

Si-wafer의 플럭스리스 플라즈마 무연 솔더링 - 플라즈마 클리닝의 영향-

문준권 · 김정모 · 정재필
서울시립대학교 신소재공학과

Fluxless Plasma Soldering of Pb-free Solders on Si-wafer - Effect of Plasma Cleaning -

J. K. Moon, J. M. Kim, and J. P. Jung

Dept. of Materials Sci. and Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

초 록: 플라즈마 리플로우 솔더링에서 솔더볼의 접합성을 향상시키기 위해 UBM(Under Bump Metallization)을 Ar-10vol%H₂ 플라즈마로 클리닝하는 방법을 연구하였다. UBM 층은 Si 웨이퍼 위에 Au(두께; 20 nm)/ Cu(4 μm)/ Ni(4 μm)/ Al(0.4 μm)을 웨이퍼 측으로 차례대로 증착하였다. 무연 솔더로는 Sn-3.5wt%Ag, Sn-3.5wt%Ag-0.7wt%Cu를 사용하였고 Sn-37wt%Pb를 비교 솔더로 사용하였다. 지름이 500 μm 인 솔더 볼을 플라즈마 클리닝 처리를 한 UBM과 처리하지 않은 UBM 위에 놓고, Ar-10%H₂ 플라즈마 분위기에서 플럭스리스 솔더링하였다. 이 결과는 플럭스를 사용하여 대기 중에서 열풍 리플로우한 결과와 비교하였다. 실험 결과, 플라즈마 클리닝 후 플라즈마 리플로우한 솔더의 퍼짐율이 클리닝 하지 않은 플라즈마 솔더링보다 20-40%정도 더 높았다. 플라즈마 클리닝 후 플라즈마 리플로우한 솔더 볼의 전단 강도는 약 58-65MPa로, 플라즈마 클리닝 하지 않은 플라즈마 리플로우보다 60-80%정도 높았으며, 플럭스를 사용한 열풍 리플로우보다는 15-35%정도 높았다. 따라서 Ar-10%H₂ 가스를 사용하여 UBM에 플라즈마 클리닝하는 공정은 플라즈마 리플로우 솔더 볼의 접합강도를 향상시키는데 상당한 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Abstract: To evaluate the effect of plasma cleaning on the soldering reliability the plasma cleaning using Ar-10vol%H₂ gas was applied on a UBM(Under Bump Metallization). The UBM consisted of Au/ Cu/ Ni/ Al layers which were deposited on a Si-wafer with 20 nm/ 4 μm/ 4 μm/ 0.4 μm thickness respectively. Sn-3.5%Ag, Sn-3.5%Ag-0.7%Cu and Sn-37%Pb solder balls sized of 500 μm in diameter were used. Solder balls on the UBM were plasma reflowed under Ar-10%H₂ plasma (with or without plasma cleaning). They were compared with air reflowed solder balls with flux. The spreading ratios of plasma reflowed solder with plasma cleaning was 20-40% higher than that of plasma reflowed solder without plasma cleaning. The shear strength of plasma reflowed solder with plasma cleaning was about 58-65Mpa. It showed 60-80% higher than that of plasma reflowed solder without plasma cleaning and 15-35% higher than that of air reflowed solder. Thus it was believed that plasma cleaning for the UBM using Ar-10vol%H₂ gas was considerably effective for the improvement of the strength of solder ball.

Keywords: Plasma Cleaning, Lead-free Solder, Fluxless Plasma Soldering, Microstructure, Joint Strength

1. 서 론

최근 전자산업에서 환경 친화적인 재료에 대한

관심이 증대되면서, 솔더로는 무연 합금^{1,2)}이, 솔더링 공정으로는 플럭스리스 솔더링 공정³⁻⁵⁾이 주목 받고 있다. 무연 솔더는 국내에서도 이미 양산 적용을 시작하거나 적용을 위한 최종 연구단계에 있지만⁶⁾, 플럭스리스 솔더링 공정은 적용에 아직

*Corresponding author
E-mail: mogod77@hotmail.com

도 많은 장애 요인들이 있다. 플럭스는 솔더링 공정에서 솔더의 젖음성 향상과 산화막 제거 등 중요한 역할을 하지만, 솔더링 후에는 일반적으로 유해한 잔류물이 솔더링 접합부에 남아서 접합부 주위의 부식과 절연 저항감소 등을 유발한다.^{7,8)} 따라서 플립칩 같은 미세한 피치의 전자 부품과 광통신 부품 등에는 플럭스를 배제하려는 경향이 많다.

