

## TSM(Top Surface Metallurgy)이 증착된 유리기판의 Pb-free 솔더에 대한 무플럭스 젖음 특성

홍순민 · 박재용 · 박창배\* · 정재필\* · 강춘식

서울대학교 재료공학부

\*서울시립대학교 재료공학과

## The Fluxless Wetting Properties of TSM-coated Glass Substrate to the Pb-free Solders

Soon-Min Hong, Jae-Yong Park, Chang-Bae\* Park, Jae-Pil Jung\* and Choon-Sik Kang

School of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

\*Department of Materials Science & Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

**초 록 :** TSM(Top Surface Metallurgy)이 증착된 유리기판의 Pb-free 솔더에 대한 젖음성을 무플럭스 하에서 wetting balance법으로 평가하였다. TSM 층의 젖음성을 단면 증착시편의 wetting balance법으로부터 도출된 새로운 젖음성 지수들로 평가할 수 있었다. 유리기판의 TSM층으로는, Cu를 젖음층으로 하고 Au를 Cu의 산화 방지층으로 사용하는 경우가 Au 자체를 젖음층으로 사용하는 경우보다 우수하였다. SnSb 솔더는 SnAg, SnBi, SnIn 솔더보다 TSM 층에 대한 젖음특성이 우수하였다. 유리기판에 단면 증착된 TSM과 Pb-free 솔더의 접촉각을  $F_s$ 와 기울어짐각을 측정하고, 메니스커스의 정적 상태에서 힘의 평형으로부터 유도된 식을 이용하여 계산할 수 있었다.

**Abstract :** The fluxless wetting properties of TSM-coated glass substrate were evaluated by the wetting balance method. We could estimate the wettability of the TSM with new parameters obtained from the wetting balance test for one side-coated specimen. It was more effective in wetting to use Cu as a wetting layer and Au as a protection layer than to use Au itself as a wetting layer. The SnSb solder showed better wettability than SnAg, SnBi, and SnIn solders. The contact angle of the one side-coated glass substrate to the Pb-free solders could be calculated from the force balance equation by measuring the static force and the tilt angle.

**Key words :** solder, TSM, wettability, wetting balance test, flip chip

### 1. 서 론

최근 전자시스템의 경쟁력은 고성능화 뿐만 아니라 동시에 소형화, 경량화 등에 의해서도 좌우되고 있다. 그런데 반도체 집적도 증가로 칩(chip)의 크기는 감소하고 I/O의 수가 증가하고 있어서 기존의 패키지로는 고인덕턴스(high inductance), 고정전용량(high capacitance) 등의 전기적인 특성 구현상의 한계 때문에 고성능 패키지 구현이 불가능하고 또한 패키지의 실장면적이 커서 전자시스템의 소형화, 경량화를 기대

할 수 없다.<sup>1)</sup>

이러한 추세에 따라 경박단소(輕薄短小) 패키지에 대한 연구가 활발히 진행되어왔는데 최근 반도체 업계에서 가장 관심을 받고 있는 것이 실장면적이 칩 면적의 120%이내인 CSP(chip scale package)<sup>2)</sup>와 chip상에 area array 상태의 솔더 범프(bump)를 제작하여 실장하는 기술로서 chip 면적과 동일한 실장면적을 갖는 flip chip<sup>3)</sup>이다. 전자 시스템의 소형화와 반도체 기술 동향을 볼 때 당분간은 CSP와 flip chip 기술이 상호 보완적으로 활용되다가 궁극적으로는 bare chip 실장이 가능

