



UBM이 단면 증착된 Si-wafer에 대한 Pb-free 솔더의 무플럭스 젖음 특성

홍순민* · 박재용* · 김문일** · 정재필** · 강춘식*

*서울대학교 재료공학부

**서울시립대학교 재료공학과

The Fluxless Wetting Properties of UBM-Coated Si-Wafer to the Pb-Free Solders

Soon-Min Hong*, Jae-Yong Park*, Moon Il Kim**, Jae-Pil Jung** and Choon-sik Kang*

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

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

Abstract

The fluxless wetting properties of UBM-coated Si-wafer to the binary lead-free solders(Sn-Ag, Sn-Sb, Sn-In, Sn-Bi) were estimated by wetting balance method. With the new wettability indices from the wetting curves of one side coated specimen, the wetting property estimation of UBM-coated Si-wafer was possible. For UBM of Si-chip, Au/Cu/Cr UBM was better than Au/Ni/Ti in the point of wetting time. At general reflow process temperature, the wettability of high melting point solders(Sn-Sb, Sn-Ag) was better than that of low melting point ones(Sn-Bi, Sn-In). The contact angle of the one side coated Si-plate to the solder could be calculated from the force balance equation by measuring the static state force and the tilt angle.

(Received July 6, 2000)

Key Words : Pb-free solder, UBM, Wettability, Wetting balance test, Fluxless soldering

1. 서 론

플립칩(flip chip) 실장기술은 현재까지 개발된 실장 방법 중 실장밀도가 가장 높고 전기신호 처리특성이 뛰어나므로 CSP나 μ -BGA의 다음 세대 기술로 인정받고 있다¹⁾. Fig. 1은 광전자 공학과 MEMS(Micro Electronic Mechanical System)에 응용되는 flip chip on glass 실장의 개념도를 나타낸다. Chip on glass공정에서 플럭스의 사용은 잔류 플럭스에 의한 부식으로 인한 신뢰성 저하의 문제뿐만 아니라 광학적 응용에 있어서 에미터(emitter) 혹은 수신기(receiver) 광신호의 경로를 편향시키거나 강도를 약화시키기 때문에, 최근 환경에 대한 관심 증가와 더불어 플럭스를 사용하지 않는 패키징 방법에 대한 연구

가 활발하게 진행되고 있다²⁾. 플럭스를 사용하지 않는 경우 Si-wafer나 유리기판 자체 그리고 알루미늄 배선층은 솔더에 대하여 젖지 않기 때문에 솔더에 대한 젖음을 확보하기 위하여 유리기판에는 TSM(Top Surface Metallurgy), Si-칩에는 UBM(Under

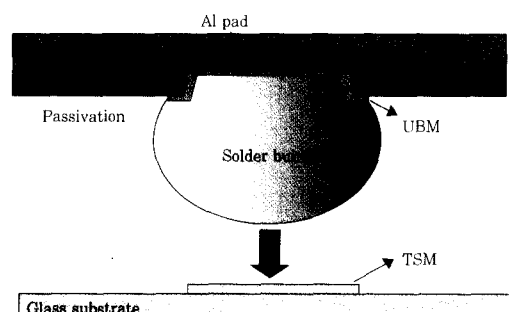


Fig. 1 Si-chip on glass flip-chip bonding system

Bump Metallurgy)이라는 금속층을 증착한다. UBM 층과 TSM층은 솔더와 반응하여 기계적인 접합을 이루는 곳이므로 이 두 층의 솔더에 대한 젖음성은 flip chip 패키지의 전체적인 신뢰성과도 매우 밀접한 관계가 있다³⁾.

한편, 1990년대 초반 납의 인체에 대한 유해성이 제기되면서 Sn을 기반으로한 Pb-free 솔더에 대한 연구가 활발하게 진행되었다. 하지만, Sn-Pb 솔더의 작업성과 신뢰성에 필적할 만한 Pb-free 솔더를 찾기 어려웠고 기존 Sn-Pb 솔더에 맞추어 젖던 생산라인을 Pb-free 솔더용으로 교체하는데 드는 엄청난 비용은 환경보호를 위한 법적 규제에도 불구하고 Pb-free 솔더로의 전격적인 교체가 유보되고 있는 실정이다. 그러나 1990년대 말에 들어와 일본, 유럽 등지의 전자제품 생산 기업들 간의 이른바 green marketing 경쟁이 활발해지면서 관주도의 규제보다는 소비자에게 보다 환경친화적인 제품을 제공하고자 하는 민간 기업 간의 경쟁이 구동력으로 작용하여 Pb-free 솔더에 대한 연구가 다시 활발하게 진행되고 있는 실정이다⁴⁾.

