하며,¹⁸⁻²¹⁾ 이때 발생하는 Joule heating에 의해 Sn과 Cu가 활발한 반응을 보인다고 보고되어왔다. Wu 그룹은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 전자가 유입되는 영역에서의 온도가 다른 부분과 비교하였을 때, 보다 높은 온도가 측정되었다고 보고하였다.²²⁾ 이를 바탕으로 전자가 유입되는 접합부에서 Cu와 Sn은 다른 영역보다 활발하게 반응을 하게 되고, Cu가 급격하게 소모됨으로써 파괴가 일어나게 된다.²³⁾ 이러한 파괴모드는 본 연구 결과와 매우 비슷한 결과이다. 결국 전류 집중 현상에 의한 과도한 Joule heating에 의해 Cu 원자가 빠르게 소모됨으로써 파괴가 일어났음을 알 수 있었다.

전단 속도에 따른 Sn-3.5Ag 솔더 접합부의 접합강도에 대한 표면처리의 영향을 평가하기 위해 볼 전단 시험을 실시하였다. 볼 전단시험은 고속 접합 강도 시험기를 이용하여 평가하였다. 실험 조건은 접합 후의 시편으로 10~3000 mm/s의 전단 시험 속도와 40 μm의 전단높이 조건하에서 다양한 전단속도에 대한 각 표면처리 별 접합 강도 특성을 평가하였다. 기계적 접합강도 평가에 대한 파괴기구를 규명하기 위해 전단 시험 후 파면을 분석하였다. 각 표면처리 별 전단속도에 따른 전단강도 및 에너지 값에 대한 그래프를 Fig. 9(a)에 나타내었다. OSP 표면처리에 비하여 ENIG 표면처리의 다소 높은 전단강도를 관찰할 수 있다. 또한, ENIG 표면처리의 경우, 2000 mm/s의 전단속도까지 전단강도가 증가하는 경향을 보이지만, OSP 표면처리의 경우, 250 mm/s의 전단속도 이후 전단강도가 감소하는 경향을 관찰하였으나 두 표면처리의 전단강도 값은 유사하게 나타났다. 이 결과는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 및 Sn-1.2Ag-0.7Cu-0.4In 조성의 BGA 솔더 범프에서 전단강도 평가 결과인 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리의 전단강도보다 높

Fig. 8. Effects of the surface finishes on the EM tests at 130 °C and 5.0×10^3 A/cm²: (a) ENIG and (b) OSP damage morphologies.

Fig. 9. (a) Max. shear force and (b) shear energy on Sn-3.5Ag solder joint with surface finishes and shear speeds.

다는 것과^{11,13)} 다른 경향을 보였다. 이는 조성의 차이에 따른 리플로우 공정의 온도 차이 및 금속간 화합물 성장 거동등의 차이에 의한 것으로 판단된다. Fig. 9(b)의 전단 에너지 값은 전단 속도가 증가함에 따라 ENIG와 OSP 표면처리 모두 감소하는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 전단 속도가 증가함에 따라 솔더의 인성이 감소하기 때문으로 판단 된다. 각 표면처리 별 고속 전단시험 범위에서 시험된 SEM 파면 이미지를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10(a)의 ENIG 표면처리는 전단속도 증가에 따라 금속간 화합물 층에서 파괴가 일어나는 취성파괴와 솔더에서 파괴가 일어나는 연성파괴가 동시에 존재하는 것으로 관찰되었고, Fig. 10(b)의 OSP 표면처리는 전단속도가 증가에 따라 금속간 화합물 층에서 파괴가 일어나는 취성파괴만 관찰되었다. 3000 mm/s의 전단속도에서 OSP 표면처리와 ENIG 표면처리가 다른 파괴모드로 관찰되는 것 또한 앞서 언급한 금속간 화합물 파괴 분율의 차이와 얇은 층의 Ni_3Sn_4 상과 두꺼운 층의 Cu_6Sn_5 상의 차이에 의한 것으로 판단되며, 보다 정확한 원인 규명을 위해 추가적인 분석 및 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 10. SEM fracture surface images of Sn-3.5Ag solder joint with each surface finish and the shear speeds; (a) ENIG surface finish at 10 mm/s and 3000 mm/s; (b) OSP surface finish at 10 mm/s and 3000 mm/s.

4. 결 론

Sn-3.5Ag 솔더 범프의 PCB 표면처리에 따른 electromigration 특성 및 전단강도를 비교하기 위하여 열처리, electromigration 수명평가, 전단속도에 따른 강도평가를 실시하였다. 열처리 시간에 따라 ENIG 표면처리에서는 Ni_3Sn_4 상, OSP 표면처리에서는 Cu_6Sn_5 , Cu_3Sn 상의 금속간 화합물이 생성 되었으며, 활성화 에너지의 값은 각각 0.84 eV, 0.94 eV 값을 나타내었다. 또한 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리 보다 높은 electromigration 수명 결과를 나타내었다. 이는 ENIG 표면처리가 OSP 표면처리에서 생성되는 Cu_6Sn_5 상보다 열적으로 안정한 Ni_3Sn_4 상을 형성하여 확산방지층 역할을 했기 때문으로 판단 된다.

