

# Si-wafer/Glass 플립칩 패키징에서 UBM 및 TSM 코팅층의 무연 solder에 대한 젖음 특성

## The Wetting Properties of UBM and TSM-coated Layer to the Lead-free Solders in Si-wafer/Glass Flip-Chip Packaging

홍순민, 박창배\*, 박재용, 정재필\*, 강춘식

서울대학교 재료공학부

\*서울시립대학교 금속재료공학과

### 1. 서론

그림 1은 본 연구진이 개발중인 Si-Chip/Glass 플립칩 패키징 시스템으로 주로 광학소자의 실장에 적용된다. Si-wafer와 유리기판 자체는 솔더에 젖지 않으므로 Si-wafer에 UBM(Under Bump Metallurgy), 유리기판에 TSM(Top Surface Metallurgy)과 같이 젖음층을 증착하여 솔더에 대한 젖음성을 확보한다. 본 연구에서는 실험이 간편하고 재현성이 우수한 wetting balance법으로 증착층의 젖음성을 평가하고자 한다. 기존의 방식과 같은 젖음 특성 평가법을 적용하기 위해서는 금속층을 기판의 양면에 증착해야 한다. 그런데, 양면에 금속층을 증착할 경우 두 번 공정을 거치게 되며 이때 이전에 증착된 금속층이 후속 증착공정에 의해 영향을 받기 때문에 시편의 양면에 동일한 막질의 코팅층을 얻기가 어려우므로 젖음성 시험의 재현성이 떨어지는 단점이 있다. 본 연구진은 단면 코팅된 시편의 젖음 곡선은 양면 코팅된 시편과 다른 특징을 나타내며 젖음 거동의 해석을 위한 새로운 이론이 필요함을 밝힌 바 있다.<sup>1)</sup> 따라서, 본 연구에서는 기판의 한쪽 면을 비젖음층으로 하고 단면에만 금속층을 증착한 단면 증착 시편에 대하여 젖음성 평가 변수를 제시하고 이를 바탕으로 무연 솔더에 대한 TSM 및 UBM층의 젖음성을 평가하고자 하였다.

### 2. 실험방법

Si-wafer와 유리기판의 두께는 각각 0.5mm, 0.8mm이다. 유리기판에는 표 1과 같이 Au 자체를 젖음층으로 사용하는 시편(G1)과 Cu를 젖음층으로 하고 Au를 Cu의 산화 방지층으로 사용(G2)하는 두 종류의 시편을 제조하였다.<sup>2)</sup> Si-wafer의 UBM(Under Bump Metallurgy)층으로 표 2와 같이 Cr/Cu/Au 및 Ti/Ni/Au를 증착하였다. UBM C2는 양면 증착시편도 함께 제작하여 양면코팅층과 단면 코팅층의 젖음 곡선을 비교하고자 하였다. 솔더로는 Sn-37%Pb, Sn-3.5%Ag, Sn-4.5%Sb, Sn-57%Bi, Sn-51%In 합금을 사용하였고 젖음성은 wetting balance 법으로 평가하였다. C2시편에 대해서는 R-type 플럭스를 사용하

여 젖음성을 평가한 후 Au 보호층을 사용한 시편의 젖음성과 비교하였다

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 C2 UBM이 양면과 단면에 증착된 시편의 Sn-Pb에 대한 젖음 곡선을 나타낸다. 단면 증착된 시편의 젖음곡선의 형태는 양면 증착된 시편의 곡선과 매우 유사한 형태를 가지고 있으며 온도에 따른 곡선의 변화 경향도 일치한다. 따라서, 단면 증착시편의 곡선에 대한 새로운 해석을 바탕으로 적절한 젖음성 평가 변수를 택한다면 단면증착으로 코팅층의 젖음 특성을 평가할 수 있을 것이라고 판단할 수 있다.

단면젖음 곡선으로부터 단면 증착 기판에 대한 젖음 곡선의 모식도를 추출하였으며 이를 그림 3에 나타내었다. 모식도로부터  $F_{min}$ , (minimum wetting force)  $F_s$ , (static wetting force),  $t_s$ , (time to static state)를 젖음특성의 평가의 기준으로 삼았다.  $F_{min}$ 은 시편의 침적이 완료되는 시점에서 시편이 받는 힘으로 솔더의 비젖음력을 반영한다.  $F_s$ 는 메니스커스가 평형 상태에 도달한 후 시편이 받는 힘으로  $F_{min}$ 에 메니스커스의 상승에 의한 솔더의 젖음력이 반영된 변수이다. 단면 증착 시편의 젖음곡선상에서  $F_{min}$ 과  $F_s$ 는 음의 값을 가지므로 절대값이 작을 수록 젖음성이 우수하다고 할 수 있다.  $t_s$ 는 메니스커스의 상승이 이루어지는 시간으로서 솔더와 기판의 반응속도와 메니스커스 상승시간을 반영한다. 젖음곡선 상의 변수이외에 젖음 시편으로부터 메니스커스의 상승 높이(meniscus rise)  $H$ 를 측정하여 젖음곡선에서 제시한 3가지 변수와 함께 젖음력 평가에 사용하였다.