본 연구에서는 wetting balance법으로 UBM 증착층의 Pb-free solder에 대한 젖음성을 평가하고자 한다. Wetting balance 법은 globule test, dip test, area of spread test 등 다른 젖음력 평가방법과 비교할 때 실험결과와 재현성이 뛰어나고 시간에 따른 젖음 특성의 변화를 관찰할 수 있으며 정량적인 분석이 가능하다는 장점이 있다⁵⁾. 솔더뿐만 아니라 솔더와 반응하게 되는 기판의 특성을 wetting balance method를 통하여 평가하려는 시도가, Cinique⁶⁾와 Lee⁷⁾ 등에 의해 꾸준히 제기되어 왔는다. 기존의 wetting balance법을 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.

Fig. 2는 양면 증착 시편과 단면 증착 시편이 솔더 bath에 담긴 상태의 메니스커스(meniscus) 모습을 각각 나타낸다. 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. 따라서 단면 증착된 시편의 젖음 곡선은 양면 코팅 시편과 다른 특성을 보이게 된다. Racz et

al.은 표면마다 특성이 다른 시편의 젖음 특성을 기존에 발표된 실험결과들을 인용하여 wetting balance를 통해서 젖음 특성이 좋은 면과 나쁜 면이 공존하는 시편의 경우, 단순히 젖음력의 높고 낮음만으로 젖음 특성을 평가할 수 없으며 이에 대한 연구가 필요하다고 밝히고 있다.⁸⁾

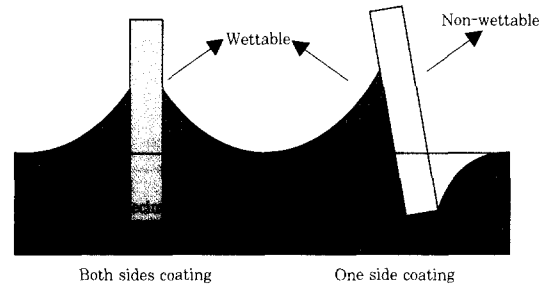


Fig. 2 Meniscus shape of one and both side-coated specimens

따라서, 본 연구에서는 기판의 한쪽 면을 비젖음면으로 하고 기판의 단면에만 금속층을 증착한 시편에 대하여 젖음 곡선을 해석하여 젖음성 평가 변수를 새롭게 제시하고 이를 바탕으로 Pb-free 솔더에 대한 UBM층의 무플렉스하에서의 젖음 특성을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

Si-wafer는 양면 연마된 p-type (100) wafer를 선택하였으며 두께는 0.5mm이다. 시편은 1cm×2cm의 크기로 하였다. 플렉스를 사용하지 않을 때 젖음성을 향상시키기 위하여 상온 대기분위에서 산화되지 않는 Au층 500Å을 보호층으로 증착하였다. Si-wafer의 UBM층으로는 Table 1과 같이 Au/Cu/Cr 및 Au/Ni/Ti의 두 종류의 UBM을 증착하였다. 다층막은 E-gun Evaporation법을 사용하여 3.0×10^{-8} torr의 진공하에서 금속층을 순차적으로 증착하였다.

UBM C2는 무플렉스 상태에서 솔더가 전혀 젖지 않는 특성을 보여 R-type 플렉스를 적용하였으며, 양면 증착시편도 함께 제작하여 양면코팅층과 단면 코팅층의 젖음 곡선을 비교하였다. 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 5mm/s, 침적깊이는 3mm로 고정하였다. 실험전 시편을 아세톤, 메탄올, 이소프로필 알콜의 순서로 각각 5분간 초

Table 1 Thickness of the metal layers in the UBM of Si-wafer(unit: Å)

| | Au | Cu | Cr | Ni | Ti |
|------------|-----|-------|-----|-------|-----|
| Wafer1(C1) | 500 | 1,000 | 700 | - | - |
| Wafer2(C2) | - | 5,000 | 700 | - | - |
| Wafer3(C3) | 500 | 5,000 | 700 | - | - |
| Wafer4(C4) | 500 | - | - | 1,000 | 700 |

Table 2 Wetting test temperature of each solder

| Solders | Melting point(°C) | Test temperature(°C) | | |
|----------|-------------------|----------------------|-----|-----|
| | | 210 | 230 | 250 |
| 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 |

음파 세척을 하여 시편의 오염물을 제거한 후 대기 중에서 건조시킨 후 젖음성 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 양면 및 단면 증착시편의 젖음곡선 비교

Fig. 3은 Cu 기판의 Sn-Ag 솔더에서의 일반적인 젖음 곡선을 나타내며 Fig. 4는 Si-wafer 표면에 양면 증착된 UBM C2에 대한 Sn-Ag 솔더의 젖음 곡선을 나타낸 것이다. 양면 증착된 시편의 젖음 곡선(Fig. 4)은 Fig. 3에 보인 Cu 기판의 양호한 젖음곡선과 매우 유사한 형태를 나타낸다. 즉, 평형젖음력(equilibrium wetting force, F_{eq})이 양의 값이고, 젖음곡선 상에서 침적 완료 후에 곡선이 상승하는 순간의 시간인 젖음개시시간, t_2 값이 1~2초 정도이며 온도 증가에 따라 이 값은 감소하고 있다. 이 결과로부터, 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. 5는 Si-wafer에 단면 증착된 UBM C2에 대한 Sn-Ag 솔더의 젖음 곡선을 나타낸 것이다.