전단강도평가 결과 ENIG, OSP 표면처리가 비슷한 전단강도의 값을 나타내었으며, 전단에너지는 두 표면처리 모두 전단속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 전단속도가 증가함에 따라 솔더의 인성이 감소하기 때문으로 판단된다. 또한 고속 전단평가 파면을 분석한 결과 OSP 표면처리는 취성 파괴만이 일어났으며, ENIG에서는 연성파괴와 취성파괴가 동시에 일어났다. 이는 ENIG 표면처리의 경우 Sn과의 반응성이 낮은 Ni이 얇은 층의 Ni_3Sn_4 상을 생성하고, OSP 표면처리의 경우 Sn과 반응성이 높은 Cu가 두꺼운 층의 Cu_6Sn_5 상을 형성하였기 때문이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 나노·소재기술개발사업(그린나노기술개발사업, 2011-0019986) 및 기초연구사업(2011-0015023) 지원을 받아 수행 되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

1. Directive 2002/95/EC on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment(RoHS), The European Parliament and of the Council of the European Union, Jan. (2003).
2. European Union WEEE Directive, 3rd Draft, May (2000).
3. D. Suh, D. W. Kim, P. Liu, H. Kim, J. A. Weninger, C. M. Kumar, A. Prasad, B. W. Grimsley and H. B. Tejada, *Mater. Sci. Eng. A*, **460**, 595 (2007).
4. D. G. Kim, J. W. Kim, S. S. Ha, B. I. Noh, J. M. Koo, D. W. Park, M. W. Ko, and S. B. Jung, *J. Alloys Compd.*, **458**, 253 (2008).
5. F. Carson, S. M. Lee and N. Vijayaragavan, *IEEE Comput. Packag. Manuf. Technol. (CPMT)*, p. 737 (2007).
6. J. M. Koo, C. Y. Lee and S. B. Jung, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, **14**(4), 71 (2007).
7. D. Chang, F. Bai, Y. P. Wang and C.S. Hsiao, *Proc. 6th Electron. Packag. Technol. Conf. (EPTC)*, IEEE p. **149** (2004).
8. H. K. Lee, S. H. Son, H. Y. Lee and J. M. Jeon, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **40**(1), 32 (2007).
9. M. Ding, G. Wang, B. Chao, P. S. Ho, P. Su and T. Uehling, *J. Appl. Phys.*, **99**, 094906 (2006).
10. J. M. Kim, M. H. Jeong, S. H. Yoo and Y. B. Park, *J. Electron. Mater.*, **41**, 4 (2012).
11. J. M. Kim, M. H. Jeong, S. H. Yoo, C. W. Lee and Y. B. Park, *Microelectronic Engineering*, **89**, 55 (2012).
12. S. H. Kim, J. M. Kim, S. H. Yoo and Y. B. Park, *Curr. Appl. Phys.*, **13**, S103 (2013).
13. S. H. Kim, J. M. Kim, S. H. Yoo and Y. B. Park, *J. Microelectro. Packag. Soc.*, **19**, 4 (2012).
14. J. H. Lee, Y. B. Park, *J. Electron. Mater.*, **38**, 10 (2009).
15. JESD22-B117A (Solder Ball Shear), JEDEC Standard, Jul. (2006).
16. G. T. Lim, B. J. Kim, K. W. Lee, J. D. Kim, Y. C. Joo, and Y. B. Park, *J. Electron. Mater.*, **38**, 2228 (2009).
17. Y. D. Lu, X. Q. He, Y. F. En, X. Wang, and Z. Q. Zhuang, *Acta Mater.*, **57**, 2560 (2009).
18. Y. H. Lin, Y. C. Hu, C. M. Tsai, C. R. Kao, and K. N. Tu, *Acta Mater.*, **53**, 2029 (2005).
19. Y. H. Lin, C. M. Tsai, Y. C. Hu, Y. L. Lin, and C. R. Kao, *J. Electron. Mater.*, **34**, 27 (2005).
20. J. H. Lee, G. T. Lim, S. T. Yang, M. S. Suh, Q. H. Chung, K. Y. Byun, and Y. B. Park, *J. Kor. Phys. Soc.*, **54**, 1784 (2009).
21. J. H. Lee and Y. B. Park, *J. Electron. Mater.*, **38**, 2194 (2009).
22. J. S. Zhang, Y. C. Chan, Y. P. Wu, H. J. Xi, and F. S. Wu, *J. Alloys Compd.*, **458**, 492 (2008).
23. R. Bauer, A.H. Fischer, C. Birzer, and L. Alexa, *Proc. 61st Electron. Comp. Technol. Conf. (Lake Buena Vista, FL: IEEE)*, p. 317 (2011).