

Ag 함유량에 따른 Sn-Ag-Cu 솔더의 Solderability 및 반응 특성 변화

Solderability Evaluation and Reaction Properties of Sn-Ag-Cu Solders

with Different Ag Content

유 아미*, 이 종현*, 강 남현*, 김 정한*, 김 목순**

* 한국생산기술연구원, 정밀접합팀

** 인하대학교, 신소재공학부

ABSTRACT Solderability and reaction properties were investigated for four Pb-free alloys as a function of Ag contents; Sn-4.0Ag-0.5Cu, Sn-3.0Ag-0.5Cu, Sn-2.5Ag-0.5Cu, and Sn-1.0Ag-0.5Cu. The alloy of the lowest Ag content, i.e., Sn-1.0Ag-0.5Cu, showed poor wetting properties as the reaction temperature decreased to 230°C. Variation of Ag concentration in the Sn-xAg-0.5Cu alloy shifted exothermic peaks indicating the undercooling temperature in DSC curve. For the aging process at 170°C, the thickness of IMCs at the board-side solder/Cu interface increased with the Ag concentration.

1. 서 론

현재 microelectronics 및 SMT(surface mount technology) 실장 분야에서 널리 사용되고 있는 대표적인 Pb-free 솔더 조성은 Sn-3.0Ag-0.5Cu이다[1]. 그러나 최근 연구에 따르면 휴대기기 적용 모듈의 대표적 신뢰성 평가 항목인 drop 및 impact 시험에서 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 조인트는 일반적으로 이른 파단 현상을 나타내고 있어, Ag 함량 및 추가 원소의 첨가에 의한 솔더 조성의 최적화가 요구되고 있다[2].

따라서 본 연구에서는 Ag 함량이 다른 4 종류의 대표적 Pb-free 합금인 Sn-1.0Ag-0.5 Cu, Sn-2.5Ag-0.5Cu, Sn-3.0Ag-0.5Cu 및 Sn-4.0Ag-0.5Cu 솔더 조성의 젖음 특성과 반응 특성을 조사하여 실장 공정에서의 주의사항과 실장 후 솔더 접합부의 신뢰성 해석에 기초가 되는 실험 결과들을 확보하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 Wetting balance 테스트

본 실험에서는 JIS(Japanese Industrial

Standard) Z 3198-4 규격에 따라 wetting balance 시험을 실시하였다[3]. Dipping을 위한 Cu component는 WS(water-soluble) type의 플럭스(flux)를 전체 도포하여 사용하였으며, 솔더조의 온도는 230, 240, 250°C(±3°C)의 3가지 조건으로 실험을 실시하였다. 장비(Malcom사, model: Spin-2) 사용 시 component의 장입 및 이탈속도는 5mm/sec, dip 높이는 2mm, 장입시간은 10sec로 설정하였다. 각 조건 당 10번의 시험을 실시한 후 평균 값을 조사하였다.

2.2 DSC 측정

Ar 분위기의 DSC(differential scanning calorimetry) 장비(TA사, model: DSC-Q100)에 450 μ m의 직경을 가지는 총 6mg 무게의 솔더 볼(ball)을 장입한 후, 40°C에서 250°C까지 10°C/min의 속도로 승온하고, 연속해서 40°C까지 10°C/m의 속도로 냉각하여 솔더 조성에 따른 용융 및 응고 열특성을 조사하였다.

2.3 실장 및 고상 시효 조건에 따른 미세조직 관찰

450 μ m 직경을 가진 솔더 볼을 400 μ m 지름의

패키지(package) 패드(pad) 상에 최대 온도 250°C 조건에서 리플로우(reflow) 범핑(bumping)하고, 다시 보드(board) 상에 리플로우 실장하여 솔더 조성에 따른 네 종류의 시편을 제작하였다. 이때 패키지 상의 패드는 Au/Ni/Cu UBM(under bump metallurgy)이 사용되었고, 보드 상의 패드는 OSP(organic solderability preservative)/Cu finish였다. 이후 각 종류의 시편들은 170°C에서 600hr까지 시효처리 되었다. 모든 조건의 시편들은 정밀 연마한 후 광학현미경과 SEM(scanning electron microscope)을 사용하여 솔더 조인트의 미세조직을 관찰하였고, EDS(energy dispersive spectroscopy)로 각 상의 조성을 측정하였다. 각 조건에서 금속간 화합물의 두께는 image analysis software를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Wetting balance 테스트 결과로 T_0 (zero cross time 또는 time to buoyancy corrected zero value), F_2 (테스트 시작에서부터 2초 후 wetting force), F_{end} (최종 wetting force) 값들이 측정되었다. 그 결과 표 1과 같이 Ag의 함량이 많을수록 그리고 반응 온도가 높을수록 T_0 는 작아지고 F_{end} 는 커지는 경향이 관찰되었다. T_0 와 F_{end} 를 동시에 고려한 의미를 가지는 F_2 값은 Ag의 함량이 많을수록, 반응 온도가 높을수록 커지는 것으로 관찰되었다(표 1). 실험 온도에서 Sn보다 약 2배가량 큰 표면장력 값을 가지는 Ag의 물성을 고려할 때[4], Ag 함량 증가에 따른 wetting force의 직접적인 증가는 합당한 결과로 분석되었다. 아울러 반응 온도 또한 솔더의 wettability에 영향을 주는 매우 중요한 인자임을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