이 경우에는 젖음곡선이 다소 특이하게 나타난다.

즉, 젖음 개시 시간(t_2)은 양면 증착의 경우와 거의 동

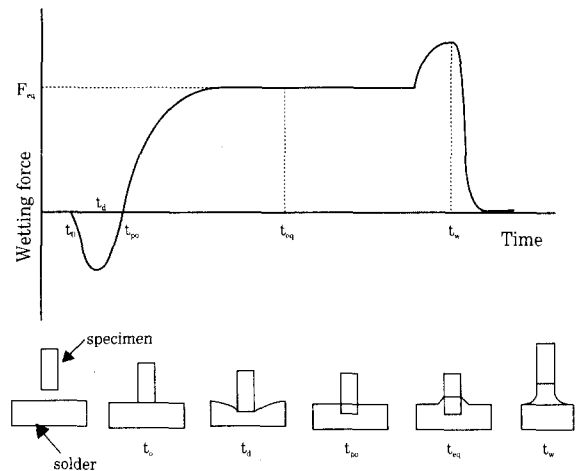


Fig. 3 A typical wetting curve and wettability indices

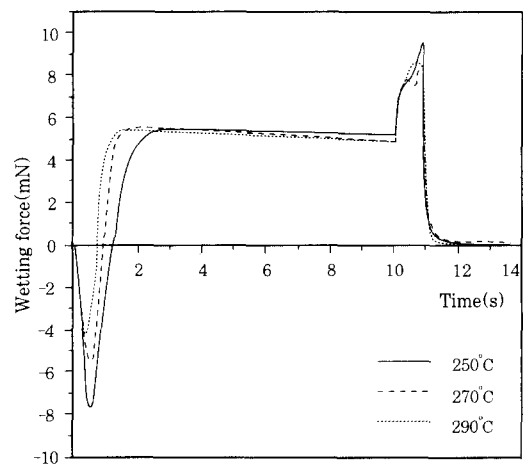


Fig. 4 Wetting curves of the both side-coated UBM C2 for the Sn-Ag solder

일하게 나타나지만, 이후 젖음이 시작되어 젖음력이 증가하다가 계속 증가하지 못하고 F_{eq} 값이 음의 값에 머물고 마는 것이다. 이러한 곡선이 나타나는 이유는, Si-wafer 표면에 단면 증착된 곳에서는 솔더의 젖음이 일어나서 젖음개시 시간이 존재하지만, 증착이 안된 Si-wafer 표면에는 전혀 솔더가 젖지 않는 비젖음 특성을 나타내기 때문에 젖음과 비젖음의 복합적 작용이 원인인 것으로 생각된다. 한편 Fig. 5의 290°C 단면 증착 시편에서 5초 이후에 젖음력이 급격히 감소한 이유 솔더와 반응한 Cu층이 떨어져 나갔기 때문이다.

Fig. 5는 전혀 젖음이 일어나지 않아 젖음개시 시간이 나타나지 않는 비젖음(non-wetting)⁹⁾ 과는 다소 다른 것으로서 Fig. 4의 양면 증착시편의 젖음곡선과 같이 지수함수의 형상을 가진다. 또한, 비록 F_{eq} 값이 음의 값에 머물고 있지만 젖음곡선의 형태와 변화 경향은 Fig. 4와 유사한 것이다. 즉, Fig. 6 및 Fig. 7에서

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 변화 경향을 나타내는 것이다. Lea는 양면의 젖음 조건이 동일한 시편에서 wetting balance test 평가 방법과 젖음 곡선을 통해 젖음곡선에서 도출할 수 있는 젖음성 지수(wettability index)를 열거한 후, 각각의 지수들이 가지는 의미와 실제 젖음 특성과의 관계를 설명하였다¹⁰⁾. 본 연구에서도 마찬가지로, 단면 증착 시편의 경우, 증착되지 않은 Si면 때문