플럭스리스 솔더링에는 여러 가지 공정이 있는데 그 중 한가지 방법이 플라즈마 클리닝 후 플럭스리스 솔더링을 하는 것이다. 플라즈마 처리는 금속표면의 산화막을 제거하는데 효과적이며, 이로 인해 솔더링성을 향상시킬 수 있다.⁹⁾ 플라즈마 클리닝 처리가 접합성을 향상시킨다는 보고들이 많이 있는데, 예를 들어, Ni층이 도금된 금속 기판 위의 Sn-Pb 솔더 접합부에 Ar⁺을 스퍼터링하면 접합부의 기공을 감소시킬 수 있다.¹⁰⁾ PBGA(Plastic Ball Grid Array)에서 O₂, Ar, Ar-H₂ 플라즈마 처리를 행하면, 솔더 마스크와 성형 재료(molding compound)의 접합성과 와이어의 접합 강도를 향상시킨다는 보고도 있다.¹¹⁾ 또한 플라즈마 클리닝은 탈이온수의 Au 패드(die-pad) 상의 젖음성을 증가시키기도 한다. 반면, 플라즈마 클리닝 처리가 접합에 미치는 영향이 적다는 보고도 있는데, Yang 등¹²⁾은 플라즈마 클리닝이 금 와이어 볼 본딩부의 전단강도를 향상시키지 못하고, 다이(die)와 기판의 접합 계면의 접합성 향상에도 어떠한 도움을 주지 못한다고 하였다. 그러나, 플라즈마 클리닝이 기판과 성형 재료의 접합 강도를 향상시킨다는 점에는 동일한 결과를 보였다. 이상의 기존 연구들을 볼 때, 플라즈마 클리닝이 솔더의 젖음성과 솔더 볼의 접합 강도, 접합 계면에 미치는 영향은 아직 충분히 규명되지 않은 것으로 보인다. 특히, 플라즈마를 솔더링에 직접 사용하는 플라즈마 리플로우에서의 플라즈마 클리닝의 영향은 보고를 찾기 어렵다.

저자들의 일련의 연구들^{9,13)}을 통해, Ar-H₂ 플라즈마 가스를 사용한 플라즈마 클리닝과 리플로우 방법은 플럭스리스 솔더링의 가능성을 보여주었다. 이들 연구에서, 플라즈마 클리닝된 솔더 범프를 사용하여 대기중에서 플럭스리스 솔더링하였지만 그 접합강도는 만족스럽지 못하였다.⁹⁾ 이를 개선하는 방안으로 솔더링 중 용융 솔더의 재산화 방지하기 위해 비활성 솔더링 분위기를 사용하는 방법이 있다. 산화 방지를 위한 분위기로 플라

즈마 클리닝 없이 플라즈마 리플로우가 시도되었지만, 접합강도는 여전히 플럭스를 사용한 열플리플로우의 접합강도의 85% 정도 수준이었다.¹³⁾

본 연구에서 플럭스리스 플라즈마 솔더링시 솔더볼의 접합강도를 개선하기 위하여 플라즈마 리플로우 전에 UBM 층을 Ar+10%H₂로 클리닝하는 방법을 시도하였다. 이를 통해 UBM 층에 잔존할 수 있는 산화막과 오염물질을 깨끗이 제거하여, 플럭스리스 플라즈마 솔더링시 용융 솔더의 젖음성과 접합성을 향상시키고자 하였다.

2. 실험방법

실험 시편의 기판으로 Si-웨이퍼에 UBM을 증착하였다. UBM은 Fig. 1에 보인 바와 같이 웨이퍼 위에 Au/Cu/Ni/Al 층을 각각 20 nm/ 4 μm/ 4 μm/ 0.4 μm 두께로 위로부터 웨이퍼 쪽으로 차례대로 형성하였다. UBM 층을 형성할 때 Al 층은 가열식 증착기 (thermal evaporator)로 증착하였고, Cu 층과 Ni 층은 전해 도금으로 형성하였으며, 마지막으로 Au 층은 전자빔 증착기 (E-gun evaporator)를 이용하여 적층하였다. 솔더 범프를 하기 위한 UBM의 지름은 300 μm이고 SR(Solder Resist)로서 Ti 층은 50 nm 두께로 형성하였다.

이렇게 증착한 UBM을 플라즈마 클리닝한 것과 하지 않은 것, 두 가지 종류의 시편으로 준비하였다. 용융 솔더와 UBM의 접합성을 향상시키기 위하여, Ar-10vol%H₂ 분위기에서 100W의 에너지로 30초간 RF방식으로 플라즈마 클리닝 하였다. 플라즈마 클리닝할 때의 챔버 압력은 360 mtorr였다.

UBM위에는 지름 500 μm의 세가지 종류의 솔더 볼을 올려 놓았다. 솔더 볼은 Sn-3.5%Ag, Sn-3.5%Ag-0.7%Cu의 두 종류의 무연 솔더 볼과 Sn-37%Pb

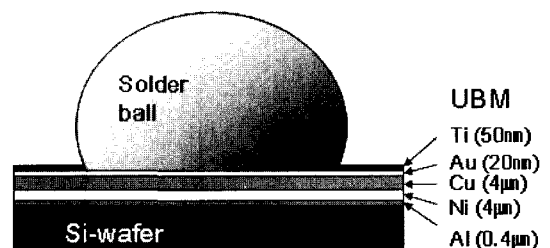


Fig. 1. Schematic illustration of the soldering specimen with UBM layers.

유연 솔더 볼을 사용하였다. UBM위의 솔더 볼들은 Ar-10vol% H_2 분위기에서 플럭스를 사용하지 않고 솔더링 온도까지 가열하였다. 플라즈마 리플로우 솔더링의 가열 조건은 150W-60sec. 이고, 이때의 온도는 Fig. 2에 보인 바와 같이 320°C이다.