그림 4는 Sn-Ag 솔더에 대한  $F_{min}$ ,  $F_s$ ,  $t_s$ ,  $H$  값을 나타낸다. G2의  $F_{min}$  값의 절대값이 G1 보다 작으며 그 차이는 온도가 증가할 수록 감소한다는 사실을 알 수 있다.  $F_{min}$ 의 값은 침적이 완료 직후 솔더의 비젖음력을 반영하는 값인데 G2가 G1보다 절대값이 작다는 것은 G2의 젖음성이 보다 우수하다는 것을 의미한다.  $F_s$ 은 G2가 G1보다 절대값이 작으며 역시 G2가 젖음에 유리하다는 사실을 반증한다.  $t_s$ 은 Sn-Ag에 대하여 G2가 G1보다  $t_s$  값이 큰 것을 알 수 있다.  $H$ 는 G2

가 G1보다 높이 상승하였음을 나타내고 있으며 이러한 차이는 Sn-Ag 솔더에서 보다 두드러짐을 관찰할 수 있다. 따라서, G2가 G1보다  $t_s$ 가 큰 것은 젖음 속도의 차이이기 보다는 G2에서 솔더 메니스커스의 상승이 G1보다 오랫동안 일어났기 때문이라고 판단할 수 있다.

Sn-Ag 솔더에 대하여 UBM이 증착된 Si-wafer에 대한  $F_{min}$ ,  $F_s$ ,  $t_s$ , H 값을 그림 5에 각각 도시하였다.  $F_{min}$ 은 Sn-Ag 두 솔더에서 C1, C3 즉, Cu층의 두께에 대하여 유의할 만한 차이를 나타내지 않았다. 한편 C1과 N1을 비교할 때 Sn-Ag 솔더에서 C1이 N1보다  $F_{min}$ 의 값이 큰 것을 관찰할 수 있다. 따라서, C1이 N1 보다 젖음성에 있어서 유리하다고 기대할 수 있다.  $F_s$  값을 관찰하면 C1의 값이 C3보다 절대값이 작으며 따라서 젖음에 유리하다고 판단된다. C1과 N1를 비교하면 Sn-Ag의 경우 N1의  $F_s$ 값이 C1과 비슷하여 어떤 것이 젖음에 유리하다고 판단하기가 쉽지 않다. 그러나, C1과 C3 모두 Sn-Ag 솔더에 대하여 젖음시간 ( $t_s$ )이 N1보다 현저하게 짧음을 볼 수 있다. C1과 C3 간의 비교에서는 Sn-Pb 솔더에서는 거의 비슷한 젖음 시간을 가지나 Sn-Ag 솔더에서는 C1이 C3보다 메니스커스 상승시간이 보다 길다. 이러한 사실은 솔더 메니스커스의 상승 높이, H와 관련지어 고찰할 수 있다. H값을 비교해 보면 일반적인 리플로우 솔더링 공정 온도(Sn-Ag:270°C)에서 C1과 N1은 거의 비슷한 높이로 솔더 메니스커스가 상승했음을 알 수 있다. 따라서 N1이 C1보다  $t_s$ 의 값이 크다는 것은 N1에서 솔더의 젖음과정 자체가 C1보다 느리게 일어난다는 것을 의미한다. Sn-Ag 솔더에서는 모든 온도에서 C1이 C3보다 메니스커스가 높이 상승했고 따라서 C1이 C3보다  $t_s$ 의 값이 큰 것은 C1에서 메니스커스의 상승이 오래 일어났음을 알 수 있다. Sn-Pb, Sn-Ag에 대하여 젖지 않았던 C2 UBM에 대하여 R-type 플릭스를 사용하여 젖음성 시험을 한 결과를 그림 5에 같이 도시하였다. 플릭스를 사용한 C2시편은 Au층을 보호층으로 사용할 때보다 높은 메니스커스의 상승을 보였다. 따라서, 플릭스를 사용하지 않을 때, 솔더와 기판간의 젖음력을 충분히 확보하기 위해서는 솔더 및 기판의 산화막 제거를 위한 다른 처리, 예를 들어, 분위기의 조절, 플라즈마 혹은 레이저 처리 등이 필요함을 알 수 있다.

