

UBM(Under Bump Metallurgy)이 단면 증착된 Si-wafer의 젖음성에 관한 연구

홍순민 · 박재용 · 박창배* · 정재필* · 강춘식

서울대학교 재료공학부
*서울시립대학교 재료공학과

A Study on the Wetting Properties of UBM-coated Si-wafer

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: Si-wafer에 단면 코팅된 UBM(Under Bump Metallurgy)의 젖음성을 Sn-Pb 솔더에서 평가하기 위하여 wetting balance 법을 사용하였다. 단면 코팅된 UBM의 젖음곡선은 양면 코팅된 시편의 젖음곡선과 비교할 때, 젖음곡선의 모양이 비슷하고 젖음곡선을 특징짓는 변수들의 온도에 대한 변화경향이 일치하였다. 단면 코팅된 급속층의 젖음성을 젖음곡선으로부터 정의한 새로운 젖음 지수 F_{min} , F_s , t_s 로 평가할 수 있었다. Au/Cu/Cr UBM은 젖음시간의 측면에서 Au/Ni/Ti UBM보다 젖음성이 우수하였다. Si-wafer에 단면 코팅된 UBM과 Sn-Pb 솔더의 접촉각을 F_s 와 기울어짐각을 측정하고 메니스커스의 정적상태에서 힘의 평형으로부터 유도된 식을 이용하여 계산할 수 있었다.

Abstract: The wetting balance test was performed in an attempt to estimate the wetting properties of the UBM-coated Si-wafer on one side to the Sn-Pb solder. The wetting curves of the one and both side-coated UBM layers had the similar shape and the parameters characterizing the curve shape showed the similar transition tendency to the temperature. The wetting property estimation was possible with the new wettability indices from the wetting curves of one side-coated specimen; F_{min} , F_s , and t_s . For UBM of Si-chip, Au/Cu/Cr UBM was better than Au/Ni/Ti in the point of wetting time. The contact angle of the one side coated Si-plate to the Sn-Pb solder could be calculated from the force balance equation by measuring the static state force and the tilt angle.

Keywords: solder, UBM, wettability, wetting balance test, flip chip

1. 서 론

전자제품의 소형, 고성능화는 전자부품을 기판에 접합하는 실장(packaging)기술의 발달을 필연적으로 요구한다. DIP(Dual In-line Package), SOJ(Small Outline J-legs), QFP(Quad Flat Package) 등의 주변단자실장은 실장밀도의 한계로 인하여 면실장으로 발전하였으며 면실장 기술도 PGA(Pin Grid Array), BGA(Ball Grid Array), flip chip 등 패키지 면적은 줄어드는 반면 입출력 라인은 획기적으로 증가하고 있다.¹⁾ 이 중에서 솔더

범프(solder bump)를 이용한 flip chip 실장기술은 지금까지 개발된 기술 중 실장밀도가 가장 크고 전기적 신호처리 특성이 우수하기 때문에 CSP(Chip Scale Package), μ -BGA의 다음 세대 실장기술로 여겨지고 있다.²⁾ Flip chip 패키지란 소자가 형성되어있는 Si-chip 상에 직경 200 μm 이하의 미세한 솔더 범프를 형성한 후 기판에 직접 실장하는 기술로서 미세한 솔더 범프는 Si-chip과 기판간의 기계적인 접합을 형성함과 동시에 전기적 신호의 입출력 라인 역할과 소자에서 발생하는 열의 방출 통로 구실을 한다.³⁾

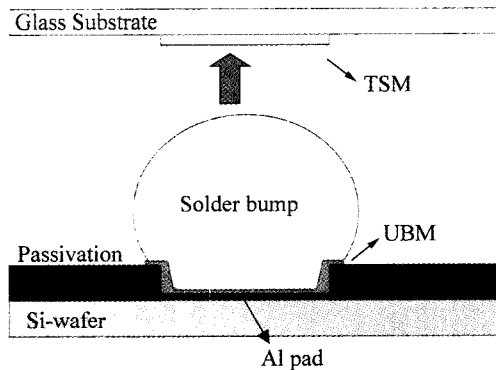


Fig. 1. Si-chip on glass flip-chip bonding system.