한 flip chip 기술이 주도할 것으로 예상되고 있다. 한편, 패키지 제품 생산공정에 사용되는 플럭스는 기판에 잔류하여 부식을 일으켜 미세회로 손상, 오작동, 수명 단축 등 신뢰성을 악화시킬 뿐만 아니라<sup>4)</sup> 플럭스 세정에 사용되는 용매는 환경을 파괴하므로 환경협약에 의한 국제적인 규제가 가속화되고 있다.<sup>5)</sup> 집적도가 높은 실장부품에 플럭스를 사용할 경우 부품 사이로 세정액의 침투가 더욱 어려워지기 때문에 잔류 플럭스의 영향이 더욱 커진다. 따라서, 초미세 flip chip 접합 기술과 무플럭스 솔더링 기술은 별개로 생각할 수 없으며, 환경을 해치지 않고 저비용으로 소형, 고성능 전자제품을 신뢰성있게 제작할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 본 연구진은 실리콘 chip의 유리기판에 대한 무플럭스 flip chip 솔더링 공정을 개발하고 있다. 플럭스를 사용하지 않는 경우 Si-wafer나 유리기판 자체 그리고 알루미늄 배선층은 솔더에 대하여 젖지 않기 때문에 솔더에 대한 젖음성을 확보하기 위하여 유리기판에 TSM(Top Surface Metallurgy), 실리콘 chip에 UBM(Under Bump Metallurgy)이라는 금속층을 증착한다. UBM층에 올려진 솔더 범프는 유리기판의 TSM에 정렬된 후 리플로우(reflow) 공정에 의해 반응하여 기계적인 접합을 형성한다. 솔더에 대한 TSM층의 젖음성은 UBM층 못지않게 flip chip 패키지의 전체적인 신뢰성과 매우 밀접한 관계가 있다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 TSM이 단면 증착된 유리기판에 대하여 wetting balance 법<sup>7)</sup>을 사용하여 SnPb 솔더 및 Pb-free 솔더에 대한 TSM층의 무플럭스 하에서의 젖음성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험방법

유리기판은 Si-wafer(2.8 ppm/°C)와 열팽창률 차이가 작은 Schott 8330 기판(3.3ppm/°C)을 선택하였다. 유리기판의 두께는 0.8 mm이다. 시편은 1 cm×2 cm 크기로 하였다. 유리기판에는 Table 1과 같이 Au, Cu, Cr 금속층을 TSM으로 증착하였는데, 플럭스를 쓰지 않을 때 젖음성을 증가시키기 위하여 상온 대기 분위기에서 산화되지 않는 Au를 증착층으로 이용하였다. 다층막은 E-gun Evaporation법을 사용하여  $3.0 \times 10^{-8}$  torr의 진공하에서 금속층을 순차적으로 증착하였다. 두 종류의 TSM을 제작하였는데, Au 자체를 젖음층으로 사용하는 시편(G1)과 Cu를 젖음층으로 하고 Au를 Cu의 산화 방지층으로 사용(G2)하는 두 종류의 시편을 제조하여 각각에 대한 젖음성을 평가하였다.<sup>8)</sup> 실험된 시편을 아세톤, 메탄올, 이소프로필 알콜의 순서로 각각 5분

Table 1. Thickness of metal layers in TSM of glass substrate

	Glass1 (G1)	Glass2 (G2)
Au	1000Å	500
Cu	0	3000
Cr	7000	700

Table 2. Wetting test temperature of each solder

Solders	Melting point (°C)	Test temperature (°C)		
Sn-37Pb	183	210	230	250
Sn-3.5Ag	221	250	270	290
Sn-5Sb	246	270	290	310
Sn-57Bi	139	170	190	210
Sn-51In	120	150	180	210

간 초음파 세척을 하여 시편의 오염물을 제거하고 대기 중에서 건조시킨 후 젖음성 실험을 하였다. 솔더로는 Sn-37wt%Pb, Sn-3.5wt%Ag, Sn-5wt%Sb, Sn-57wt%Bi, Sn-51wt%In 합금을 사용하였다. 각 솔더의 wetting 실험 온도는 각 솔더의 용점을 고려하여 Table 2와 같이 정하였다. Wetting balance tester는 RHESCA SAT-5000을 사용하였으며 침적속도는 5 mm/s, 침적 깊이는 3 mm로 고정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 TSM이 증착된 유리기판의 젖음 곡선과 젖음성 평가 지수

Fig. 1(a)와 (b)는 TSM이 단면증착된 유리기판의 전형적인 젖음 곡선이며 SnPb와 SnAg 솔더에 대하여 각각 나타낸다. 본 연구진은 선행 연구<sup>9)</sup>에서 코팅층이 단면 증착되었을 때와 양면 증착되었을 때의 젖음곡선은 형태상으로 지수함수의 형태를 가지며 온도에 따른  $t_{2/3}$  특성시간(characteristic time)이나 최대젖음력(maximum wetting force)과 같이 젖음곡선의 형상을 특징짓는 변수들이 양면 및 단면 시편 모두 온도에 따라서 동일한 변화 경향을 나타내기 때문에, 적절한 젖음성 평가 지수를 택한다면 그 젖음성을 평가할 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 2는 단면 증착된 TSM의 젖음곡선에 대한 모식도이며 젖음성 평가지수로서  $F_{min}$ (minimum wetting force),  $F_s$ (static wetting force),  $t_s$ (time to static state)도 같이 표시해 놓았다. 이들을 간