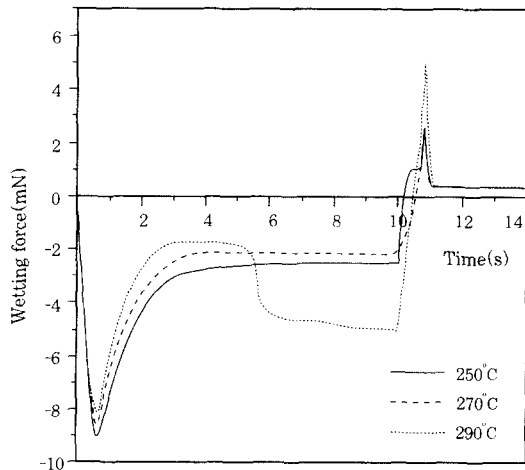


Fig. 5 Wetting curves of the one side-coated UBM C₂ for the Sn-Ag solder

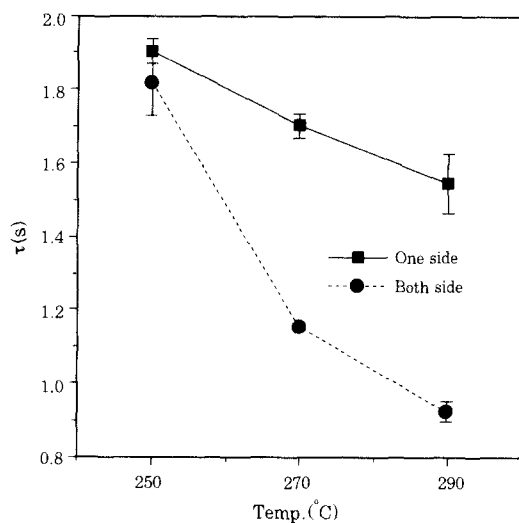


Fig. 6 t_c characteristic wetting time of the UBM C₂ for the Sn-Ag solder

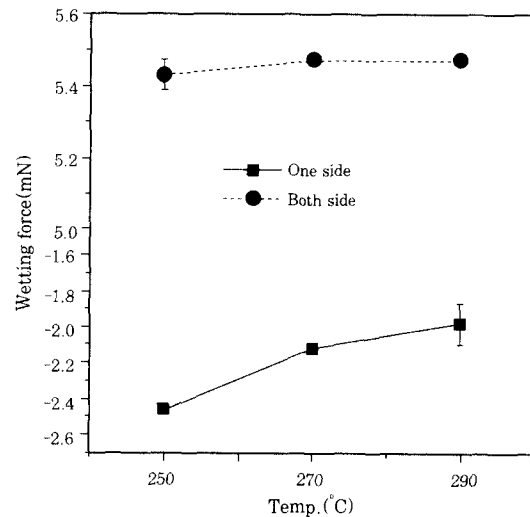


Fig. 7 Maximum wetting force of the UBM C₂ for the Sn-Ag solder

에 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 젖음성 평가지수

Fig. 8은 UBM이 단면 증착된 Si-wafer의 전형적인 젖음곡선으로부터 추출한 젖음곡선의 모식도이다.

이 모식도에서 젖음 과정은 시편이 침적되는 단계(a), 젖음이 이루어져 솔더의 메니스커스가 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 힘의 함수로서 젖음의 속도와 젖음의 정도를 판단할 수 있는 젖음성 평가 지수를 정의할 수 있다.

단면 증착 시편의 젖음성을 평가하기 위해, 모식도에서 최소젖음력 F_{min} , 정상상태 젖음력 F_s , 정상젖음력까지의 시간 t_s 를 젖음특성의 평가의 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 말할 수 있다. t_s 는 솔더의 젖음 개시와 함께 메니스커스의 상승이 이루어지는 시간으로서 물리·화학적 젖음 속도 즉, 메니스커스의 상승시간 및 솔더와 UBM의 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 나

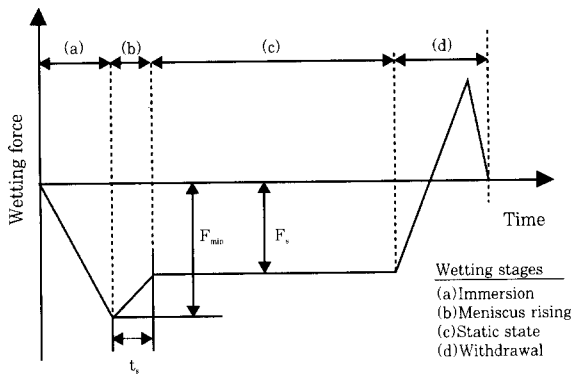


Fig. 8 A schematic wetting curve of the one side coated plate and wettability indices

타내는 지수이며, 기존의 평형젖음력과 밀접한 관계 갖는 지수이다. 단면증착 시편의 젖음곡선상에서 F_{min} 과 F_s 는 음의 값을 가지므로 절대값이 작을 수록 젖음 성이 우수하다고 할 수 있다. 젖음곡선 상의 젖음성 평가지수 이외에 젖음 시편으로부터 메니스커스의 상승 높이 H를 측정하여 젖음곡선 상에서 제시한 3가지 지 수와 함께 젖음력 평가에 사용하였다.