Fig. 1은 광전자 공학과 MEMS(Micro Electronic Mechanical System)에 응용되는 flip chip on glass 실장의 개념도를 나타낸다. Si-wafer나 유리기판 자체 그리고 알루미늄 배선층은 솔더에 대하여 젖지 않기 때문에 솔더에 대한 젖음성을 확보하기 위하여 유리기판에 TSM(Top Surface Metallurgy), 실리콘 칩에 UBM(Under Bump Metallurgy)이라는 금속층을 증착한다. TSM층과 UBM층은 솔더와 반응하여 기계적인 접합을 이루는 곳이므로 이 두 층의 솔더에 대한 젖음성은 flip chip 패키지의 전체적인 신뢰성과 매우 밀접한 관계가 있다.⁴⁾

본 연구에서는 신뢰성에 있어서 가정 먼저 고려되어야 하는 사항인 젖음성을 알아보기 위하여 wetting balance 법으로 UBM 증착층의 젖음성을 평가하고자 한다. Wetting balance 법은 globule test, dip test, area of spread test 등 다른 젖음력 평가방법과 비교할 때 실험 결과의 재현성이 뛰어나고 시간에 따른 젖음 특성의 변화를 관찰할 수 있으며 정량적인 분석이 가능하다는 장점이 있다.⁵⁾ 따라서, wetting balance 법을 적용하면 UBM에 대한 젖음성 실험으로 많이 사용되었던 area of spread 법보다 더욱 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다고 판단된다. 솔더뿐만 아니라 솔더와 반응하게 되는 기판의 특성을 wetting balance method를 통하여 평가하려는 시도도 꾸준히 제기되어 왔는데, Cinique와 Morris는 Au-Ni metallization 기판의 특성을 파악하기 위하여 젖음 시간과 젖음력을 도입하였다.⁶⁾ Lee와 Lin은 무전해 Ni 합금판과 솔더와의 젖음 특성을 역시 wetting balance method를 이용하여 평가하였다.⁷⁾ Lin과 Wang은 그들이 개발한 Pb-free solder인 Sn-Zn-Al 계 합금과 metal plated 기판과의 젖음 특성도 wetting balance test로 평가하여 보고하였다.⁸⁾ Tuomien 등은 flip chip 패키지를 fluxless 솔더링 공정에 적용하기에

앞서, 각종 flux의 특성을 평가하는 수단으로 wetting balance를 이용하였다.⁹⁾ Racz *et al.*은 표면마다 특성이 다른 시편의 젖음 특성을 wetting balance를 통해서 어떻게 평가할 것인가에 관한 연구를 발표하였다.¹⁰⁾ 그들은 기존에 발표된 실험결과들을 인용하여 젖음 특성이 좋은 면과 나쁜 면이 공존하는 시편의 경우, 단순히 젖음력의 높고 낮음만으로 젖음 특성을 평가할 수 없으며 이에 대한 연구가 필요하다고 밝히고 있다.

기존의 wetting balance 법을 코팅층에 적용하기 위해서는 금속층을 기판의 양면에 증착해야 한다. 그런데, 기판의 양면에 금속층을 증착할 경우 경제성의 문제를 차지하더라도 두 번의 증착 공정을 거치게 되며, 이때 이전에 증착된 금속층이 후속 증착공정에 의해 영향을 받기 때문에 시편의 양면에 동일한 막질의 코팅층을 얻기가 매우 어려우므로 젖음성 시험에서 데이터의 신뢰도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 기판의 한쪽 면을 비젖음면으로 하고 기판의 단면에만 금속층을 증착한 시편의 Sn-Pb 솔더에 대한 젖음 곡선을 해석하여 젖음성 평가 변수를 새롭게 제시하고 이를 바탕으로 솔더에 대한 UBM층의 젖음 특성을 평가하는 방법을 새롭게 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

솔더로는 Sn-37%Pb 공정조성의 합금을 사용하였다. 용점이 183°C인 Sn-Pb는 210, 230, 250°C에서 각각 젖음실험을 행하였다. Wetting balance tester는 RHESCA SAT-5000을 사용하였으며 침적속도는 5 mm/s, 침적깊이는 3 mm로 고정하였다. Si-wafer로는 양면 연마된 p-type (100) wafer를 선택하였으며 두께는 0.5 mm이다. 시편의 크기는 1 cm×2 cm로 하였다. 플럭스를 사용하지 않을 때 젖음성을 증가시키기 위하여 상온 대기 분위기에서 산화되지 않는 Au층 500 Å을 보호층으로 증착하였다. Si-wafer의 UBM층으로 Au/Cu/Cr(C1, C2, C3) 및 Au/Ni/Ti(N1)의 두 종류의 UBM을 증착하였다. Table 1과 같이 Cu층과 Au층의 두께를 달리하여 이에 따른 젖음 특성을 관찰하였다. 즉, C1과 C3는 Cu층의 두께를 각각 1000 Å 및 5000 Å으로 하여 Cu층의 두께에 따른 솔더의 젖음성의 차이를 관찰하였고, Au 보호층을 증착하지 않은 UBM C2로 무플럭스 하에서 젖음에 대한 Au 보호층의 역할을 알아보려 하였다. 다층막은 E-gun Evaporation법을 사용하여 3.0×10⁻⁸ torr의 진공하에서 금속층을 순차적으로 증착하였다. 젖음 시험 결과 UBM C2는 플럭스를 쓰지 않은 상태에서 Cu층 표면에 형성된 자연 산화막의 영향으로

