

## Solder Paste로 접합된 비아볼의 Ball-off에 관한 연구

### A Study on the Ball-off of Via Balls Bonded by Solder Paste

김경수<sup>1,a</sup>, 김진영<sup>1</sup>

(Kyoung-Su Kim<sup>1,a</sup> and Jin-Young Kim<sup>1</sup>)

#### Abstract

Package reliability test was conducted to investigate the effect of solder paste composition at BGA Package. It was found that the shape and size of the phase form are affected by the processing parameters. The material have used to fill in the via was Sn/36Pb/2Ag and Sn/0.75Cu type solder paste. Sn/36Pb/2Ag and Sn/0.75Cu paste were fabricated on Tape-BGA substrates by screen printing process, and via ball mount data were characterized with variations of dwell time of 85 seconds at reflow peak temperature at 220 °C or 240 °C. The test condition was MRT 30 °C/60 %RH/96 HR. Failures formed of a ball-off in solder paste process were observed by using a Optical Microscope and SEM(Scanning Electron Microscope). It was concluded that intermetallic layer growth played important roles in increasing solder fatigue strength for addition of Ag composition. The degradation of shear strength of solder composition is discussed.

**Key Words** : Solder paste, Reflow temp, Via, Ball-off

#### 1. 서론

패키징 기술은 반도체 산업의 기술 선진국들이 약 50년 전부터 전세계 시장을 주도하기 위하여 연구개발을 시작하여 1990년대에는 BGA(Ball Grid Array), PBGA(Plastic Ball Grid Array), CBGA(Ceramic Ball Grid Array), MBGA(Metal Ball Grid Array)들이 높은 열적 손실을 요구하는 응용 부품으로 컴퓨터 내부의 주요한 부분으로 사용되었다[1].

BGA의 종류로는 적층형, 세라믹과 테이프용, MBGA의 신상품이 개발되고 있으며 플라스틱 BGA는 제조 원가가 싸고 높은 I/O와 전기 절연적 특성이 향상되고 있으며, lead 상에 영향력이 낮으

며 생산 수율이 좋아 주된 패키징으로 각광받고 있으며 Chip Scale 패키징 형태로 발전될 것이다 [2]. 향후 BGA는 fine pitch BGA 패키징을 위해 pitch를 1.0 mm 이하로 감소시키고 총 profile의 높이는 2.0 mm로 개발될 것이며 CPS보다 경제적이면서 높은 속도의 메모리 IC에 응용될 것이다.

전자제품의 조립 방법 중에는 솔더링 기술이 가장 많이 사용되고 있는 접합공정이다. 일반적으로 솔더의 종류는 접합온도가 낮은 Pb, Sn, In을 사용하는 연한 솔더와 접합온도가 높은 Au, Ag을 사용하는 단단한 솔더로 구분할 수 있다[3]. 접합강도, 젖음성, 반응성 등의 여러 가지 특성에 가장 우수한 재료로 인식되고 있는 솔더 합금으로는 Sn/37Pb합금이 가장 널리 사용되고 있다. 이 합금의 용점은 다른 합금 조성성분보다 낮은 183 °C이며, 솔더 합금 자체의 특성과 접합부의 신뢰성 테스트는 플렉스 솔더링 공정기술의 개발과 맞물려 많은 연구과제를 제공하고 있다[4,5]. 솔더 벌크의 강도는 조직의 조대화에 비례하여 감소하게 된다. 또한, 반복된 열충격 하에서 조대화된 조직은 균열