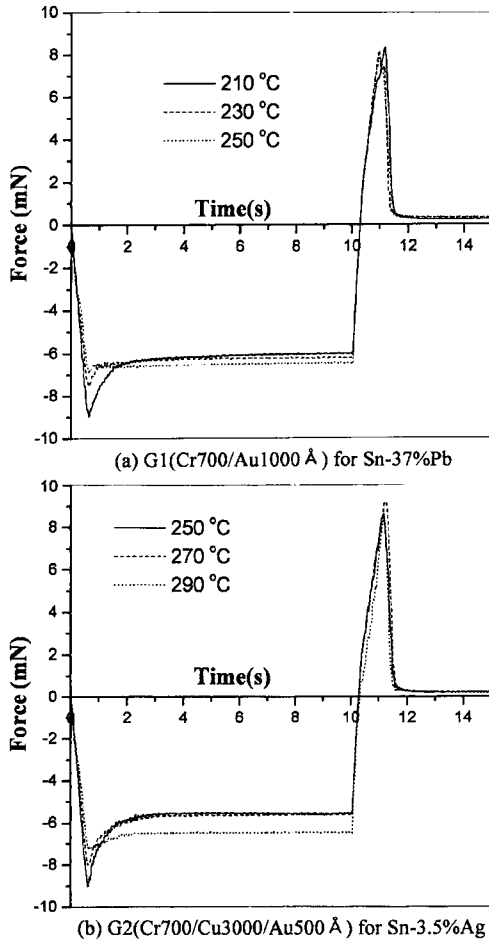


Fig. 1. Typical wetting curves of TSM-coated glass substrate. (a) G1(Cr700/Au1000 Å) for Sn-37%Pb, (b) G2(Cr700/Cu3000/Au500 Å) for Sn-3.5%Ag.

단히 설명하면,  $F_{min}$ 은 시편의 침적 완료 후 젖음이 개시되는 시점에서 시편이 받는 힘으로, 솔더의 침적 깊이가 같으면 부력은 일정하므로 젖음층이 증착되지 않는 면에 작용하는 비젖음력과 젖음층이 증착된 면에 작용하는 젖음력의 합을 반영한다고 할 수 있다.  $t_s$ 는 솔더의 젖음 개시와 함께 메니스커스(meniscus)의 상승이 이루어지는 시간으로서 물리·화학적인 젖음 속도 즉, 메니스커스의 상승시간 및 솔더와 TSM의 반응 속도를 반영하는 젖음성 평가 지수이며, 양면 증착시편의 젖음 시간과 유사성이 많은 지수이다.  $F_s$ 는 솔더의 상승이 이루어지고 메니스커스가 평형 상태에 도달한 후 시편이 받는 힘으로 솔더의 젖음력이 반영된 젖음의 정도를 나타내는 지수이며, 기존의 평형젖음력과 밀접한 관계를 갖는 지수이다. 단면증착 시편의 젖음곡선 상에서