플라즈마 리플로우 솔더링의 특성을 비교하기 위한 기준 값으로 동일한 종류의 시편을 RMA (Rosin Mildly Activated) 플럭스를 사용하여 적외선 오븐에서 대기 중 열풍 리플로우 솔더링 (이후 열풍 리플로우라고 함.) 하였다. 리플로우 장비는 4개의 가열 영역으로 구성된 컨베이어 시스템을 갖춘 것이다. 솔더링 온도는, Sn-3.5%Ag, Sn-3.5%Ag-0.7%Cu, Sn-37%Pb 솔더들의 용융점이 각각 221°C, 217°C, 183°C인 것을 고려하여, Sn-3.5%Ag, Sn-3.5%Ag-0.7%Cu의 경우는 250°C, Sn-37%Pb는 230°C로 하였다. 플라즈마 솔더링과 열풍 리플로우 솔더링의 실험 조건을 Table 1에 요약하였다.

플라즈마 클리닝의 가능성을 평가하기 위해

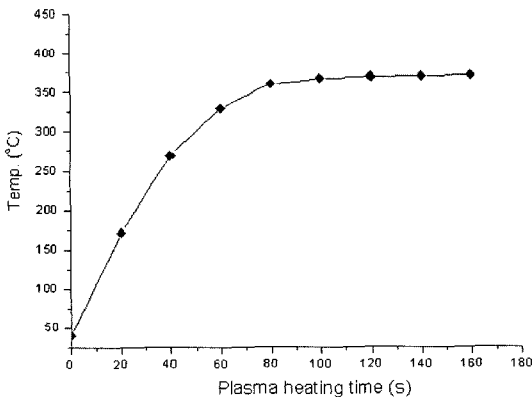


Fig. 2. Temperature of the UBM with heating time in Ar-10% H_2 plasma at 150W RF power.

UBM 위의 솔더 볼의 퍼짐율을 측정하였다. 퍼짐율 시험 시편의 UBM층은 Fig. 1의 UBM과 같으나, 퍼짐율 시험 특성상 SR인 Ti 층을 형성시키지 않았으며 형상은 10×10 mm의 직사각형이다. 시편의 가열조건은 Table 1의 각 솔더별 조건과 같다. 퍼짐율(S)은 $S=100(D-H)/D(\%)$ 의 식으로 계산되며, 여기서 D는 솔더볼의 지름, H는 솔더가 퍼진 후의 높이를 나타낸다(Fig. 3 참조).¹⁴⁾

Si 웨이퍼 위의 솔더 범프는 미세 전단 시험기로 전단 시험을 하였으며, 각 솔더링 조건에 따라 20번 반복 시험하여 평균값을 계산하였다. 전단 팁과 Si기판 사이의 거리는 10 μ m이고, 전단속도는 200 μ m/sec로 하였다. 화상분석기(image analyzer) 프로그램을 이용하여 솔더 범프의 접합면적을 구하여 단위면적에 대한 접합강도 값을 구하였다.

접합계면에 생성된 금속간 화합물의 관찰을 용이하게 하기 위해, 금속간 화합물층만 남기고 나머지 솔더 부분은 에칭하여 제거하였다. 접합계면의 단면과 전단시험한 시편의 파면을 관찰하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscopy)과 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 젖음성과 접합 계면

솔더 표면의 산화막을 제거하는데 효과적인 Ar-

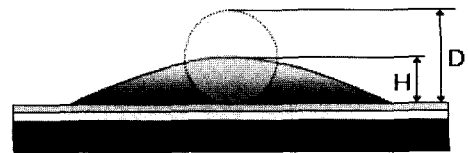


Fig. 3. Schematic illustration of the spreading ratio test.

Table 1. Soldering conditions for the experiment.

Soldering Method	Soldering Conditions		
	Sn37Pb	Sn3.5Ag	Sn3.5Ag0.7Cu
Air reflow (with RMA-flux)	Temp. : 230°C Conveyor speed :0.6 m/min.	Temp. : 250°C Conveyor speed : 0.6 m/min.	
Plasma Reflow (without flux)	Plasma Gas : Ar-10vol% H_2 RF power : 150W Dwelled time : 60sec.		

10%H₂ 플라즈마⁹⁾를 리플로우용 가열원과 클리닝에 사용하였다. Ar-10%H₂ 로 플럭스 리스 플라즈마 리플로우한 Sn-3.5Ag 솔더 범프들을 플럭스를 사용하여 열풍 리플로우한 경우와 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 두 경우 모두 범프의 모양이 양호하며 특히 플라즈마 솔더링된 범프들은 오염되지 않은 깨끗한 상태를 보여준다. 그러나 열풍 리플로우의 경우에는 범프 표면에 오염과 부식을 유발시킬 수 있는 플럭스 잔사가 관찰되었다.