1. 광운대학교 전자재료공학과  
(서울시 노원구 월계동 447-1)

a. Corresponding Author : ks.kim@explore.gwu.ac.kr

접수일자 : 2004. 1. 19

1차 심사 : 2004. 2. 20

심사완료 : 2004. 4. 8

의 발생, 전파의 이동경로가 되기도 한다. 특히 가장 문제가 되는 부분은 Sn 확산에 의해 생성되는 Sn 금속간 화합물의 성장이다. 볼 패드부에는 Ni 도금층의 산화 방지와 솔더링 과정 중 젖음성의 향상을 목적으로 Au가 최종적으로 도금이 된다. 이때, Sn-Au 금속간 화합물의 성장은 저융점이며, 취성적인 특성으로 인해 솔더부 파단의 낮은 결합력으로 BGA 패키징에서는 미싱볼이 주된 결함의 원인으로 지적되고 있다[6,7]. 전자제품의 기판에 사용되는 솔더의 역할은 여러 가지 부품들을 구리(Cu)나 금(Au)과 같은 도전체에 접합시키는 것이다. 솔더볼의 역할을 수행하기 위해서는 부품의 리드선 및 도전 패드(pad)와의 젖음성이 우수해야 하고, 접합 후에도 전단강도, 피로강도 등과 같은 기본적인 접합특성 뿐만 아니라 전기전도도, 열전도도 등을 만족해야 한다.

본 실험에서는 패키지가 소형화되면서 발생하는 via의 크기의 축소상황에서 솔더 페이스트의 성분에 따른 솔더볼의 ball-off현상에 관하여 고찰하여 차세대 솔더 페이스트와 솔더볼의 접합공정을 제공하고자 한다.

## 2. 실험 방법

지름이 각각 450  $\mu\text{m}$ 와 500  $\mu\text{m}$ 의 크기를 가지는 via에 솔더 페이스트의 용융점이 각각 다른 Sn/0.75 Cu와 Sn/36Pb/2Ag를 프린팅 방법으로 via를 채웠고, 솔더볼은 63Sn/37Pb의 재질로서 크기가 600  $\mu\text{m}$ 와 620  $\mu\text{m}$ 의 볼을 사용하여 실험을 하였다. Via ball shear test의 값 측정은 각각 100개의 샘플을 비교 조사하였다. 솔더볼의 전단 강도를 측정하기 위해 Dage Series 2400의 shear test 장비를 사용하여 솔더볼의 중심과 substrate 사이의 1/2 높이에서 shear blade를 고정시키고, 300  $\mu\text{m}/\text{sec}$  속도로 전단 강도 실험을 하였다. 각각의 솔더볼의 신뢰도 테스트를 위하여 짧은 시간동안 극도의 고온 및 저온에서 반복적인 노출을 통한 충격 시험을 실시하였다. 온도 사이클동안 발생하는 전기적 물리적 손상의 변화의 발생을 알아보고자  $-55^\circ\text{C}$  +  $-125^\circ\text{C}$  온도 프로파일을 이용하여 5번 반복하는 TC(temp cycling)을 실행하고 125  $^\circ\text{C}$ 에서 24시간 baking을 실시하였다. JEDEC (joint electron device engineering council)-standard level 4의 조건인 30  $^\circ\text{C}/60\%$  상태에서 96시간을 유지하여 수분 흡수상태에 의한 전기적 open과 short상태 및 기계

적 결함을 알아보았다.

그림 1과 같이 각각 시편을 dwell time(above 183  $^\circ\text{C}$ )을 85초 동안 reflow를 하였으며 reflow의 온도에 따른 ball-off 비를 조사하여 신뢰성이 더욱 우수한 제조공정을 사용하기 위한 실험을 하였으며, 솔더볼의 미세조직을 조사하기 위하여 광학 현미경과 주사전자 현미경을 사용하였다.

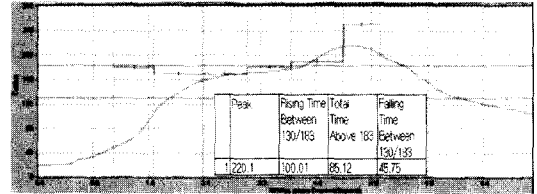


그림 1. 리플로우 시험 조건.

Fig. 1. Reflow test condition.

그림 2는 솔더볼의 전단 강도를 알아보기 위한 실험의 모식도이다.