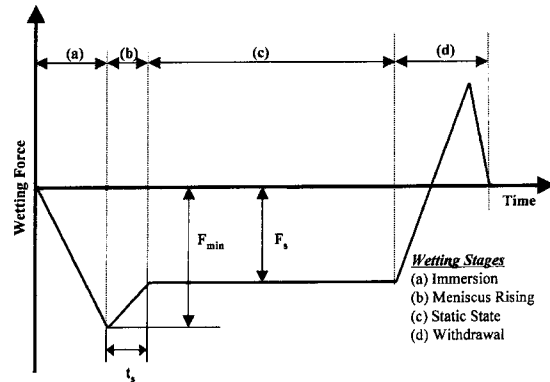


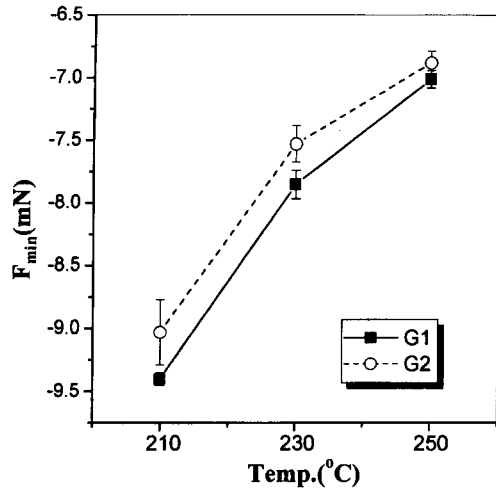
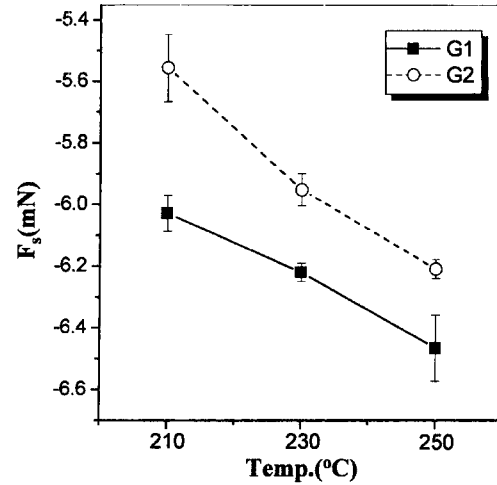
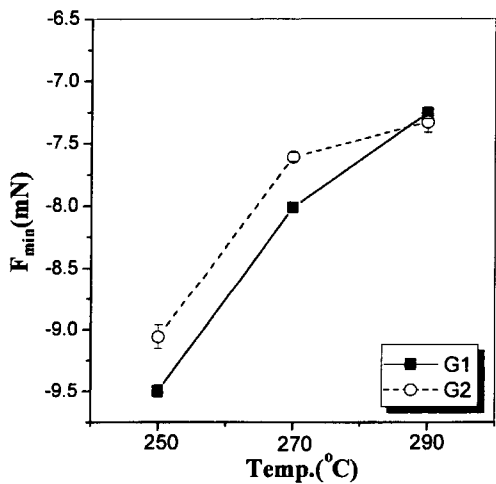
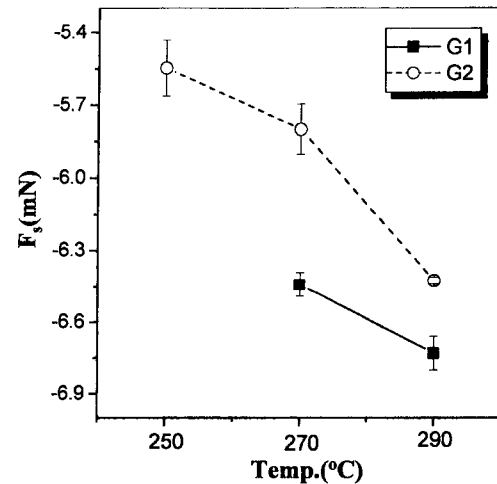
Fig. 2. A schematic wetting curve of one side coated plate and wettability indices.

$F_{min}$ 과  $F_s$ 는 음의 값을 가지므로 절댓값이 작을 수록 젖음성이 우수하다고 할 수 있다. 젖음곡선 상의 젖음성 평가지수 이외에 젖음 시편으로부터 메니스커스의 상승 높이(meniscus rise)  $H$ 를 측정하여 젖음곡선 상에서 제시한 3가지 지수와 함께 젖음력 평가에 사용하였다.

### 3.2 TSM이 증착된 유리기판의 젖음성

Fig. 3은 SnPb와 SnAg 솔더 납조의 온도 변화에 따른 G1(Au/Cr)과 G2(Au/Cu/Cr) TSM의  $F_{min}$  값을 나타낸다.  $F_{min}$ 의 값은 납조의 온도 증가에 따라 대체적으로 증가함을 알 수 있다. 두 솔더 모두에 대하여 G2의  $F_{min}$  값이 G1 보다 크며 그 차이는 온도가 증가할 수록 감소한다는 사실을 관찰 할 수 있다.  $F_{min}$ 값은 침적이 완료된 직후 시편이 느끼는 젖음력과 비젖음력의 합을 반영하는 값인데 G2가 G1보다 크다는 것은 G2의 젖음성이 보다 우수하다는 것을 의미한다.