Table 1. Thickness of metal layers in UBM of Si-wafer

	Wafer 1 (C1)	Wafer 2 (C2)	Wafer 3 (C3)		Wafer 4 (N1)
Au	500 Å	0	500	Au	500
Cu	1000	5000	5000	Ni	1000
Cr	700	700	700	Ti	700

Sn-Pb 솔더에 전혀 젖지 않는 특성을 보였다. 따라서, UBM C2에 대해서는 R-type 플럭스를 적용하여 실험하였다. 또한, UBM C2는 양면 증착 시편도 함께 제작하여 양면 코팅층과 단면 코팅층의 젖음 곡선을 비교하여 단면 코팅층에 대한 젖음시험의 타당성을 조사하고자 하였다. 실험전 시편을 아세톤, 메탄올, 이소프로필알콜의 순서로 각각 5분간 초음파 세척을 하여 시편의 오염물을 제거하고 대기 중에서 건조시킨 후 젖음성 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 양면 및 단면 증착시편의 젖음곡선 비교

Fig. 2는 Cu 기판의 Sn-Pb 솔더에 대한 일반적인 젖음 곡선을 나타내며 Fig. 3은 Si-wafer 표면에 양면 증착된 UBM C2(Cu/Cr, 플럭스 사용)에 대한 Sn-Pb 솔더의 젖음 곡선을 나타낸 것이다. 양면 증착된 시편의 젖음 곡선(Fig. 3)은 Fig. 2에 보인 Cu 기판의 양호한 젖음곡선과 매우 유사한 형태를 나타낸다. 즉, 평형젖음력 (equilibrium wetting force, F_{eq})이 양의 값이고, 젖음 곡선 상에서 침적 완료 후에 곡선이 상승하는 순간의 시간인 젖음개시시간인 t_2 값이 1~2초 정도이며 온도 증가에 따라 이 값은 감소하고 있다. 이 결과로부터

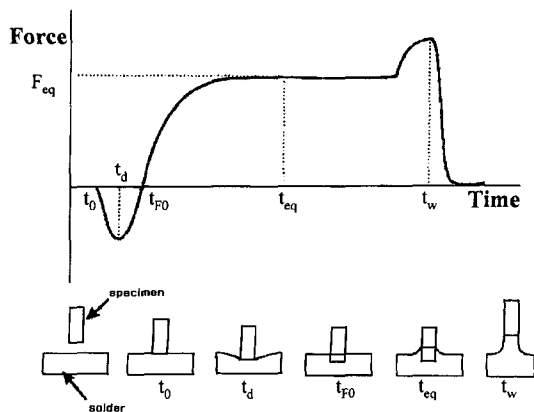


Fig. 2. A typical wetting curve and wettability indices.

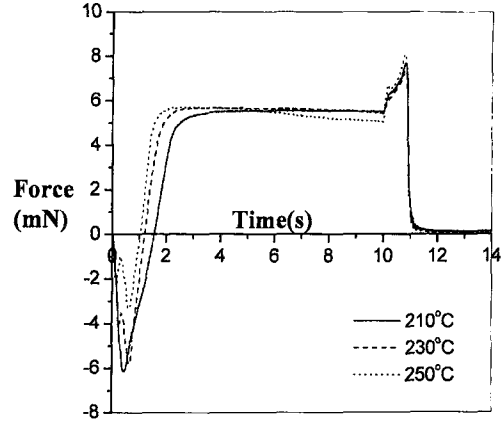


Fig. 3. Wetting curves of both side-coated UBM C2(Cr/Cu) for Sn-Pb solder.

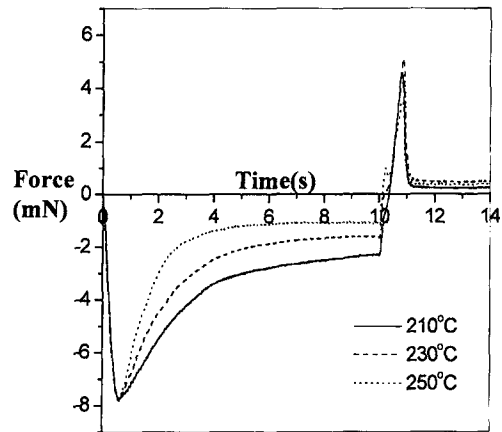


Fig. 4. Wetting curves of one side-coated UBM C2(Cr/Cu) for Sn-Pb solder.

터, 양면 증착된 Si-wafer의 젖음특성을 평가할 때에는 기존의 젖음곡선을 평가할 때 사용하는 젖음시간 (wetting time) 이나 평형젖음력 등 젖음성 평가변수를 그대로 사용할 수 있다.