3.3 단면 증착 UBM의 젖음성 평가

본 연구에서 UBM층의 젖음 특성은 Pb-free 솔더에 따라서 대체적으로 비슷한 경향을 나타내었으며 본 논문에서는 Sn-Ag 솔더를 중심으로 설명하고자 한다.

단면 증착된 UBM의 종류와 Sn-Ag 납조 온도의 변화시, Si-wafer에 대한 F_{min} 값 변화를 Fig. 9에 도시 하였다. 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 작으므로 젖음성 측면에서 유리함을 알 수 있다. 그러나, C1, C3의 경우는 F_{min} 값이 비슷하여, Sn-Ag 솔더를 사용할 때 Cu층의 두께가 F_{min} 에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다. 즉, 시편의 침적이 완료된 후 시편에 가해지는 젖음력에 미치는 Cu층의 두께의 영향은 작다고 할 수 있다. 한편, C1과 N1을 비교하면, 250℃에서 C1과N1의 F_{min} 값이 오차범위 안에 있지만 온도가 증가할수록 C1의 경우가 N1보다 F_{min} 의 값이 커지는 것을 관찰할 수 있다.

따라서, Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층 보다 젖음성 면에서 유리하다고 할 수 있다. Fig. 10은 F_s (static wetting force)값의 변화를 나타낸 것이다. C2의 경우, F_s 값이 가장 큰 것으로부터 플럭스를 사용하는 것이 플럭스를 사용하지 않은 경우보다 솔더의 젖음력이

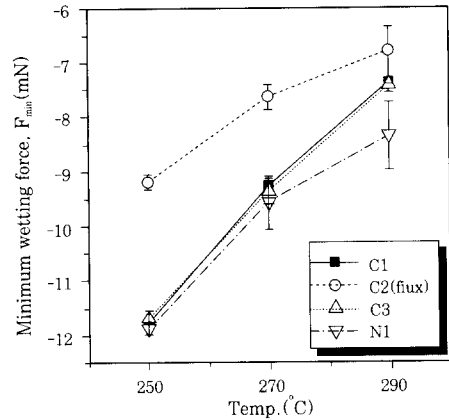


Fig. 9 Minimum wetting force(F_{min}) of the UBM-coated Si-wafer to the Sn-Ag solder

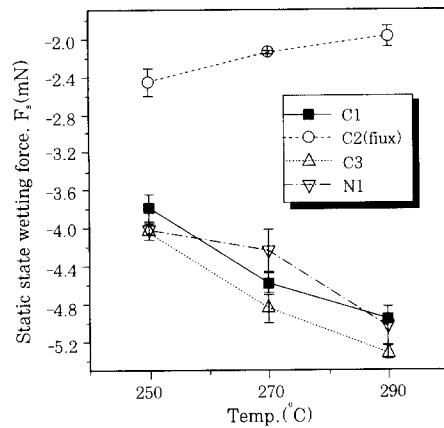


Fig. 10 Static state wetting force(F_s) of the UBM-coated Si-wafer to the Sn-Ag solder

커서 젖음성 측면에서 유리함을 알 수 있다. 또, C1의 값이 C3보다 크기 때문에 젖음에 유리하다고 판단된다. C1과 N1을 비교하면 Sn-Ag 솔더에 대하여 F_s 값의 미세한 차이는 있으나, 그 값이 대체로 비슷함을 알 수 있다. 따라서, Au/Cu/Cr층 대신 Au/Ni/Ti층을 UBM으로 사용하여도 젖음 정도에 있어서 어떤 것이 유리한지 판단하기 쉽지 않다. 그러나 Fig. 11에서 Si-wafer에 대한 t_s (time to static state)값을 관찰해 보면 젖음 특성의 차이를 명확하게 알 수 있다. 온도 증가에 따라 대체로 t_s 값이 짧아졌으나, C1과 C3의 t_s 값이 N1보다 짧은 것으로부터, Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층보다 젖음성 면에서 유리하다고 할 수 있을 것이다. C1과 C3를 비교할 때 C1이 C3보다 메니스커스 상승시간이 보다 길다. 이러한 사실은 솔더 메니스커스의 상승높이 H와 관련지어 고찰할 수 있다.