Fig. 4는 메니스커스의 상승이 완료된 후 정적인 상태에서 유리기판에 작용하는 힘인  $F_s$ 의 값을 보여주는 데, G2가 G1보다 크다는 사실을 알 수 있다.  $F_s$  값은 TSM에 대한 솔더의 젖음 정도를 나타내는 척도이므로 이것 역시 G2가 G1보다 젖음에 유리하다는 사실을 반증한다. 솔더 메니스커스가 정적인 상태에 도달하는데 걸리는 시간인  $t_s$  값을 Fig. 5에 나타내었다. 두 솔더 모두 G2가 G1보다  $t_s$  값이 큰 것을 알 수 있다. 이 사실은 솔더 메니스커스의 상승 높이,  $H$ 와 관련하여 고찰할 수 있다. Fig. 6은 젖음성 시험을 마친 시편에 대하여 솔더 메니스커스의 상승 높이  $H$ 를 측정된 결과인데 두 솔더 모두에 대하여 G2가 G1보다 높이 상승하였음을 알 수 있으며 이러한 차이는 SnAg 솔더에서 보다 두드러짐을 관찰할 수 있다. 따라서, G2가 G1보다  $t_s$ 가 큰 것은 젖음 속도의 차이라기보다는 G2에서 솔더 메니스커스

(a)  $F_{min}$  for Sn-37%Pb(a)  $F_s$  for Sn-37%Pb(b)  $F_{min}$  for Sn-3.5%Ag(b)  $F_s$  for Sn-3.5%Ag

**Fig. 3.** Minimum wetting force ( $F_{min}$ ) of TSM-coated glass substrate to SnPb and SnAg solders. (a)  $F_{min}$  for Sn-37%Pb, (b)  $F_{min}$  for Sn-3.5%Ag.

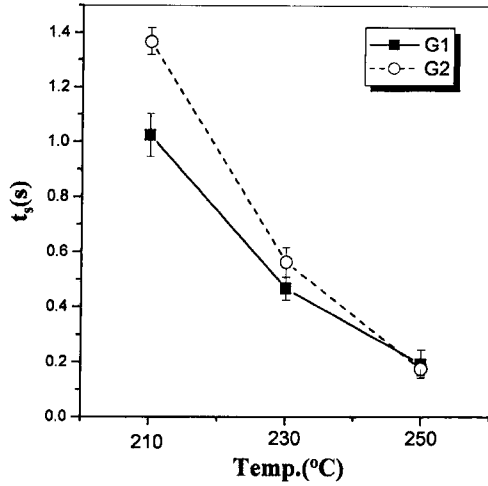
**Fig. 4.** Static state wetting force ( $F_s$ ) of TSM-coated glass substrate to SnPb and SnAg solders. (a)  $F_s$  for Sn-37%Pb, (b)  $F_s$  for Sn-3.5%Ag.

의 상승이 G1보다 오랫동안 일어났기 때문이라고 판단할 수 있다. 이것은 G2가 G1보다 젖음의 정도 측면에서는 우수하다고 할 수 있지만 젖음 속도의 면에 있어서는 그다지 큰 차이가 나지 않음을 의미한다.

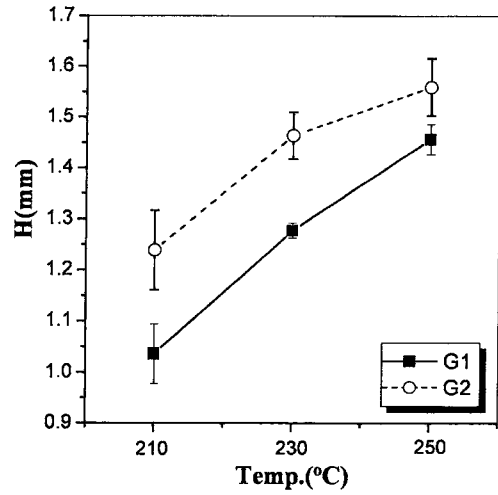
요컨대, 유리기판의 TSM의 경우, Cu를 젖음층으로 하고 Au층을 Cu층의 산화 보호층으로 사용하는 경우 (G2)의 젖음성이 Au층 자체를 젖음층으로 사용하는 경우 (G1)보다 우수하며  $F_{min}$ ,  $F_s$ ,  $t_s$ , 및 H 값은 이러한 경향을 모두 일관되게 반영하고 있다.