Table 1. Wetting balance test results performed with rolled Cu coupons

Results	T_0 (Zero cross time) (sec)			F_2 (Wetting force at 2 sec from start of test) (mN)			F_{end} (Final wetting force) (mN)			
	Temp.(°C)	230	240	250	230	240	250	230	240	250
1Ag		1.13	0.75	0.57	1.05	1.85	1.99	1.93	2.02	2.11
2.5Ag		0.94	0.63	0.48	1.65	2.00	2.08	2.06	2.09	2.17
3Ag		0.92	0.60	0.45	1.75	2.03	2.10	2.08	2.13	2.18
4Ag		0.9	0.50	0.41	1.81	2.08	2.14	2.09	2.15	2.24

다른 조성의 솔더와 비교하여 Ag 함량이 가장 적은 Sn-1.0Ag-0.5Cu 조성의 경우는 눈에 띄게 젖음 특성이 나쁜 것으로 관찰되었는데, 특히 240°C 이하의 낮은 온도에서는 F_2 및 F_{end} 값이 급감하는 것으로 분석되었다. 따라서 Sn-1.0Ag-0.5Cu 조성의 사용 공정에서는 모든 접합부의 체감 솔더링 온도를 240°C 이상으로 유지할 수 있는 리플로우 온도의 설정과 부품의 효과적인 배치가 필요한 것으로 판단되었다.

4 종류의 Sn-Ag-Cu 솔더를 DSC 테스트한 결과는 그림 1과 같다. 우선 승온 곡선을 살펴보면 1.0Ag 조성의 경우는 공정점(217°C)에서 가장 많이 벗어난 조성적 원인으로 액상선 온도인 약 227°C까지 흡열 피크가 넓어졌으나, 나머지 세 조성의 경우는 약 219°C 부근에서 흡열 피크가 관찰되었다. 냉각 곡선에서는 매우 흥미로운 결과를 발견할 수 있었는데, 모든 조성에서 undercooling이 관찰되었으나, undercooling의 정도는 Ag 함량이 감소할수록 증가하는 경향이 관찰되었다. 즉, Ag의 함량이 4.0에서 1.0으로 감소하는 과정에서 1차 발열 피크는 209.4°C에서 182.2°C까지 감소하였다.

그림 2는 Sn-Ag-Cu 합금의 공정점 부근 3원계 상태도를 보여주고 있는데[5], 용고 시 4.0Ag와 3.0Ag 이하의 조성은 초정상(primary phase)이 다른 것을 알 수 있다. 즉, 4.0Ag의 경우 초정은 Ag_3Sn 상이나, 3.0Ag 이하의 조성에서는 $\beta-Sn$ 상이 가장 먼저 석출된다[6]. 따라서 그림 1에서 냉각 시 각 조성의 최

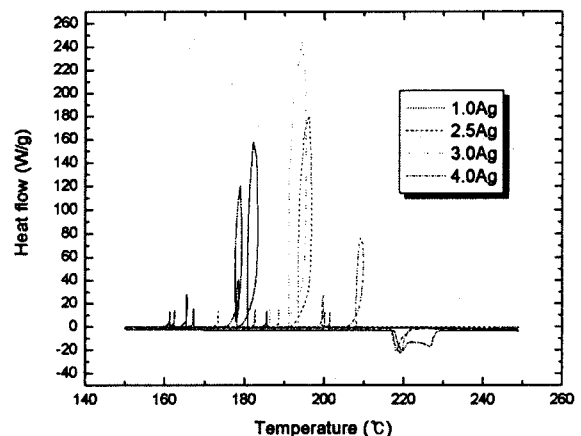


Fig. 1. Variation of heat flow for Sn-xAg-0.5Cu alloys plotted as a function of Ag content and temperature in DSC curve.