한편, Fig. 4는 Si-wafer의 한쪽 표면에만 증착된 UBM C2(Cu/Cr, 플럭스 사용)에 대한 Sn-Pb 솔더의 젖음 곡선을 나타낸 것이다. 이 경우에는 젖음곡선이 다소 특이하게 나타난다. 즉, 젖음 개시 시간(t_2)은 양면 증착의 경우와 거의 동일하게 나타나지만, 이후 젖음이 시작되어 젖음력이 증가하다가 계속 증가하지 못하고 F_{eq} 값이 음의 값에 머물고 마는 것이다. 이러한 곡선이 나타나는 이유는, Si-wafer 표면의 단면 증착된 곳에서는 솔더의 젖음이 일어나서 젖음개시 시간이 존재하지만, bare Si-wafer 표면에는 전혀 솔더가 젖지 않는 비젖음 특성을 나타내기 때문에 젖음과 비젖음의 복잡한

작용이 원인인 것으로 생각된다.

그러나, Fig. 4는 전혀 젖음이 일어나지 않아 젖음개시 시간이 나타나지 않는 비젖음(non-wetting)¹¹⁾과는 다소 다른 것으로서 Fig. 3의 양면 증착시편의 젖음곡선과 같이 지수함수의 형상을 가진다. 또한, 비록 F_{eq} 값이 음의 값에 머물고 있지만 젖음곡선의 형태와 변화 경향은 Fig. 3과 유사한 것이다. 즉, Fig. 5 및 6에서 보듯이 양면 및 단면 증착 시편 모두, 온도에 따라 젖음곡선 상에서 젖음력이 최대젖음력의 2/3가 되는 지점에 도달하는 시간인 $t_{2/3}$ 특성시간(characteristic time)이나 최대젖음력(maximum wetting force)의 증가 경향이 대체로 일치한다. 즉, 젖음곡선의 형상을 특징짓는 변수들이 양면 및 단면 시편 모두 온도에 따라서 동일한 변

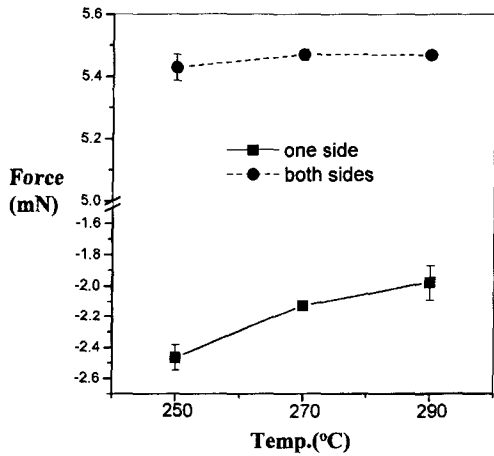


Fig. 5. Maximum wetting Force of UBM C2(Cr/Cu) for Sn-Pb solder.

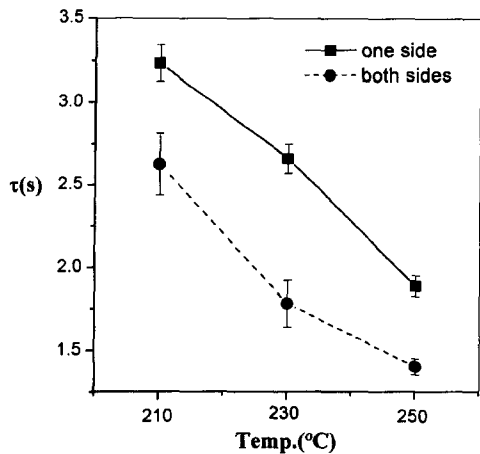


Fig. 6. $t_{2/3}$ characteristic wetting time of UBM C2(Cr/Cu) for Sn-Pb solder.

화 경향을 나타내는 것이다. Lea 는 양면의 젖음 조건이 동일한 시편에서 wetting balance test 평가 방법과 젖음곡선을 통해 젖음곡선에서 도출할 수 있는 젖음성 지수(wettability index)를 열거한 후, 각각의 지수들이 가지는 의미와 실제 젖음 특성과의 관계를 설명하였다.¹²⁾ 본 연구에서도 마찬가지로, 단면 증착 시편의 경우, 증착되지 않은 Si면 때문에 젖음력이 음의 영역에서 형성된 곡선을 나타내었지만, 이에 대해서도 적절한 젖음성 평가 변수를 택한다면 그 젖음성을 평가할 수 있을 것이라고 판단된다.