다른 Pb-free 솔더들 간의 TSM에 대한 젖음성을 비교하기 위하여 일반적인 리플로우 온도 즉, 융점보다

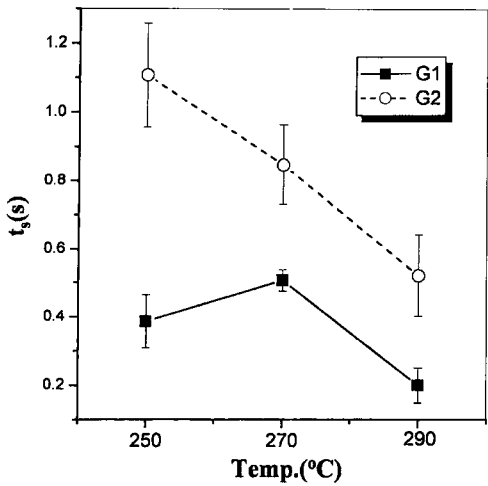
약 50°C 더 높은 온도(SnPb: 230°C, SnAg: 270°C, SnSb: 290°C, SnBi: 190°C, SnIn: 180°C)에서 다른 Pb-free 솔더들의  $F_s$ , H,  $t_s$  값을 Fig. 7(a), (b), (c)에 각각 나타내었다. 230°C SnPb 솔더의 값을 기준으로 할 때 젖음의 정도를 나타내는  $F_s$ (Fig. 7(a))와 H값(Fig. 7(b))을 관찰하면 SnSb 솔더가 가장 크고, 다음에 SnAg와 SnBi 솔더가 SnPb의 값과 비슷하거나 웃돌고 있음을 알 수 있다. SnIn 솔더는 본 연구에서의 TSM에 거의 젖지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 메니스커스 상승(H)이 클수록 메니스커스가 정적인 상태에 도달하는데 걸리는 시간( $t_s$ , Fig. 7(c))이 긴 것을 알 수 있다.



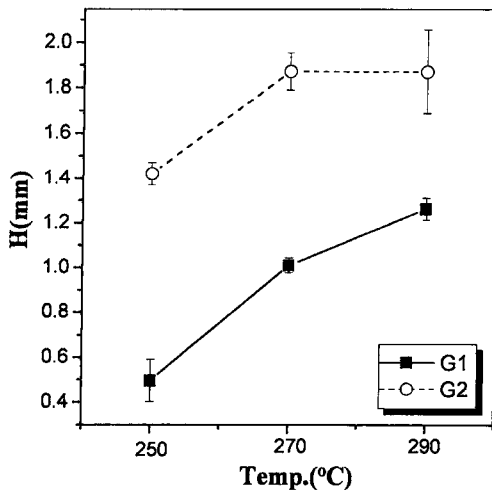
(a)  $t_s$  for Sn-37%Pb



(a) H for Sn-37%Pb



(b)  $t_s$  for Sn-3.5%Ag



(b) H for Sn-3.5%Ag

Fig. 5. Time to static state( $t_s$ ) of TSM-coated glass substrate to SnPb and SnAg solders. (a)  $t_s$  for Sn-37%Pb, (b)  $t_s$  for Sn-3.5%Ag.

Fig. 6. Meniscus height(H) of TSM-coated glass substrate to SnPb and SnAg solders. (a) H for Sn-37%Pb, (b) H for Sn-3.5%Ag.