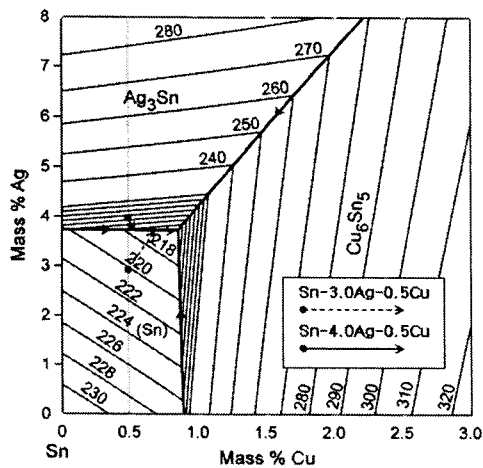


Fig. 2. Ternary phase diagram of Sn-Ag-Cu showing solidification procedures.

초 흡열 피크는 이러한 상들의 석출 과정과 연관된 것으로 판단할 수 있다. 이상의 결과를 종합할 때, Ag 원소는 공정 조성을 초과하여 첨가될 경우에는 Ag_3Sn 상을 빨리 석출시켜 undercooling 효과를 감소시키며, 공정 조성 이내로 첨가될 경우에도 $\beta-Sn$ 상의 빠른 석출에 영향을 미치는 원소로 분석되었다.

실장 직후 솔더 접합부의 미세조직을 분석한 결과 보드부 계면에서는 Cu_6Sn_5 층이, 패키지부 계면에서는 구형의 $(Cu_{1-x}Ni_x)_6Sn_5$ 상과 침상형 $(Ni_{1-y}Cu_y)_3Sn_4$ 상이 혼재하여 생성되는 경향을 보여주었다[7].

그림 3은 시효처리 시간에 따라 보드부의 솔더/Cu 계면에서 성장하는 금속간 화합물층(즉, Cu_6Sn_5 층과 Cu_3Sn 층)의 두께 변화를 보여준

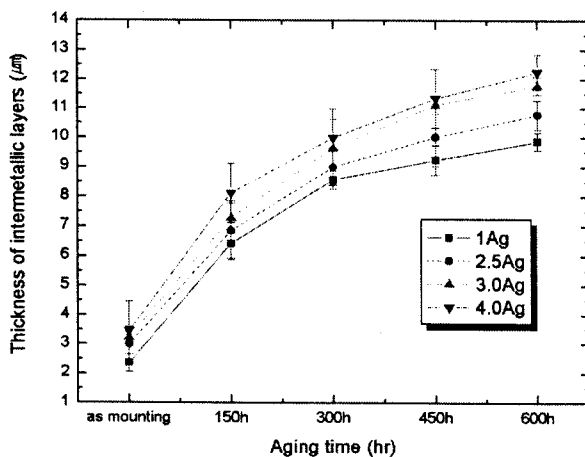


Fig. 3. Average thickness of the IMC layers measured in board-side Cu pads as a function of Ag content and aging time.

다. 그 결과 Ag의 함량이 많을수록 금속간 화합물의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있었는데, 이는 동일한 온도 조건이지만 공정 조성에 가까운 조성에서의 Sn 확산이 상대적으로 보다 활발하기 때문인 것으로 분석되었다.

4. 결 론

1) Ag의 함량이 감소할수록 젖음 특성 역시 다소 나빠졌으며, 특히 Sn-1.0Ag-0.5Cu 조성의 경우는 240°C 이하의 낮은 반응 온도에서 젖음 특성이 급감하는 양상을 보였다.

2) Ag 함량이 감소할수록 undercooling의 정도가 증가하여, Sn-Ag-Cu 조성에서 Ag가 undercooling을 억제하는 주요한 원소임을 알 수 있었다.

3) 시효 시 Ag의 함량이 증가할수록 보드부 계면에서 성장하는 Cu-Sn계 금속간 화합물층의 두께가 증가하여 계면 파괴의 가능성이 보다 높아지는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. E. Bradley, C. Handwerker and J.E. Sohn : Surface Mount Technology(SMT), Jan. (2003), 24-25
2. M. Tanaka, T. Sasaki, T. Kobayashi and Kohei Tatsumi : 56th Electronic Components and Technology (ECTC) Conf. (2006), 78-84
3. M.J. Rizvi, Y.C. Chan, C. Bailey, H. Lu, M.N. Islam and B.Y. Wu : J. Electron. Mater. 34-8 (2005), p. 1115
4. J.S. Hwang : Modern Solder Technology for Competitive Electronics Manufacturing, McGraw-Hill, 1996, 77
5. K.W. Moon, W.J. Boettinger, U.R. Kattner, F.S. Biancanello, and C.A. Handwerker : J. Electron. Mater. 29, (2000) 1122-1236
6. K.S. Kim, S.H. Huh and K. Sukanuma : Mater. Sci. Eng., A333 (2002), 106-114
7. K.S. Kim, S.H. Huh and K. Sukanuma: J. Alloys Compd., 352 (2003), 226-236