플라즈마 리플로우한 경우와 열풍 리플로우한 경우 Sn-3.5Ag-0.7Cu 범프들의 단면 형상은 Fig. 5에 비교하였다. 플라즈마 리플로우한 경우의 단면 형상은 열풍 리플로우한 것과 비슷한 양호한 상태를 나타낸다. 그러나, 플라즈마에 의한 범프는 열풍 리플로우 한 것 보다 폭이 조금 넓고 높이가 낮은 것으로 나타났다. 범프의 폭/높이의 비는 열풍 리플로우한 경우는 1.27이고, 플라즈마 리플로우한 경우는 1.36이다. 본 연구에서는 플라즈마 중에서 Sn-3.5Ag-0.7Cu의 액체상태에서의 표면 장력을 측정하지는 못 하였으나, 솔더 범프의 형상은 용융상태에서의 표면 장력이 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다.¹⁵⁾ Fig. 4와 Fig. 5의 결과로부터, 플럭스 리스 플라즈마 리플로우 솔더링부의 범프 형상

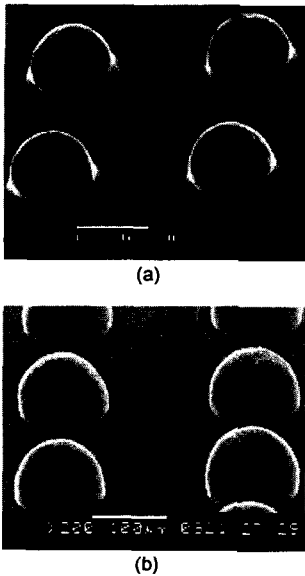


Fig. 4. Sn-3.5Ag solder bumps formed by air reflow with flux (a), and by Ar-10%H₂ plasma reflow without flux (b).

은 열풍 리플로우한 것과 외관 및 단면형상에서 대등한 수준을 유지하는 것으로 판단되며, 플라즈마 솔더링의 가능성을 보여 준 것으로 판단된다.

Fig. 6에 솔더들의 UBM 상에서의 퍼짐율을 비교하였다. 플라즈마 클리닝 후 플라즈마 리플로우한 경우 (이후 PC 플라즈마 리플로우라 함)와 열풍 리플로우한 경우, 그리고 플라즈마 클리닝 없이 플라즈마 리플로우한 경우 (이후 NC 플라즈마 리플로우라 함)의 퍼짐율이 각각 75~76%, 64~70%, 53~64%로 나타났다. 플라즈마 클리닝은 고체 표면의 산화막과 오염물을 제거하는 데 효과적이기 때문에^{10,16)} 퍼짐성 향상에 기여할 것으로 사료된다. 또한 Lee등¹¹⁾은 Ar, Ar/H₂, O₂ 플라즈마에 의한 Au다이패드의 클리닝이 Au패드 상의 탈이온수의 젖음성을 증가시킨다고 발표한 바 있다. Fig. 6의 결과로부터 플라즈마 리플로우 할 때에도, 기존의 연

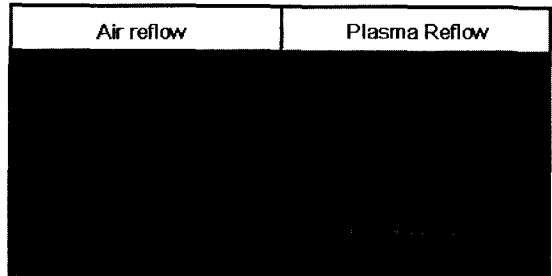


Fig. 5. Comparison of cross-section of Sn-3.5Ag-0.7Cu bumps prepared by air reflow with flux and by plasma reflow without flux.

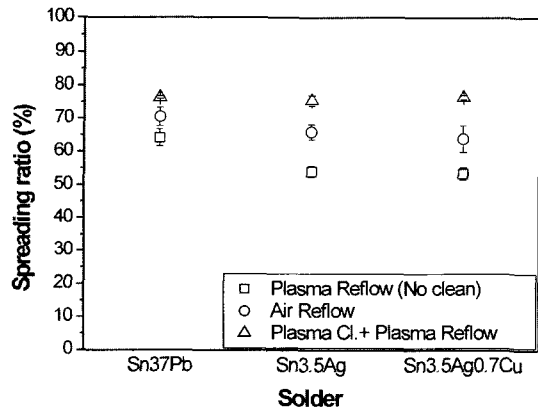


Fig. 6. Comparison of spreading ratio of solders with soldering processes.

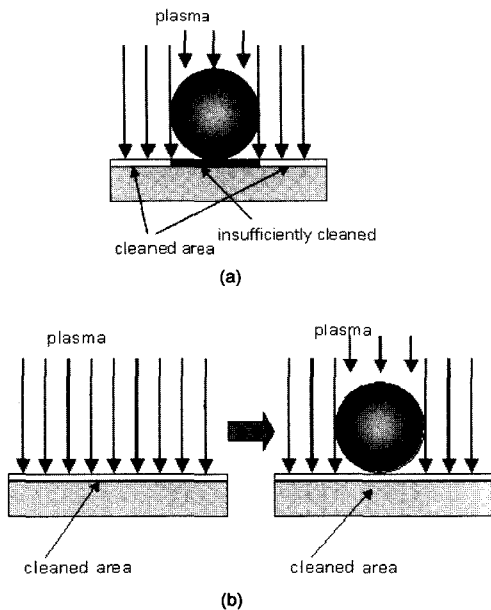


Fig. 7. Schematic illustrations of plasma cleaning with the cleaning methods; (a) Plasma soldering without plasma pre-cleaning (NC plasma soldering), (b) Plasma soldering with plasma pre-cleaning (PC plasma soldering).