단면증착된 시편의 기울어짐의 효과를 고찰하기 위해 솔더와 평형을 이루고 있는 메니스커스의 형상을 고려하면 시편에 작용하는  $F_s$ 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_s = F_m + F_n + F_b$$

단,  $F_m$ 은 meniscus force,  $F_n$ 은 non-wetting force,  $F_b$ 는 buoyancy force를 나타낸다. 각 힘을 계산하기 위하여 다음의 두 가지 가정이 사용되었다. 첫째, 시편의 기울어짐과 관계없이 삼중점에서 솔더와 기판이 이루는 접촉각은 일정하다. 둘째, 솔더 메니스커스의 형태는 라플라스 방정식을 따른다. 위와 같은 두 가지 가

정하에서 메니스커스의 부피를 고려하면 다음과 같은 최종적인 식을 구할 수 있다.<sup>3)</sup>

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

단, w는 시편의 폭,  $\gamma$ 는 표면장력,  $\theta$ 는 접촉각,  $\delta$ 는 기울어짐 각(tilt angle),  $\xi$ 는 초기접촉각,  $\rho$ 는 솔더의 밀도, V는 침적부피를 나타낸다. 즉,  $F_s$ 는 접촉각( $\theta$ )과 기울어짐 각( $\delta$ )의 함수를 나타낼 수 있으며, 접촉각을 직접 측정하는 것 보다 기울어짐 각( $\delta$ )을 측정하는 것이 용이하다. 따라서  $F_s$ 와  $\delta$ 를 측정하면 위 식으로부터 접촉각을 계산할 수 있다.

그림 6에 일반적인 리플로우 공정 온도(솔더 용점보다 약 50°C 높은 온도)에서 UBM에 대하여 각 솔더 별로  $F_s$  및 H의 값을 도시하였다. 그림에서와 같이 무연 솔더의 젖음성은 Sn-Sb, Sn-Ag와 같은 고온 솔더가 Sn-Bi, Sn-In의 저온 솔더보다 젖음성이 우수함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

- (1) 단면 코팅된 시편의 젖음 곡선은 양면 코팅된 시편의 젖음 곡선과 형상이 유사하며 나타내며 젖음 거동의 해석을 위한 새로운 매개변수  $F_{min}$ ,  $F_s$ ,  $t_s$ 를 도입하여 TSM, UBM 코팅층의 젖음 특성을 평가할 수 있다.
- (2) TSM에 대하여, Au층 자체가 젖음층일 때 보다 Cu층을 젖음층으로 하고 Au층을 Cu층의 산화방지 층으로 사용할 때 젖음성이 보다 우수하였다.
- (3) UBM에 대하여, Cr/Cu/Au계 UBM은 Ti/Ni/Au UBM보다 젖음시간의 측면에서 보다 젖음성이 우수하였다.
- (4) 단면 코팅된 시편이 이루는 메니스커스를 고려하여  $F_s$ 값에 대한 식을 세워 UBM 층과 솔더가 이루는 접촉각을 계산할 수 있다.
- (5) 일반적인 reflow 조건에서 UBM에 대한 무연 솔더의 젖음성은 Sn-Sb, Sn-Ag의 고온 솔더가 Sn-Bi, Sn-In의 저온 솔더보다 우수하다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 홍순민, 박창배, 박재용, 정재필, 강춘식, :Si-wafer/Glass 기판 접합에 대한 Sn계 솔더의 젖음성 및 접합 특성, 1999년도 추계 용접학회 개요집 pp.247-250(1999)
- 2) R.B CINIQUÉ and J.W. MORRIS, JR., :The Effect of Gold-Nickel Metallization on Microstructure on Fluxless Soldering, Journal of Electronic Materials, V.23, N.6(1994), p.533
- 3) 박재용, 박사학위논문, 서울대학교 (2000)