### 3.3 $F_s$ 및 접촉각

Wetting balance tester를 이용하여 TSM이 단면 증착된 유리기판의 젖음성 시험시에 젖음시편의 상태를 고려하여, Fig. 4에서 보인  $F_s$ 값을 이용하여 솔더와 TSM 코팅층 사이의 접촉각을 구해 보았다. 한쪽 면이 젖지 않는 면이기 때문에 그 면에 비젖음력(non-wetting force)이 작용하며 반대편 면에 메니스커스의 상승에 의한 젖음력이 작용하므로 평형상태에서 힘의 균형에 의한 시편의 기울어짐이 발생한다. 젖음력의 해석시에 시편의 기울어짐 효과의 보정에 대한 논의는 별도의 논문<sup>10)</sup>에 전개되어 있으며 시편에 작용하는  $F_s$ 는 최종적

으로 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_s = w\gamma\cos(\theta - \delta) + 2w\gamma\sin^2\left(\frac{90 - \theta + \delta}{2}\right) \times \tan\delta - w\gamma\cos^2\delta\tan\delta - w\gamma\cos\xi - 2t\gamma - \rho gV \quad (1)$$

단,  $w$ 는 젖음 시편의 폭,  $\gamma$ 는 솔더의 표면장력,  $\theta$ 는 접촉각,  $\delta$ 는 기울어짐각(tilt angle),  $\xi$ 는 초기접촉각,  $\rho$ 는 솔더의 밀도,  $V$ 는 시편의 침적 부피를 나타낸다. 식 (1)로 부터,  $F_s$ 는 접촉각  $\theta$ 와 기울어짐각  $\delta$ 의 함수로 나타낼 수 있다. 한편, 접촉각을 젖음성 시험시 직접 측정

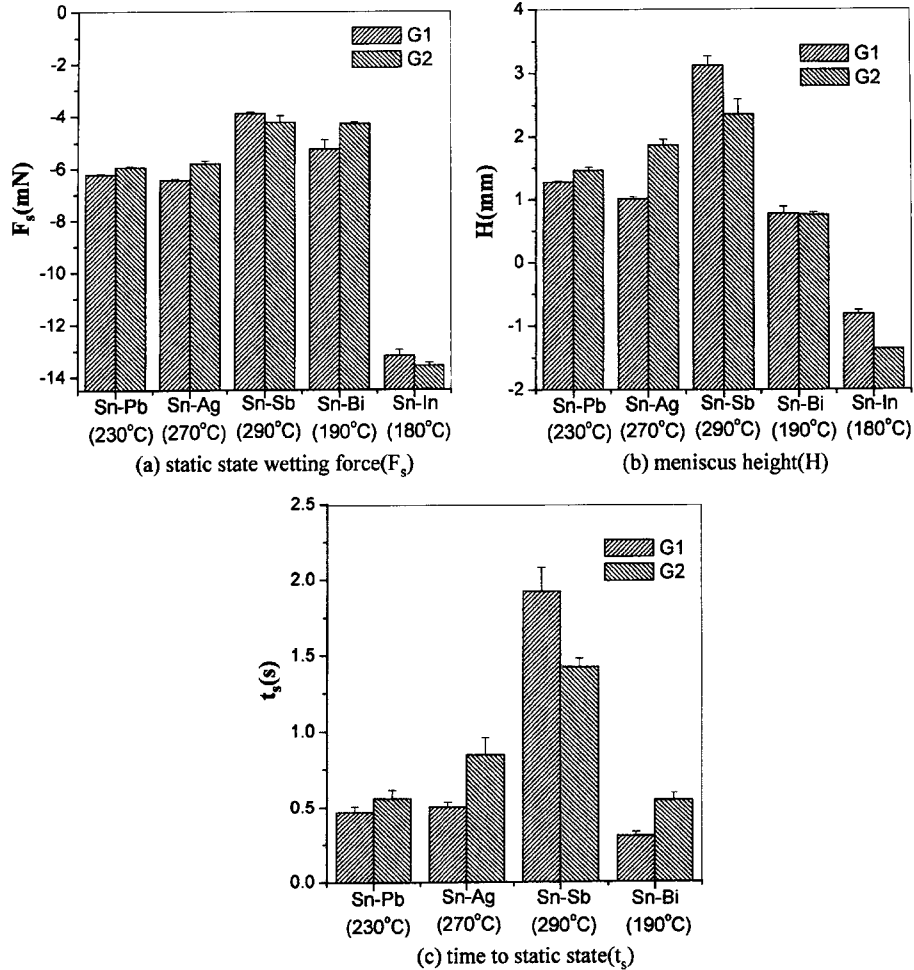


Fig. 7. The wetting properties of TSM-coated glass substrate to the Pb-free solders. (a) static state wetting force( $F_s$ ), (b) meniscus height(H), (c) time to static state( $t_s$ )