구 보고처럼 플라즈마 클리닝이 솔더의 퍼짐성에 긍정적인 효과를 미치는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6의 NC 플라즈마 리플로우의 결과로부터,

플라즈마 클리닝 없이 플라즈마 리플로우만 했을 때는 좋은 퍼짐성을 얻지 못한다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 PC 플라즈마 리플로우와 NC 플라즈마 리플로우에서의 클리닝의 효과가 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다. 즉, Fig. 7에 보인 바와 같이 PC 플라즈마 리플로우는 솔더링 전 클리닝 과정에서 UBM이 플라즈마에 직접 노출된다. 그러나 NC 플라즈마 리플로우의 경우 솔더링 중의 클리닝은 솔더 볼 밑의 UBM이 솔더 볼에 가려져 직접적으로 플라즈마에 노출되어 있지 않는다. 이로 인해 NC 플라즈마 UBM 표면은 완전히 깨끗해지지 않은 상태로 남아있게 된다. 저자들의 이전의 연구⁹⁾에서 AES(Auger Electron Spectroscopy)로 분석한 결과, 플라즈마 클리닝을 하지 않은 UBM층은 산소를 약 26% 포함하고 있었다. 반면, 플라즈마 클리닝을 30초 동안 행한 UBM, 다시 말하면 플라즈마에 직접적으로 노출되었던 UBM은 약 3%의 산소를 포함하고 있었다. 이로부터 솔더링 전 클리닝이 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 덧붙여 PC 플라즈마 리플로우에서는 솔더링 전에만 클리닝 되는 것이 아니라, NC 플라즈마 리플로우에서와 같이 솔더링하는 동안에도 부수적인 클리닝이 일어난다.

Fig. 8에 열풍 리플로우한 시편과 플라즈마 리플로우한 시편의 접합계면을 비교하였다. 솔더링 공

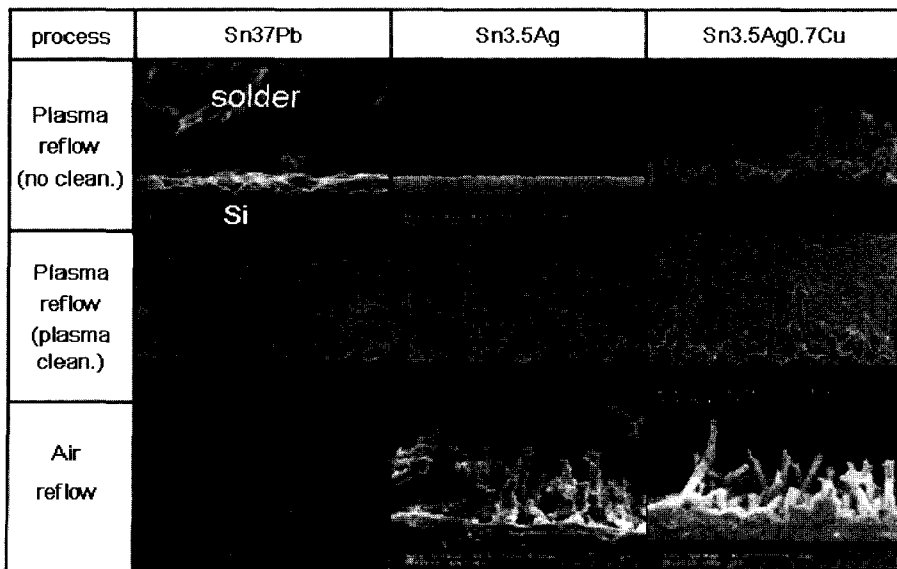


Fig. 8. Bonded interfaces between solders and UBM coated Si-substrate with soldering processes.

정별로 볼 때, PC 플라즈마 리플로우한 경우와 열풍 리플로우한 경우는 금속간화합물이 일정하게 형성된 양호한 접합계면을 보여준다. 그러나, NC 플라즈마 리플로우한 시편에서는 금속간 화합물이 관찰되지 않은 부분도 있었다. 이러한 이유는 NC 플라즈마의 경우, 불완전하게 클리닝된 부분에 용융 솔더가 잘 젖지 않아서 솔더가 UBM과 반응 하지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