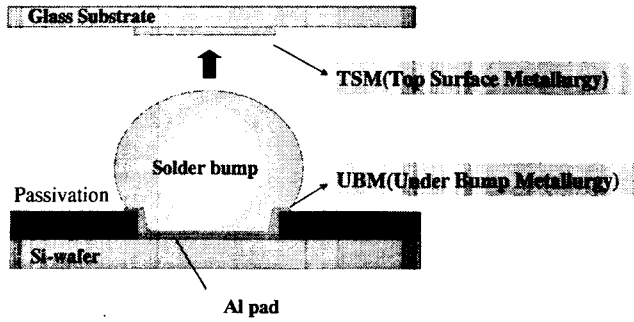


Fig.1. Si-chip on glass flip chip packaging

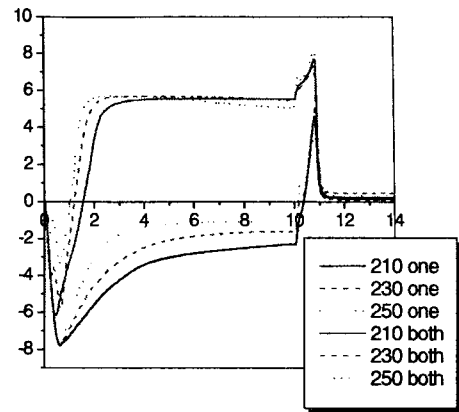


Fig.2. Wetting curves of Cr/Cu UBM(C2) for Sn-Pb solder (one & both sides coated)