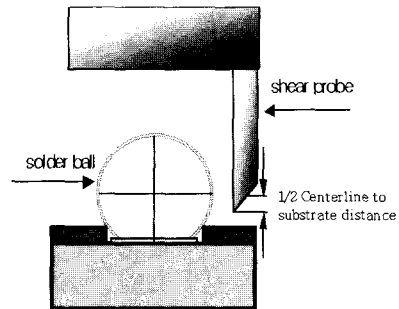


그림 2. 볼 응력 시험.

Fig. 2. Ball shear test.

## 3. 결과 및 고찰

각각 다른 via 크기에 성분이 다른 솔더 페이스트를 사용하여 솔더볼을 접합시킨 후 솔더볼의 크기 변화에 따른 ball-off 비를 측정하였다. reflow 시 도포된 솔더 페이스트는 솔더볼 및 접촉 패드와 반응하면서 표면장력에 의해 반구의 솔더범프를 형성하는데 솔더 페이스트의 증착두께, 조성, 증착된 형상, 가열방법, 가열속도, 사용분위기 등의 공정조건에 따라 솔더범프의 형상이 틀리며 용융온도에 대한 관계를 알아보기 위해 각각 다른 MRT reflow peak 온도와 조성이 다른 솔더 페이스

스트(Sn/36Pb/2Ag, Sn/0.75Cu)를 사용하였다.

표 1은 각각 다른 솔더 페이스트를 사용하여 via 크기와 리플로우 온도 변화에 따른 ball-off 비를 측정하였다. ball-off 비는 via 사이즈 변화 및 적용 솔더 페이스트 조성에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 솔더 페이스트에 의한 Ball-off 비를 비교시 Sn/36Pb/2Ag 보다는 Sn/0.75Cu가 우수한 것으로 나타났다. 또한 reflow 온도가 220 °C에서 용융 온도보다 높은 240 °C로 증가시 ball-off 비는 나빠지는 것으로 나타났다. 솔더볼의 지름이 각각 600 μm인 경우에 볼의 크기가 증가할수록 ball-off 값은 증가하였다. 또한 지름이 각각 450 μm 와 500 μm인 via에 Sn/0.75Cu 와 Sn/36Pb/2Ag의 솔더 페이스트를 사용하여 via 크기에 따른 ball-off 비를 측정 한 결과 via 크기가 감소할수록 ball-off 비가 증가하였으며, 이러한 현상은 솔더 페이스트와 솔더볼이 접합되는 면적이 적기 때문인 것으로 사료된다.

표 1. Via 크기에 따른 ball-off.

Table 1. Ball-off for via size.

Via (μm)	Solder Paste	Solder Ball (mm)	MRT Reflow (°C)	Ball-Off Ratio (%)
450	Sn/36Pb/2Ag	0.6	220	2.9
			240	5.2
		0.62	220	5.6
			240	7.3
	Sn/0.75Cu	0.6	220	1.6
			240	3.9
		0.62	220	1.3
			240	1.8
500	Sn/36Pb/2Ag	0.6	220	0.7
			240	0.9
		0.62	220	0.6
			240	0.6
	Sn/0.75Cu	0.6	220	0
			240	0.1
		0.62	220	0
			240	2

표 2는 각각 다른 via 크기에 Sn/0.75Cu와 Sn/36Pb/2Ag의 솔더 페이스트를 이용하여 솔더볼을 형성 후, 각각 100개의 솔더볼에 대한 진단강도를 측정 한 결과이다. 450 μm 와 500 μm인 via에 Sn/0.75Cu 와 Sn/36Pb/2Ag의 솔더 페이스트를 사용하여 via 크기에 따른 진단강도를 측정 한 결과 Sn/0.75Cu 솔더 페이스트를 사용시 진단강도값이 증가 하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 Ag의 intermetallic 층이 취약하기 때문으로 사료된다.

표 2. Reflow에 따른 볼 전단응력 값.

Table 2. Ball shear test data for reflow.