Ni과 Cu 층의 두께가 각각 $0.4 \mu\text{m}$ 인 얇은 UBM을 NC 플라즈마로 리플로우한 이전의 연구¹³⁾에서 UBM과 금속간화합물 사이에 균열이 발견되었다. 균열 발생의 원인은 320°C 의 높은 솔더링 온도에서 솔더와 UBM의 과도한 반응으로 UBM이 소진되었기 때문인 것으로 조사되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로, UBM의 두께를 $0.4 \mu\text{m}$ 에서 $4 \mu\text{m}$ 로 증가시킨 바 있다.¹³⁾ Fig. 8의 결과에서 보듯이 PC 플라즈마 리플로우의 경우 UBM의 두께가 $4 \mu\text{m}$ 인데, 접합 계면에서는 균열이 관찰되지 않았다. 이로부터 본 연구에서 택한 $4 \mu\text{m}$ 두께의 UBM 층은 플라즈마 리플로우와 플라즈마 클리닝을 거치는 과정에서도 소진되지 않고 안전하다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8에서 PC 플라즈마 리플로우한 경우 접합 계면의 금속간화합물을 EDS로 분석하였다. 금속간화합물의 조성비(at%)는 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu에서 각각 49Sn, 51Cu; 48Sn, 52Cu; 49Sn, 51Cu으로 나타났다. 일반적으로 Cu 패드와 Sn계 솔더 사이에서 Cu_6Sn_5 의 금속간 화합물이 생성될 때, Cu_3Sn 보다 훨씬 적은 활성화 에너지와 더 큰 구동력이 필요한 것으로 알려져 있다. Sn3.5Ag 솔더와 Cu 패드에서 Cu_6Sn_5 와 Cu_3Sn 의 활성화에너지는 각각 409, 1536 (단위 없음)이고 구동력은 각각 0.31J/RT , 0.18J/RT 이다.¹⁷⁾ 이 사실과 이전의 연구 결과들¹⁸⁻²¹⁾을 고려하면, Fig. 8의 서로 다른 솔더들의 접합계면의 금속간화합물은 동일한 Cu_6Sn_5 인 것으로 판단된다. 한편, 열풍 리플로우와 NC 플라즈마 리플로우의 계면의 금속간화합물은 Sn₃₇Pb 솔더인 경우, 각각 51Sn, 49Cu 와 52Sn, 48Cu이었다. 이것과 PC 플라즈마 리플로우한 경우의 결과를 비교한 결과 기본적으로 PC 및 NC 플라즈마, 열풍 리플로우 세 공정에서의 금속간 화합물은 동일한 종류의 것으로 판단된다.

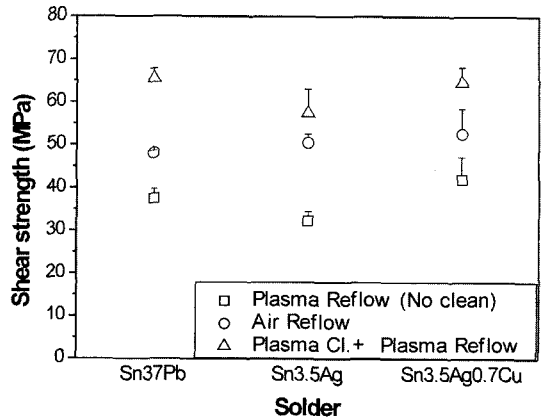


Fig. 9. Comparison of shear strength of solder balls with soldering processes.

3.2. 접합부의 전단 강도

솔더링 공정에 따른 세가지 종류의 솔더 볼에 대한 전단강도를 Fig. 9에 나타내었다. NC 플라즈마 리플로우의 경우 솔더의 전단강도는 32~42MPa 정도였다. 반면, PC 플라즈마 리플로우의 경우는 58~65 MPa, 열풍 리플로우의 경우는 48~50MPa 정도로 나타났다. 이 결과로부터, 플라즈마 리플로우전 플라즈마 클리닝을 함으로써 접합강도가 약 60~80% 정도 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 $\text{Ar}+10\%\text{H}_2$ 을 사용한 플라즈마 클리닝은 접합부의 접합강도를 향상 시키는데 상당한 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Fig. 10은 전단시험한 기관의 파단면을 보인 것이다. PC 플라즈마 리플로우한 경우는 솔더를 가로질러 파괴되었으며, UBM 층을 따라 부분적으로 파괴되는 현상은 모든 시편에서 관찰되지 않았다. 그러나, NC 플라즈마 리플로우의 경우는 UBM 층을 따라 부분적인 파괴가 발생하였다(Fig. 11, Sn37Pb에서 'D'라고 표시). 부분적인 UBM 층 파괴의 원인은 솔더가 UBM 층에 젖음이 불량하여 불완전한 접합을 이룬 때문인 것으로 보이며, 이것은 NC 플라즈마 리플로우가 낮은 강도를 갖는 원인이 된 것으로 판단된다.

반면, 플라즈마 클리닝한 경우 우수한 강도를 보이는 이유는 플라즈마 클리닝하는 동안 솔더 접합부의 산화물과 오염물의 효과적인 제거가 원인이 된 것으로 보인다.^{9,16,22)} 다시 말하면 플라즈마 클리닝에서 솔더 표면과 액체의 오염 물질들은 휘발성 물질로 바뀌고, 진공 배기장치에 의해 제거된

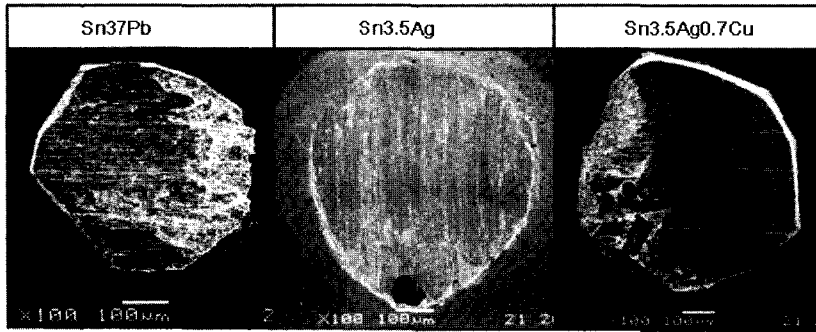


Fig. 10. Fracture surfaces of shear tested specimens prepared by plasma-cleaned plasma reflow.