3.2 단면 증착 UBM의 젖음곡선 특성화

Fig. 7은 UBM이 단면 증착된 Si-wafer의 전형적인 젖음곡선으로부터 추출한 젖음곡선의 모식도이다. 이 모식도에서 젖음 과정은 시편이 침적되는 단계(a), 젖음이 이루어져 솔더의 메니스커스(meniscus)가 상승하는 단계(b), 메니스커스가 평형상태에 이르러 정적으로 유지되는 단계(c), 시편을 솔더 용탕에서 인출하는 단계(d)의 4 단계로 나눌 수 있다. 각 단계에 이르는 시간과 힘을 고려하여 젖음의 속도와 젖음의 정도를 판단할 수 있는 젖음성 평가 지수를 정의할 수 있다.

단면 코팅 시편의 젖음성을 평가하기 위해, 모식도에서 F_{min} (minimum wetting force), F_s (static wetting force), t_s (time to static state)를 젖음특성의 평가 기준으로 삼아 보았다. 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 메니스커스의 상승이 이루어지는 시간간으로서 물리·화학적인 젖음 속도 즉, 메니스커스

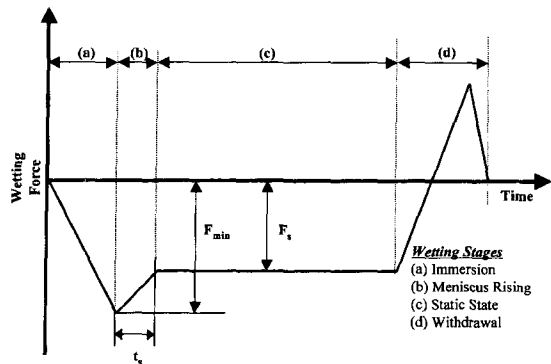


Fig. 7. A schematic wetting curve of one side coated plate and wettability indices.

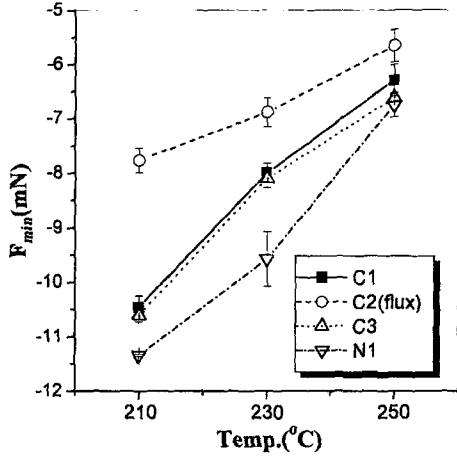


Fig. 8. Minimum wetting force(F_{min}) of UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb solder.

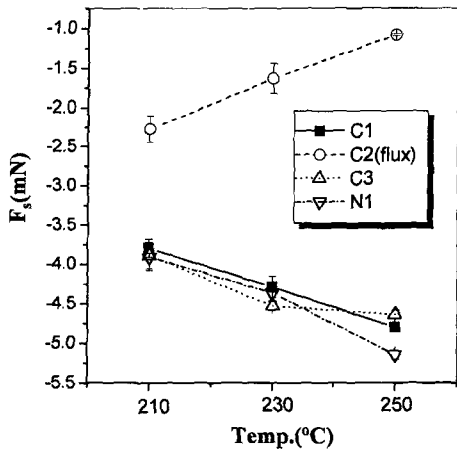


Fig. 9. Static state wetting force(F_s) of UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb solder.

의 상승시간 및 솔더와 UBM의 반응 속도를 반영하는 젖음성 평가 지수이며, 양면 증착시편의 젖음 시간과 유사성을 갖는 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 젖음곡선상에서 F_{min} 과 F_s 는 음의 값을 가지므로 절대값이 작을 수록 젖음성이 우수하다고 할 수 있다. 젖음곡선 상의 젖음성 평가 지수 이외에 젖음 시편으로부터 메니스커스의 상승 높이 (meniscus rise) H 를 측정하여 젖음곡선 상에서 제시한 3가지 지수와 함께 젖음력 평가에 사용하였다.

3.3 단면 증착 UBM의 젖음성

단면 증착된 UBM의 종류와 납조 온도 변화시, Si-wafer에 대한 F_{min} 값의 변화를 Fig. 8에 도시하였다. F_{min} 값은 납조 온도증가에 따라 증가하였으며, UBM 종류에 대하여는 C2, C1, C3, N1순으로 높은 값을 나타내었다. C2의 경우, F_{min} 값이 가장 큰 것으로부터 플럭스를 사용하는 것이 플럭스를 사용하지 않은 경우보다 비젖음력이 작아서 젖음성 측면에서 유리함을 알 수 있다. 그러나, C1과 C3의 경우는 F_{min} 값이 비슷하여, Sn-37Pb 솔더를 사용할 때 C1 (Cu층 두께 1000 Å), C3 (Cu층 두께 5000 Å) 즉, Cu층의 두께가 F_{min} 에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다. 바꿔 말하면, 시편의 침적이 완료된 후 시편에 가해지는 젖음력에 미치는 Cu층의 두께의 영향은 작다고 할 수 있다. 한편, C1(Au/Cu/Cr층)과 N1(Au/Ni/Ti층)을 비교하면, C1의 경우가 N1보다 F_{min} 의 값이 큰 것을 관찰할 수 있다. 따라서, UBM의 젖음성 측면에서 Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층보다 젖음성 면에서 유리하다고 할 수 있을 것이다.