즉, Fig. 12의 H값(meniscus rise)을 비교해 보면, 일반적인 솔더링 온도인 270℃에서 C1과 N1의 경우 솔더 메니스커스가 거의 비슷한 높이로 상승했음을 알 수 있다. 따라서 거의 동일한 솔더 상승높이임에도 불

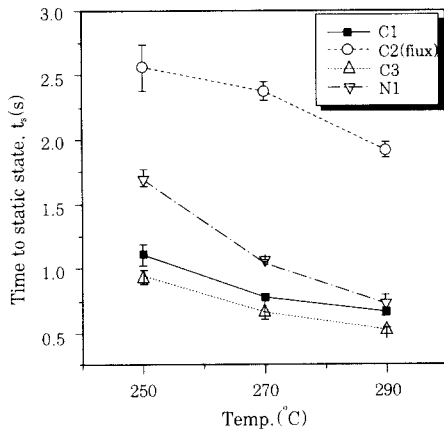


Fig. 11 Time to static state(t_s) of the UBM-coated Si-wafer to the Sn-Ag solder

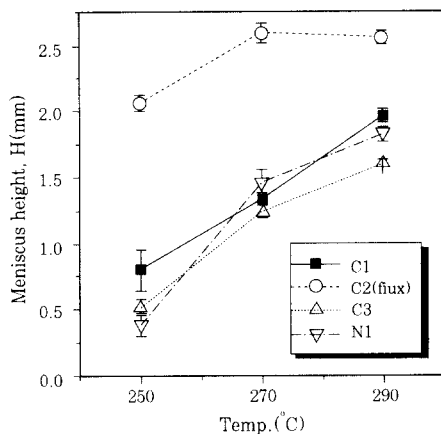


Fig. 12 Meniscus height(H) of the UBM-coated Si-wafer to the Sn-Ag solder

구하고 N1이 C1보다 긴 t_s 값을 갖는다는 것은 N1에서 솔더의 젖음과정 자체가 C1보다 느리게 일어난다는 사실을 의미한다. C1과 C3의 경우는 C1의 상승높이가 모든 온도에서 C3보다 크다는 사실을 관찰할 수 있다. 그런데, C1과 C3는 같은 종류의 UBM이므로 t_s 값의 차이는 젖음과정의 속도차이라기 보다는 C1에서 솔더 메니스커스의 상승이 보다 오래 지속되었음을 반증한다고 할 수 있다. 한편, Fig. 12에서 플럭스를 사용한 UBM C2는 플럭스를 사용하지 않은 C1, C3, N1 UBM보다 월등히 높은 메니스커스의 상승을 나타내었으며 이것은 바로 오랜 시간 동안의 메니스커스의 상승(Fig. 11)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 얇을 수록 젖음성이 우수하고 Au/Cu/Cr층이 Au/Ni/Ti층보다 젖음성이 양호함을 알 수 있다. 플럭스를 사용한 UBM C2는 Au층을 보호층으로 사용할 때보다 높은 메니스

커스의 상승을 보였다. 따라서, 플럭스를 사용하지 않을 때, 솔더와 기판간의 젖음력을 충분히 확보하기 위해서는 솔더 및 기판의 산화막 제거를 위한 다른 공정, 예컨대, 플라즈마 처리¹¹⁾ 혹은 레이저 처리¹²⁾, 비활성 분위기의 유지¹³⁾ 등의 처리가 필요하다고 생각된다. 다른 Pb-free 솔더들 간의 UBM에 대한 젖음성을 비교하기 위하여 Fig. 13에 일반적인 리플로우 온도 즉, 솔더의 용점보다 약 50°C 더 높은 온도(Sn-Pb: 230°C, Sn-Ag: 270°C, Sn-Sb: 290°C, Sn-Bi: 190°C, Sn-In: 180°C)에서 각 솔더의 F_s 값을, 그리고 Fig. 14에 각 솔더에 대한 H값을 도시하였다. 젖음 정도를 나타내는 F_s 와 H값은 Sn-Pb 솔더를 230°C에서 시험할 때의 값을 기준으로 할 때, Sn-Ag와 Sn-Sb의 고융점 솔더의 값은 Sn-Pb의 값과 비슷하거나 그 이상이지만 Sn-Bi와 Sn-In의 저융점 솔더의 값은 그보다 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 Si-wafer를 기판으로 할

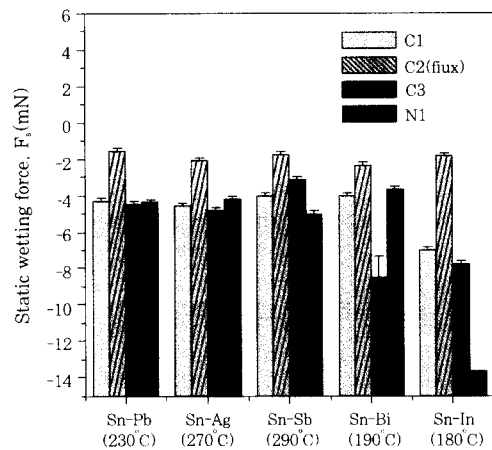


Fig. 13 Static state wetting force(F_s) of the UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb and Pb-free solders