Table 3. Contact angles of TSM for SnPb and SnAg solders in air

	G1	G2
SnPb(230°C)	78.9°	76.1°
SnAg(270°C)	77.5°	70.8°

하는 것은 오차를 유발하기 쉬우므로, 비교적 용이하게 측정 가능한  $\delta$ 와  $F_s$ 를 측정하여 식 (1)로부터 수치적인 방법, 혹은 그래프를 이용한 방법으로 접촉각을 계산할 수 있다. Table 3에 Sn-37Pb(230°C) 및 Sn-3.5Ag(270°C)에 대하여 TSM 종류에 따른 계산된 접촉각  $\theta$ 를 나타내었다. TSM의 접촉각은 두 솔더 모두 70°이상이었으며 따라서 일반 대기중에서 플럭스를 쓰지 않음

면 Au보호층의 존재하더라도 양호한 젖음(60° 이하의 접촉각)<sup>11)</sup>을 기대할 수 없다. 그러나 향후에 무플럭스 솔더링을 위하여 플라즈마 처리나 레이저 처리, 비활성 분위기의 유지 등의 방법으로 플럭스 없이 젖음을 더욱 개선할 수 있다고 판단된다.

#### 4. 결 론

TSM이 단면 증착된 유리기판의 Pb-free 솔더에 대한 무플럭스 하에서의 젖음성 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) TSM이 증착된 유리기판에 대한 Pb-free 솔더의 젖음성 시험에서 Au층 자체가 젖음층일 때 보다 Cu층을 젖음층으로 하고 Au층을 Cu층의 산화 방지층으로

사용할 때 젖음성이 보다 우수하였다.

(2) TSM이 증착된 유리기판에 대한 Pb-free 솔더의 젖음성은 SnSb 솔더가 젖음의 정도 면에서 다른 솔더보다 우수하며, SnAg와 SnBi 솔더는 SnPb 솔더와 정도가 비슷하거나 더 우수하였다. SnIn 솔더는 TSM층에 거의 젖지 않았다.

(3) F<sub>s</sub> 값에 대한 식을 이용하여 TSM층과 솔더가 이루는 접촉각을 계산한 결과, Au층을 보호층으로 사용하여도 대기 중에서 플럭스를 사용하지 않고 양호한 젖음을 얻을 수 없으며 젖음성을 향상시키기 위한 처리가 필요함을 알 수 있었다.

## 5. 후 기

본 논문은 1999년도 과학재단의 연구비 지원 하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. ETRI, "High speed/high density multichip module packaging technology development," Ministry of Information & Communication of Korea, p. 81, (1999).
2. Lau, J. H., and R. Lee, "Chip Scale Packages: Design, Materials, Process, Reliability, and Application," McGraw-Hill, New York, p. 2, (1998).
3. H. Lau ed., Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York, p. 123, (1995).
4. Mike Bixenaman, Erik Miller, Pro. 5th Int. Joint Symp. on Microelec. and Packaging, IMAPS-KOREA and IEEE-CPMT, Seoul, Korea, p. 45, (2000).
5. Rudolf Strauss, SMT Soldering Handbook, 2nd ed., p. 277, (1998).
6. F. G. Yost, F. M. Hosking, and F. M. Frear, The Mechanics of Solder Alloy Wetting and Spreading, Van Nostrand Reinhold, New York, p. 259, (1993).
7. R. J. Wassink, Soldering in Electronics, Electrochemical Publication, Oxen, pp. 300-330, (1989).
8. R. B. Cinique and J.W. Morris, "The Effect of Gold-Nickel Metallization Microstructure on Fluxless Soldering," JEM, Vol. 23, No. 6, pp. 533-539, (1994).
9. Hong *et al.*, Pro. 5th Int. Joint Symp. on Microelec. and Packaging, IMAPS-KOREA and IEEE-CPMT, Seoul, Korea, pp. 74-79, (2000).
10. J. Y. Park, S. M. Hong, C. H. Kang, J. P. Jung, "Analysis of Wetting Force on One Side Coated Cu/Cr-Si Substrate Using Wetting Balance Method," J. Kor. Inst. Met & Mater., (in publishing), (2000).
11. Manko, H. H. Solders and Soldering, McGraw-Hill, NY, p. 313, (1979).