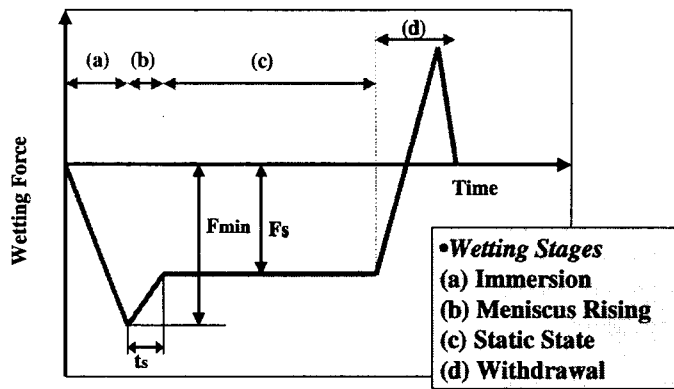


Fig.3. Schematic wetting curve of one-side coated plate and wettability indices

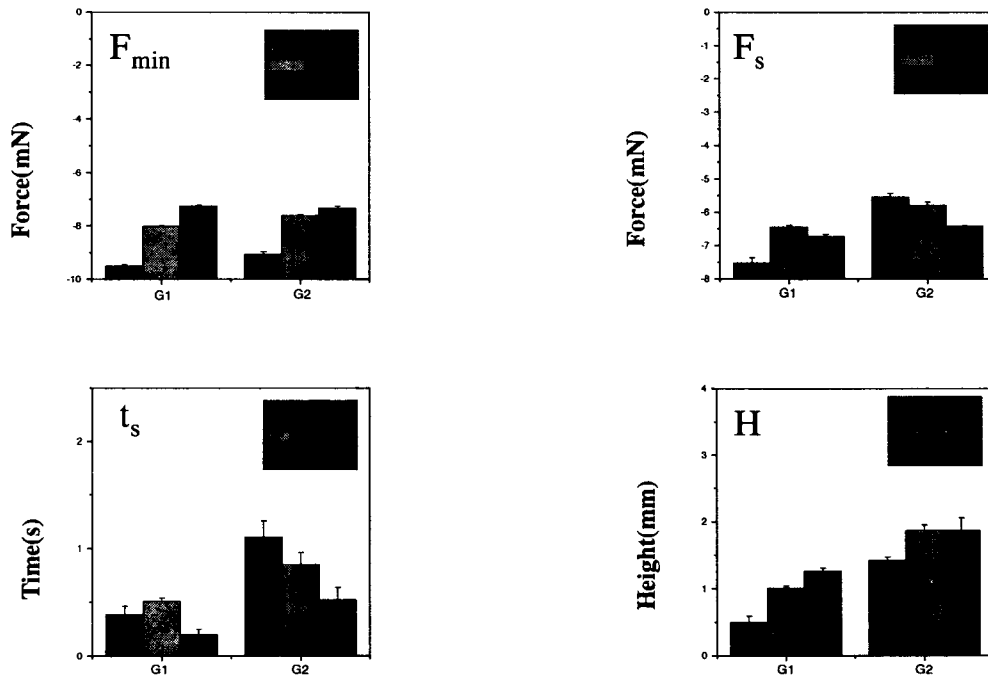


Fig.4. Wettability indices for one-side coated TSM for Sn-Ag Solder

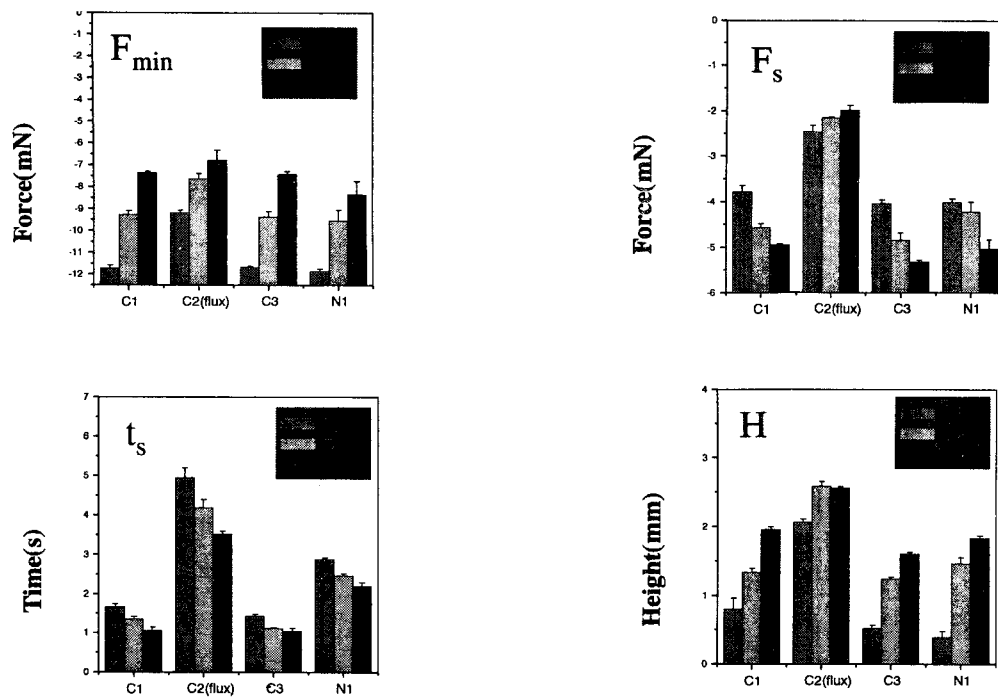


Fig.5. Wettability indices for one-side coated UBM for Sn-Ag Solder

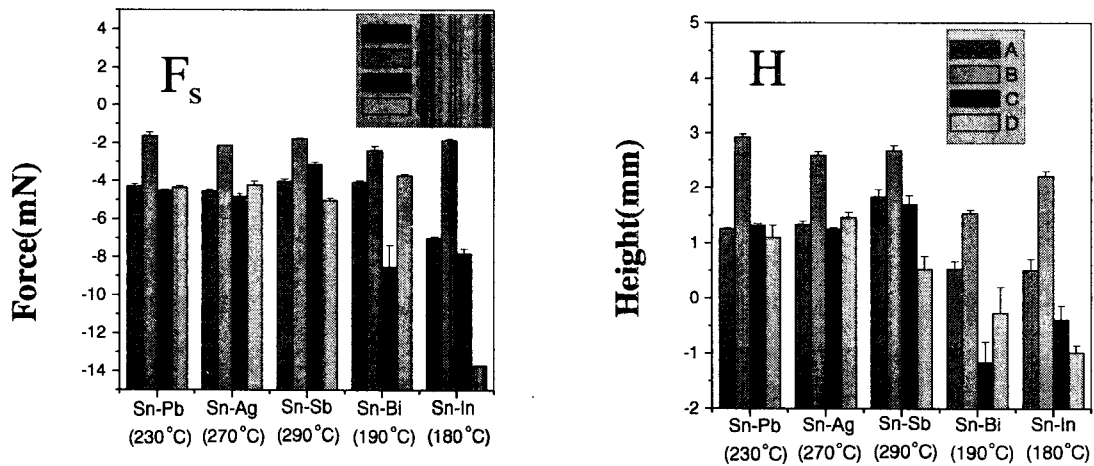


Fig.6.  $F_s$  and  $H$  for lead-free solders  
A-C1, B-C2(flux), C-C3, D-N1

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

Table 1. Thickness of Metal Layers of Glass Substrate

	Wafer1 (C1)	Wafer2 (C2)	Wafer3 (C3)		Wafer4 (N1)
Cr	700 Å	700	700	Ti	700
Cu	1000	5000	5000	Ni	1000
Au	500	0	500	Au	500

Table 2. Thickness of UBM of Si-wafer