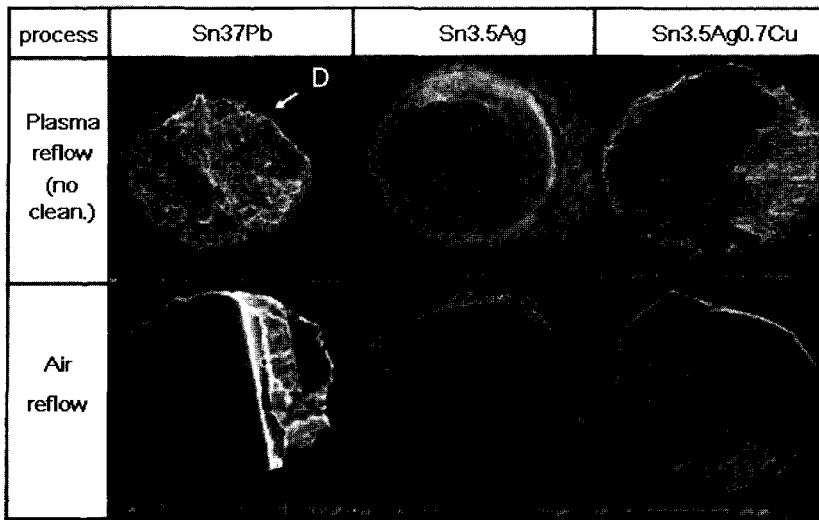


Fig. 11. Fracture surfaces of shear tested specimens prepared by plasma reflow without plasma cleaning (upper) and by air reflow (lower).

다.¹⁶⁾ 이외에도 플라즈마 가스는 액체의 플럭스가 침투하기 힘든 아주 작은 부분에도 침투가 가능하다. Ar+10%H₂ 플라즈마 클리닝의 이러한 효과는 와이어 범프의 접합강도에 관한 연구¹¹⁾나 성형재료의 접착 강도에 관한 연구¹²⁾에서 강도값을 증가시키는 것으로 나타나기도 한다.

Fig. 9에서 PC 플라즈마 리플로우는 열풍 리플로우보다 15-35% 정도 높은 강도값을 가지는 것을 볼 수 있다. 파단면을 관찰을 통해 열풍 리플로우가 상대적으로 낮은 강도값을 갖는 이유를 조사하였다. Fig. 4에서 보듯이 열풍 리플로우에 의한 경우, 솔더 접합부에서 플럭스 잔사가 존재하였고, 플라즈마 리플로우의 경우보다 오염물이 더 많았다. 이러한 결과들로부터 열풍 리플로우의 경우

접합 계면과 파단면에서 기포와 같은 결함이 생길 가능성이 높다. Fig. 12는 열풍 리플로우한 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더 볼의 파단면에서 관찰된 기포를 보인 것이다. 플럭스를 사용하여 열풍 리플로우하는 동안 플럭스에서 나온 휘발성 물질과 UBM 표면에서 존재하는 오염물질이 기화된다. 이 기화물질이 기포를 만들고, 솔더 접합부의 불량과 기능 저하를 야기할 수 있다.²²⁾ 이처럼 열풍 리플로우한 솔더 접합부에서 형성된 기포는 낮은 접합 강도의 원인이 되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

플럭스리스 플라즈마 리플로우 솔더링한 볼의

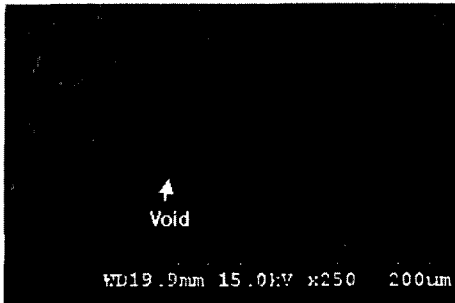


Fig. 12. Voids observed on the fracture surface of Sn-3.5Ag-0.7Cu soldered by air reflow with flux.

접합강도를 향상시키기 위하여, Ar-10vol% H_2 플라즈마를 사용한 클리닝 공정을 Si 웨이퍼 위의 UBM 층위에 적용하였다. 솔더로는 Sn-3.5wt%Ag, Sn-3.5wt%Ag-0.7wt%Cu와 Sn-37wt%Pb를 사용하여, 플라즈마 및 열풍 리플로우 솔더링 하였다. 그 결과를 다음과 같이 요약하였다.

(1) 플라즈마 클리닝은 솔더 볼의 접합성을 향상시키는데 상당히 효과적이다. 플라즈마 클리닝을 적용한 플라즈마 리플로우 (PC 플라즈마 리플로우) 한 솔더 볼의 강도값은 58-65MPa 로 플라즈마 클리닝 없이 플라즈마 리플로우 (NC 플라즈마 리플로우)한 경우와 열풍 리플로우한 경우보다 각각 60-80%, 15-35%정도 높았다.

(2) PC 플라즈마 리플로우 한 솔더의 퍼짐율은 약75%이었고, 반면 NC 플라즈마 리플로우한 경우는 53-64%, 플럭스를 사용한 열풍 리플로우의 경우 64-70%이었다.

(3) PC 플라즈마 리플로우는 접합면에 균열이 발생하지 않았으며, 4 μ m두께의 UBM은 플라즈마 클리닝과 플라즈마 리플로우 모두를 거처도 안전한 것이 확인되었다.