Via μm	Solder Paste	SBM Reflow	Solder Ball (mm)	MRT Reflow (°C)	100 Balls a Leg (Reflow)		
					Min	Max	Avg
450	Sn/36Pb/2Ag	85Sec above 183°C	0.6	220	140	1188	1004
				240	580	1176	1080
			0.62	220	128	1200	1023
				240	256	1208	1076
	Sn/0.75Cu		0.6	220	348	1289	1103
				240	308	1257	1103
			0.62	220	748	1473	1169
				240	464	1244	1099
500	Sn/36Pb/2Ag	0.6	220	564	1517	1253	
			240	1084	1333	1258	
		0.62	220	748	1317	1244	
			240	1080	1369	1267	
	Sn/0.75Cu	0.6	220	720	1621	1349	
			240	456	1509	1294	
		0.62	220	984	1589	1386	
			240	840	1633	1377	

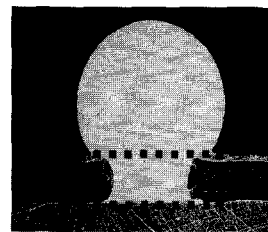


그림 3. 단면에서 via볼의 광학사진.

Fig. 3. Optical micrograph of via ball in cross-section.

앞의 그림 3은 정상적인 상태의 via ball 단면을 보여주고 있으며, ball shear 값은 Sn/0.75Cu 솔더 페이스트 사용 값이 Sn/36Pb/2Ag 솔더 페이스트보다 더 높게 나왔으며, 또한 솔더볼의 크기가 각각 600  $\mu\text{m}$ 와 620  $\mu\text{m}$ 를 비교하였을 때 볼의 크기가 증가할수록 볼 전단응력 값은 증가하였다. Sn/0.75Cu 조성의 솔더 페이스트는 Sn/36Pb/2Ag 조성의 솔더 페이스트에 비해 높은 전단 강도를 가지는 이유는 Au-Sn 금속간 화합물 층의 성장보다는 Ag의 intermetallic 층이 취약하기 때문으로 사료된다. 전단강도는 via 사이즈와 솔더볼이 증가할수록 전단강도 값은 증가하였다.



그림 4. 패드 위면에서의 via ball-off의 광학 사진.  
Fig. 4. Optical micrograph of via ball-off in top pad.

그림 4는 각각 시편을 220  $^{\circ}\text{C}$ 와 240  $^{\circ}\text{C}$ 의 peak 온도로 MRT reflow 실험을 하고 난후의 via ball이 come-off된 시편의 광학 현미경 사진이다.

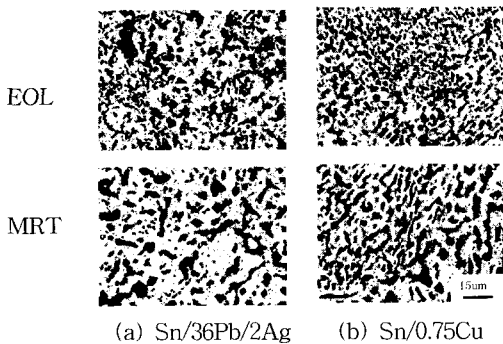


그림 5. EOL과 MRT 이후의 (a) Sn/36Pb/2Ag, (b) Sn/0.75Cu 광학미세구조.  
Fig. 5. The optical micro-structures of (a) Sn/36Pb/2Ag, (b) Sn/0.75Cu after EOL and MRT.

그림 5는 솔더의 신뢰성 시험 조건이 가혹해 질수록 Sn/36Pb/2Ag 조성이 Sn/0.75Cu 조성보다 솔더 벌크내 조직의 조대화가 촉진되는 것을 알 수 있다.