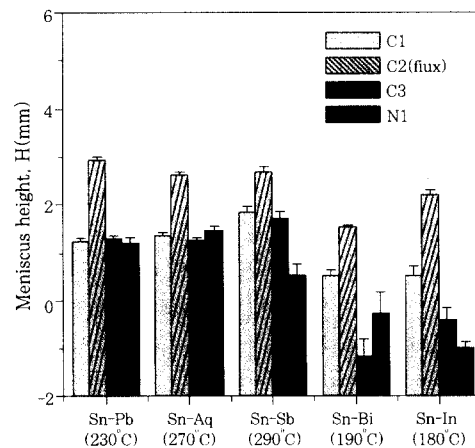


Fig. 14 Meniscus height(H) of the UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb and Pb-free solders

때, 젖음이 열적 활성화¹⁴⁾에 주로 지배되기 때문이라고 생각된다. Fig. 15에 각 솔더에 대한 t_s 값을 도시하였다. 모든 솔더에서 플럭스를 쓴 경우의 t_s 가 긴 것을 관찰할 수 있는데, 이것은 Fig. 14에서 볼 수 있듯이 메니스커스가 상대적으로 오랜 시간동안 높이 상승하였음을 나타낸다. 또한, 모든 솔더에서 Au/Ni/Ti층 UBM이 Au/Cu/Cr층 UBM보다 t_s 값이 큰 것은 전술한 바와 같이 Au/Ni/Ti UBM이 솔더에 대한 젖음 과정이 느리게 진행됨을 나타낸다.

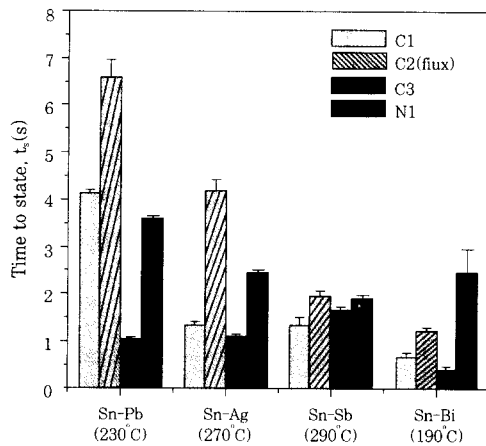


Fig. 15 Time to static state (t_s) of the UBM-coated Si-wafer to Sn-Pb and Pb-free solders

3.4 정상 젖음력(F_s)과 접촉각과의 관계

Wetting balance tester를 이용하여 UBM이 단면 증착된 Si-wafer의 젖음성 시험시에 젖음시편의 상태를 도식화하여, Fig. 10에서 보인 F_s 값을 측정하여 그 물리적인 의미의 해석을 시도하고, 아울러 솔더와 시편의 접촉각을 구해 보았다. 젖음층이 단면 증착된 시편의 기울어짐 효과를 고찰하기 위하여 솔더와 평형을 이루고 있는 메니스커스의 형상을 Fig. 16과 같이 고려하였다. 한쪽 면이 젖지 않는 면이기 때문에 그 면에 비젖음력이 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 제시하였다¹⁵⁾. 실제로 본 연구에서 단면 증착 시편이 약 1~5° 정도 기울어짐을 관찰할 수 있었다¹⁶⁾. 이러한 이유로 단면 증착된 시편의 젖음 곡선은 양면 증착 시편과 다른 특성을 보이게 되는 것이다. 젖음력의 해석시에 시편의 기울어짐에 효과의 보정에 대한 논의는 별도의 논문에서 전개

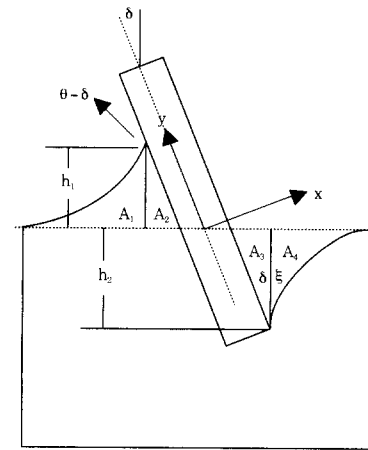


Fig. 16 Meniscus shape of the one side-coated specimen considered to calculate the static state wetting force (F_s)

하였다.¹⁷⁾ 시편에 작용하는 정상 젖음력(F_s)은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

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

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 Raplace의 식을 따른다. 위와 같은 두 가지 가정 하에서 메니스커스의 부피를 계산하여 다음과 같은 최종적인 F_s 의 식을 구할 수 있다.