Fig. 9는 F_s (static wetting force)값의 변화를 보인 것이다. C2의 경우, F_s 값이 가장 큰 것으로부터 플럭스를 사용하는 것이 플럭스를 사용하지 않은 경우보다 솔더의 젖음력이 커서 젖음성 측면에서 유리함을 알 수 있다. 또, C1, C3, N1의 F_s 값은 미세한 차이는 있으나, 그 값이 대체로 비슷함을 알 수 있다. 따라서, Cu층의 두께 차이나 Au/Cu/Cr층 대신 Au/Ni/Ti층을 UBM으로 사용하여도 이들이 젖음의 정도 즉, F_s 값에 미치는 영향은 작음을 알 수 있다.

단면 증착된 Si-wafer에 대한 t_s (time to static state) 값의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 온도 증가에 따라

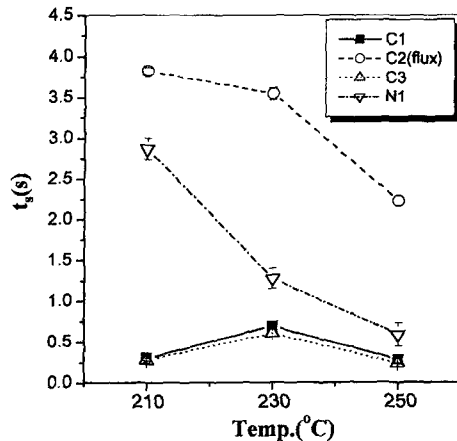


Fig. 10. Time to static state(t_s) of UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb solder.

대체로 t_s 값이 짧아졌으나, C1과 C3의 t_s 값은 거의 비슷하여 Cu층의 두께의 영향이 작다고 할 수 있다. C1과 C3의 t_s 값이 N1보다 짧은 것으로부터, Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층보다 작업성 면에서 유리하다고 할 수 있을 것이다. 이러한 사실은 솔더 메니스커스의 상승높이, H와 관련지어 고찰할 수 있다. 즉, Fig. 11의 H(meniscus rise) 값을 비교해 보면, Sn-Pb 솔더의 일반적인 솔더링 온도인 230°C에서 C1과 N1의 경우 솔더 메니스커스가 거의 비슷한 높이로 상승했음(비슷한 H값)을 알 수 있다. 따라서 거의 동일한 높이로 솔더의 상승이 나타났

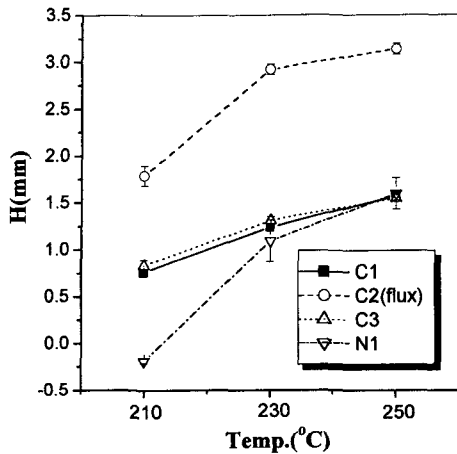


Fig. 11. Meniscus height(H) of UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb solder.

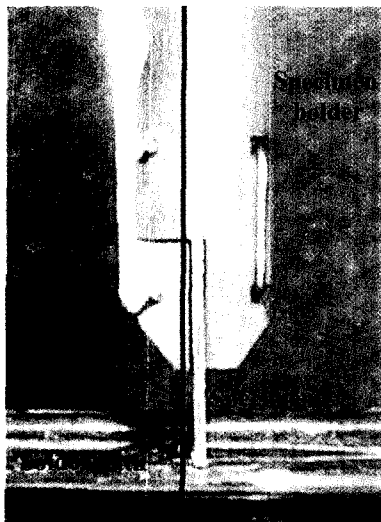


Fig. 12. Specimen tilting due to the wettability difference between both sides (Sn-Pb, 250°C Cr/Cu).