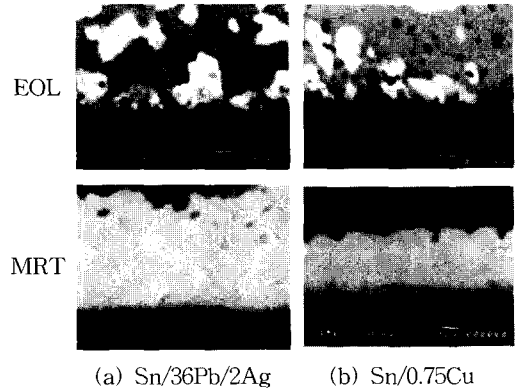


그림 6. EOL과 MRT 이후의 (a) Sn/36Pb/2Ag, (b) Sn/0.75Cu SEM 사진.  
Fig. 6. The SEM photographs of (a) Sn/36Pb/2Ag, (b) Sn/0.75Cu after EOL and MRT.

그림 6은 Sn/36Pb/2Ag 조성과 Sn/0.75Cu 조성이 신뢰성 시험을 통해 금속간 화합물 층이 두껍게 성장한 SEM 사진이다.

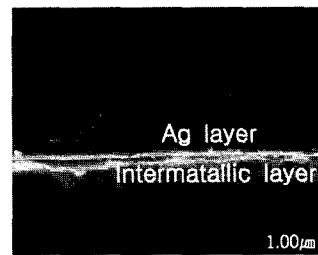


그림 7. Ball-off 패드에서의 SEM 사진.  
Fig. 7. SEM micrograph of the ball-off pad in cross-section.

그림 7은 SEM 사진을 이용하여 ball-off pad의 cross-section을 촬영하였다. Ball-off pad Ag plating의 두께를 측정된 결과 중심부분 (평균 0.71  $\mu\text{m}$ ) 보다 바깥 부분 (평균 0.86  $\mu\text{m}$ )이 두꺼운 것으로 측정되었다. Intermetallic 층을 보면 안쪽 부분의 Ag plating에 의한 intermetallic 층이 취약하여 ball-off 현상이 나타나는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

- 1) Via 크기가 증가할수록 솔더볼의 ball-off 비는 감소하였고, 볼 전단응력 값은 증가하였다. 이러한 현상은 솔더 페이스트가 솔더볼에 접합되는 표면적이 크기 때문인 것으로 사료된다.
- 2) 솔더의 신뢰성 시험 조건 (MRT reflow)에서 Sn/0.75Cu 보다 Sn/36Pb/2Ag 의 솔더 벌크 내의 조직의 조대화에 의해서 금속간 화합물 층이 두껍게 성장함으로써 전단강도 값이 저하됨을 알 수 있다.
- 3) Sn/0.75 Cu 조성의 솔더 페이스트를 사용한 경우가 Sn/36Pb/2Ag 페이스트를 사용한 경우보다 우수한 전단강도 값을 나타냈다. Au-Sn 금속간 화합물 층의 성장보다는 Ag plating에 의한 intermetallic 층이 취약하여 ball-off 현상이 나타나는 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2003년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] David R. Halk, SMT. "A Review of Advaned Packaging Technology", Sept. 1997.
- [2] Eword Zamborsky, "Fundamentals of BGA Rework", SMT, 1999.
- [3] Merril, L. minges, "Electronic Materials hand book", Vol. 1. Packaging, ASM. Materials Park, 1989.
- [4] 川口黄之輔, 澤村經夫: ALMIT Technical Journal, Vol. 22, p. 26, 1994.
- [5] 川口黄之輔, 澤村經夫: ALMIT Technical Journal, Vol. 23, p. 46, 1994.
- [6] Zequn Mei, Eslambolchi, A. Johnson, P. "Brittle Interfacial Fracture of PBGA Packages Soldered on Electroless Ni/Immersion Au", Electronic Components and Technology Conference, 1998. 48th IEEE, P. 952 - 961. May 1998
- [7] Ferguson, M. E Fieselman, C. D.; Elkins, M. A. "Manufacturing Concerns When Soldering with Au Plated Component Leads or Circuit

Board Pads", IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C, Vol. 20, No. 3, p. 186, 1997.