감사의 글

본 연구 결과는 2003년도 서울시립대학교 연구교수 지원 사업에 의한 것이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. M. R. Harrison, J. H. Vincent, and H.A.H.Steen, "Lead-free reflow soldering for electronics assembly", Sol-

- dering and Surface Mount Tech., 13(3), pp. 21-38(2001).
2. A. Z. Miric and A. Grusd, "Lead free alloys", Soldering and Surface Mount Tech., 10(1), pp. 19-25 (1998).
3. G. Takyi, N. N. Ekere, and J. D. Philpott, "Solderability Testing in Nitrogen Atmosphere of Plasma Treated HASL Finish PCBs For Fluxless Soldering", Journal of Electronics Manufacturing, 9(3), pp. 233-239(1999).
4. S. M. Hong, C. S. Kang, and J. P. Jung, "Fluxless Sn-3.5mass%Ag Solder Bump Flip Chip bonding by Ultra-Sonic Wave", Material Transaction, 43(6), pp. 1336-1340(2002).
5. C. B. Park, S. M. Hong, J. P. Jung, C. S. Kang, and Y. E. Shin, "A Study on the Fluxless Soldering of Si-wafer/glass Substrate Using Sn-3.5mass%Ag and Sn-37 mass%Pb Solder", Materials Transactions, 42(5), pp. 820-824(2001).
6. 문영준, 이지원, 정재필, 손명진, 김미진, 무연 솔더링 양산기술개발 보고서, 산업자원부-삼성전자(2003).
7. L. Zou, M. Dusek, C. P. Hunt, and B. D. Dunn, "An evaluation of the effect of aging on the cleanability of soldr flux residues", Soldering and Surface Mount Tech., 11(1), pp. 27-35(1999).
8. C. Hunt and L. Zou, "The impact of temperature and humidity conditions on surface insulating resistance values for various fluxes", Soldering and Surface Mount Tech., 11(1), pp. 36-43(1999).
9. S.M. Hong, C.S. Kang, and J.P. Jung, "Flux-free Direct Chip Attachment of Solder-Bump Flip Chip by Ar+ H_2 Plasma Treatment", Journal of Electronic Materials, 31(10), pp. 1104-1111(2002).
10. J. Onuki, Y. Chonan, T. Komiyama, and M. Nihei, "Influence of soldering conditions on void formation in large area solder joints", Materials Trans., 43(7), pp. 1774-1777(2002).
11. C. Lee, R. Gopalakrishnan, K. Nyunt, A. wong, R. C. E. Tan, and J. W. L. Ong, "Plasma cleaning of plastic grid array package", Physical & Failure Analysis of Integrated Circuits, Proceedings of the 1997 6th International Symposium on, 21-25 July, pp. 50-55(1997).
12. L. Yang, J. B. Bernstein, and K. C. Leong, "Effect of plasma cleaning process on plastic ball grid array package assembly reliability", IEEE Trans. on Electronics Pack. Manufac., 25(2), pp. 91-99(2002).
13. J. K. Moon, K. I. Kang, J. S. Lee, J. P. Jung, and Y. Zhou, "Fluxless Plasma Soldering with Different Thickness of UBM Layers on Si-Wafer", Journal of the Korean Institute of Surface Engineering, 36(5), pp. 373-378(2003).
14. ASTM-B32-00, Standard specification for solder metal (2003).

15. J. Y. Park, J. P. Jung, and C. S. Kang, "Study on calculation of surface tension of solder using wetting curve and its application to the prediction of BGA solder ball shape", 6th Sympo. on Microjoin. and Assembly Tech. in Electronics, Yokohama, Japan, Feb., pp. 45-50(2000).
16. W. Petasch, B. Kegel, H. Schmid, K. Lendenmann, and H. U. Keller, "Low-pressure plasma cleaning: a process for precision cleaning applications", Surface Coating Technology, 97(Dec.), pp. 176-181(1997).
17. W. K. Choi and H. M. Lee, "Prediction of primary intermetallic compound formation during interfacial reaction between Sn-based solder and Ni substrate", Scripta Materialia, 46, pp. 777-781(2002).
18. K. H. Prakash and T. Sriharan, "Effect of solid-state annealing on the interfacial intermetallics between tin-lead solders and copper", Journal of Electronic Materials, 32(9), pp. 939-947(2003).
19. Y. C. Chan, A. C. K. So, and J. K. L. Lai, "Growth kinetic studies of Sn-Cu intermetallic compound and its effect on shear strength of LCCC SMT solder joints", Materials Sci. and Eng., B55, pp. 5-13(1998).
20. X. Ma, F. Wang, Y. Qian, and F. Yoshida, "Development of Cu-Sn intermetallic compound at lead-free solder/Cu joint interface", Materials Letters, 57, pp. 3361-3365(2003).
21. P. T. Vianco, K. L. Erickson, and P. L. Hopkins, "Solid state intermetallic compound growth between copper and high temperature, tin-rich solders-part 1: Experimental analysis", Journal of Electronic Materials, 23 (8), pp.721-727(1994).
22. X. Ma, Y. Qian, and F. Yoshida, Void damage at Sn-Pb alloy/intermetallic compounds interface of solder joint, International Brazing & Soldering Conference, Albuquerque, NM, USA, 2-5 Apr., pp. 568-574 (2000).