음에도 불구하고 N1이 C1보다 긴 t_s 값을 갖는다는 것은 N1에서 솔더의 젖음과정 자체가 C1보다 느리게 일어난다는 사실을 의미한다. C1과 C3의 경우는 상승높이 H값의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 한편, Fig. 11에서 플럭스를 사용한 UBM C2는 플럭스를 사용하지 않은 C1, C3, N1 UBM보다 월등히 높은 메니스커스의 상승을 나타내었으며 이것은 바로 오랜 시간 동안의 메니스커스의 상승(Fig. 10)으로 반영됨을 관찰 할 수 있다. 따라서, 플럭스를 사용하는 경우 젖음 시간보다는 젖음 정도의 측면에서 더욱 유리함을 알 수 있다. 이상의 결과를 정리하면, UBM내 Cu층의 두께가 젖음성에 미치는 영향은 그리 크지 않으며, Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층보다 젖음성이 양호함을 알 수 있다. 플럭스를 사용한 UBM C2는 Au층을 보호층으로 사용할 때보다 높은 메니스커스의 상승을 보였다. 따라서, 플럭스를 사용하지 않을 때, 솔더와 기판간의 젖음력을 충분히 확보하기 위해서는 솔더 및 기판의 산화막 제거를 위한 다른 공정, 예컨대, 플라즈마¹³⁾ 혹은 레이저 처리,¹⁴⁾ 비활성 분위기의 유지¹⁵⁾ 등의 처리가 필요하다고 생각된다.

3.4 F_s 및 접촉각

Wetting balance 법을 이용하여 UBM이 단면 증착된 Si-wafer의 젖음성 시험시에 젖음시편의 상태를 도식화하여, Fig. 9에서 보인 F_s 값을 측정하여 그 물리적인 의미의 해석을 시도하고, 아울러 솔더와 시편의 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. Vianco는 양쪽 표면상태에 차이가 있는 경우, 시편이 수직하게 서 있지 못하고 기울어지게 되므로, 이러한 경우 기울어진 각도를 계산할 수 있는 방안을 제시하였다.¹⁶⁾ 실제로 본 연구에서 Fig. 12과 같이 단면증착 시편이 약 1~5° 정도 기울어짐을 관찰할 수 있었다. 이러한 이유로 단면 증착된 시편의 젖음 곡선은 양면 코팅 시편과 다른 특성을 보이게 되는 것이다. 젖음층이 단면증착된 시편의 기울어짐 효과를 고찰하기 위하여 솔더와 평형을 이루고 있는 메니스커스의 형상을 Fig. 13과 같이 고려하였다. 젖음력의 해석시에 시편의 기울어짐 효과의 보정에 대한 논의는 별도의 논문에 전개되어 있다.¹⁷⁾

시편에 작용하는 F_s 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_s = F_m + F_n + F_b \quad (1)$$

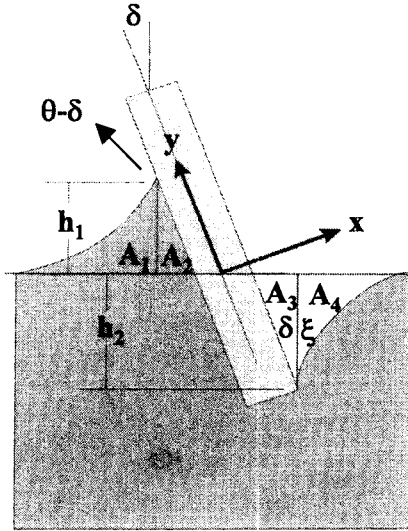


Fig. 13. Meniscus shape of one side-coated specimen considered to calculate the static state wetting force(F_s).

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 솔더, 기판, 대기의 삼중점에서 솔더와 기판이 이루는 접촉각은 항상 일정하다. 둘째, 솔더 메니스커스의 형태는 라플라스의 식을 따른다. 위와 같은 두 가지 가정 하에서 메니스커스의 부피를 계산하여 다음과 같은 최종적인 F_s 의 식을 구할 수 있다.

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

단, w 는 젖음 시편의 폭, γ 는 솔더의 표면장력, θ 는 접촉각, δ 는 기울어짐각(tilt angle), ξ 는 초기접촉각, ρ 는 솔더의 밀도, V 는 시편의 침적 부피를 나타낸다. 식 (2)로부터, F_s 는 접촉각 θ 와 기울어짐각 δ 의 함수로 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 한편, 접촉각을 젖음성 시험시 직접 측정하는 것은 오차를 유발하기 쉬우므로, 비교적 용이하게 측정 가능한 δ 와 F_s 를 측정하여 식 (2)로부터 수치적인 방법, 혹은 그래프를 이용한 방법으로 접촉각을 계산할 수 있다.