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

단, w 는 젖음성 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 3에 Sn-Pb(230°C)와 Sn-Ag(270°C)에 대하여 UBM 종류에 따라 계산된 접촉각 θ 를 나타내었다. 문헌에 의하면 RMA-type 플럭스를 사용한 경우에 200°C에서 Sn-37wt%Pb 솔더와 Cu기판의 접촉

Table 3 Contact angles of the UBM for Sn-Pb and Sn-Ag solders in air

| | C1 | C2(flux) | C3 | N1 |
|-------------|-------|----------|-------|-------|
| Sn-Pb(230℃) | 59.9° | 15.8° | 60.9° | 63.0° |
| Sn-Ag(270℃) | 60.7° | 25.8° | 64.3° | 56.6° |

각이 약 8~15° 임이 보고되었다¹⁸⁾. 이것을 Table 2의 230℃ 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. 양호한 젖음의 접촉각은 보통 60°가 기준임이 알려져 있다¹⁹⁾. 플럭스를 쓰지 않은 UBM C1, C3, N1의 접촉각은 모두 60°와 비슷한 값을 갖거나 약간 크다. 따라서, 일반 대기중에서 플럭스를 쓰지 않으면 Au 보호층이 있어도 양호한 젖음(60°이하)을 기대할 수 없음을 알 수 있다. 그러나 플라즈마 처리나 레이저 처리, 비활성 분위기의 유지 등으로 플럭스 없이 젖음성을 더욱 개선할 수 있다고 판단된다.

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 TSM²⁰⁾ 등 금속층의 젖음 특성을 평가할 때 광범위하게 활용될 수 있을 것이라고 생각된다.

4. 결 론

UBM이 증착된 Si-wafer의 무플럭스 하에서 Pb-free 솔더에 대한 젖음성 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 단면 증착 시편의 젖음 곡선은 양면 증착 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-Ag 솔더의 젖음성 시험에서 Au/Cu/Cr계 UBM은 Au/Ni/Ti UBM보다 젖음시간의 측면에서 젖음성이 보다 우수하였다. 또한, Sn-Ag 솔더에서 Cu층의 두께가 1000 Å인 경우가 5000 Å인 경우보다 우수하였다.

(3) 일반적인 리플로우 온도 조건에서, Sn-Ag, Sn-Sb와 같은 고용점 솔더의 젖음 특성이 Sn-In, Sn-Bi와 같은 저용점 솔더의 젖음 특성보다 우수하였다.

(4) 단면 증착된 시편이 이루는 메니스커스를 고려하여 힘의 평형에 대한 F_s 값의 식을 세워 UBM 층과 솔더가 이루는 접촉각을 계산할 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planning, Demand : Demand for development of industrial technology towards year 2000, Vol. 23(1996), p.139
2. H. Lau ed. : Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York(1995), p.123
3. F. G. Yost, F. M. Hosking, and F. M. Frear : The Mechanics of Solder Alloy Wetting and Spreading, Van Nostrand Reinhold, New York(1993), p.259
4. Rudolf Strauss : SMT Soldering Handbook 2nd ed., Newnes, Oxford(1998), p.31
5. R. J. Wassink : Soldering in Electronics, Electrochemical Publication, Oxen(1989), pp.300-330
6. R.B. Cinique and J.W. Morris : The Effect of Gold-Nickel Metallization Microstructure on Fluxless Soldering, JEM, Vol.23, No.6(1994), pp.533-539
7. C.Y. Lee and K.L. Lin : Solderability of Electroless Nickel Alloys Using Wetting Balance Technique, Jpn. J. Appl. Phys. V.33(1994), pp.4078-4713
8. 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(1993), pp.1103-1111.
9. A.D.Roming et al. : Physical metallurgy of the solder-substrate reactions, Solder Mechanics ed. by D.R.Frear et al., TMS(1990), p.36.
10. 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.(1990), pp.14-22
11. Masahiko et al. : Proc. of Electronic Components and Technology Conference(1999), p.408-414
12. W. Moeller and D. Knoedler : Verbindungstechnik in der Elekttronik, March(1992), pp.14-18
13. Wei Lin and Y. C. Lee : IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 22, No.4(1999), pp.592-601
14. D.R. Frear, W. B. Jones, and K. R. Kinsman ed. : Solder Mechanics, TMS, Pennsylvania(1991), p.34

15. P.T. Vianco : An Overview of the Measurements, The Metal Science of Joining, TMS(1992) pp. 265-284
16. S. M. Hong et al. : A Study on the Wetting Properties of UBM-coated Si-wafer, Journal of the Microelectronics & Packaging Society Vol. 7, No. 2(16)(2000), p.55
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(1995), p.497
19. Manko, H. H. Solders and Soldering, McGraw-Hill, NY(1979), p.313
20. S. M. Hong et al. : The Fluxless Wetting Properties of TSM-coated Glass Substrate to the Pb-Free Solders, Journal of the Microelectronics & Packaging Society Vol. 7, No. 2(16)(2000), p.47