Table 2에 Sn-37Pb(230°C)의 UBM 종류에 따른 계산된 접촉각 θ 를 나타내었다. 문헌에 의하면 RMA-type 플럭스를 사용한 경우에 200°C에서 Sn-37Pb 솔더와 Cu 기판의 접촉각이 약 11° 임이 보고되었다.¹⁸⁾ 이

Table 2. Contact angles of UBM for Sn-Pb solder in air

	C1	C2 (flux)	C3	N1
SnPb (230°C)	59.9°	15.8°	60.9°	63.0°

것을 Table 2의 230°C Sn-37Pb 솔더와 C2(Au/Cr/Cu) UBM과의 계산된 접촉각 15.8° (R-type 플럭스를 사용)를 비교해보면, 어느 정도 계산 값이 적합함을 알 수 있다. 보다 신뢰성 있는 접촉각 값을 얻기 위해서는 더 많은 데이터의 비교·검토가 필요하다. 단면 코팅층의 젖음 곡선의 해석 및 새로운 젖음성 평가 지수를 바탕으로 한 젖음성 평가방법은 area of spread 법보다 재현성이 우수하고 자료의 정량화가 유리할 뿐만 아니라 젖음 곡선의 해석을 통한 여러 가지 정보를 얻을 수 있기 때문에 앞으로 개발될 새로운 UBM이나 TSM 등 금속층의 젖음 특성을 평가할 때 광범위하게 활용될 수 있을 것이라고 생각된다.

4. 결 론

UBM이 증착된 Si-wafer에 대한 무플럭스 하에서의 젖음성 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 단면 코팅 시편의 젖음 곡선은 양면 코팅 시편과 다른 특징을 나타내며 젖음 거동의 해석을 위한 새로운 매개변수 F_{min} , F_s , t_s 를 도입하여 UBM 층의 젖음 특성을 평가할 수 있었다.

(2) UBM이 증착된 Si-wafer에 대한 Sn-Pb 솔더의 젖음성 시험에서 Au/Cu/Cr계 UBM은 Au/Ni/Ti UBM보다 젖음시간의 측면에서 젖음성이 보다 우수하였다. 또한, Au/Cu/Cr UBM의 젖음성 실험 결과, Sn-Pb 솔더에서는 Cu층의 두께(1000 Å, 5000 Å)에 대하여 유의할 만한 젖음성의 차이를 보이지 않았다.

(3) 단면 코팅된 시편이 이루는 메니스커스를 고려하여 F_s 값에 대한 식을 세워 UBM 층과 솔더가 이루는 접촉각을 계산할 수 있다.

5. 후 기

본 논문은 1999년도 과학기술부의 연구비 지원 하에 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. The International Technology Roadmap for Semi-

- conductors: 1999 edition-Assembly and Packaging, p. 224, (1999).
2. Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planning, Demand, "Demand for development of industrial technology towards year 2000," vol. 23, p. 139, (1996).
 3. Lau ed., Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York, p. 123, (1995).
 4. 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).
 5. R. J. Wassink, Soldering in Electronics, Electrochemical Publication, Oxen, pp. 300-330, (1989).
 6. R. B. Ciniq and J.W. Morris, "The Effect of Gold-Nickel Metallization Microstructure on Fluxless Soldering," JEM, Vol. 23, No. 6, pp. 533-539, (1994).
 7. C. Y. Lee and K.L. Lin, "Solderability of Electroless Nickel Alloys Using Wetting Balance Technique," Jpn. J. Appl. Phys. V. 33, pp. 4078-4713, (1994).
 8. K. L. Lin and Y.C. Wang, "Wetting Interaction of Pb-free Sn-Zn-Al Solders on Metal Plated Substrate," JEM, V. 27, No. 11, pp. 1205-1209, (1998).
 9. A. Tumoinen, E. Ristolainen and V. Lehtinen, "Qualification of flip chip fluxes by wetting balance and surface insulation resistance tests," Soldering & Surface Mount Technology, 11, pp.21-26, (1999).
 10. L. M. Racz and J. Szekely, "An Analysis of the Applicability of Wetting Balance Measurements of Components with Dissimilar Surfaces," EEP-vol. 4-2, Advances in Electronic Packaging, pp.1103-1111, (1993).
 11. A. D. Roming *et al.*, "Physical metallurgy of the solder-substrate reactions," Solder Mechanics ed. by D.R.Frear *et al.*, p.36, TMS, (1990).
 12. C. Lea and W. A. Dench, "Quantitative Solderability Measurement of Electronic Components Part 2: An Index of Solderability," Soldering & Surface Mount Technology, No. 4, Feb., pp. 14-22, (1990).
 13. Masahiko *et al.*, Proc. of Electronic Components and Technology Conference, p. 408-414, (1999).
 14. W. Moeller and D. Knoedler, Verbindungstechnik in der Elekttronik, March 1992, pp. 14-18.
 15. Wei Lin and Y. C. Lee, IEEE Transactions on Advanced Packaging, vol. 22 No. 4, pp. 592-601, (1999).
 16. P. T. Vianco, "An Overview of the Measurements," The Metal Science of Joining, TMS, pp. 265-284, (1992).
 17. 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).
 18. H. K. Kim, H. K. Liou, and K. N. Tu, J. Mater. Res., Vol. 10, p. 497, (1995).