

Si 웨이퍼의 UBM층 도금두께에 따른 무플럭스 플라즈마 솔더링

문준권^a, 강경인^a, 이재식^a, 정재필^{a*}, 주운홍^b

^a서울시립대학교 신소재공학과, ^bUniversity of Waterloo, 기계공학부

Fluxless Plasma Soldering with Different Thickness of UBM Layers on Si-Wafer

Joon Kwon Moon^a, Kyung In Kang^a, Jae Sik Lee^a, Jae Pil Jung^{a*}, Y. Zhou^b

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

^bDept. of Mechanical Eng., University of Waterloo, Waterloo, N2L 3G1, Canada

(Received 22 July 2003 ; accepted 19 August 2003)

Abstract

With increasing environmental concerns, application of lead-free solder and fluxless soldering process have been taken attention from the electronic packaging industry. Plasma treatment is one of the soldering methods for the fluxless soldering, and it can prevent environmental pollution caused by flux. On this study fluxless soldering process under Ar-H₂ plasma using lead free solders such as Sn-3.5 wt%Ag, Sn-3.5 wt%Ag-0.7 wt%Cu and Sn-37%Pb for a reference was investigated. As the plasma reflow has higher soldering temperature than normal air reflow, the effects of UBM(Under Bump Metallization) thickness on the interfacial reaction and bonding strength can be critical. Experimental results showed in case of the thin UBM, Au(20 nm)/Cu(0.3 μm)/Ni(0.4 μm)/Al(0.4 μm), shear strength of the soldered joint was relatively low as 19-27MPa, and it's caused by the crack observed along the bonded interface. The crack was believed to be produced by the exhaustion of the thin UBM-layer due to the excessive reaction with solder under plasma. However, in case of thick UBM, Au(20 nm)/Cu(4 μm)/Ni(4 μm)/Al(0.4 μm), the bonded interface was sound without any crack and shear strength gives 32~42MPa. Thus, by increasing UBM thickness in this study the shear strength can be improved to 50~70%. Fluxed reflow soldering under hot air was also carried out for a reference, and the shear strength was 48~52MPa. Consequently the fluxless soldering with plasma showed around 65~80% as those of fluxed air reflow, and the possibility of the Ar-H₂ plasma reflow was evaluated.

Keywords : Plasma Reflow Soldering, Fluxless Soldering, Lead free Solder, UBM, Shear Strength, Bonded Interface

1. 서 론

최근 전자산업에서 환경에 대한 관심이 증대됨에 패키지 분야에 있어서도 솔더의 무연화¹⁾와 함께 무플럭스 솔더링에 대한 관심이 증대되고 있다²⁾. 플럭스는 솔더와 기판의 산화막이나 이물질을 제거하는데 필수적이지만 그 잔류물은 전자부품의 부식을 야기하고 있다. 또, 플럭스 잔사를 제거하는데 사용하는 세정제 역시 환경오염의 주범이 되고 있으며³⁾,

전자부품 피치의 미세화와 광통신 부품 등에는 플럭스를 배제하고자 하는 경우도 있다. 플럭스를 사용하지 않는 솔더링의 방법에는 여러 가지가 있으며, 그 중의 하나가 플라즈마를 이용한 방법이다⁴⁾.

플라즈마는 전기적인 방전으로 인해 생기는 전하를 띤 양이온과 전자들의 집단을 말하는데, 공업적으로 이용이 활발한 플라즈마는 저온 글로우 방전 플라즈마로서, 반도체 공정에서 플라즈마 식각(Plasma Etch) 및 증착(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 등에 이용되어 왔다. 본 고에서는 플라즈마를 솔더링에 적용하는 것을 시도하였다.

*Corresponding author. E-mail : jpjung@uoscc.uos.ac.kr

통상, 플라즈마는 일반적인 열풍 리플로 분위기보다 고온일뿐 아니라, 무플럭스 솔더링을 위한 전처리로서 산화막과 이물질을 제거하기 위해 플라즈마를 UBM(Under Bump Metallization)층에 가할 때 국부적으로 고온이 인가된다. 이러한 과정에서 UBM층은 플라즈마내 이온들에 의한 물리적 충돌과 과열에 의한 솔더와의 과도한 반응으로 UBM층이 고갈, 소실되기도 한다. UBM층의 소실은 솔더 볼이나 범프와 관련된 소자의 수명이 파단과 직결되므로 플립칩 등 미세 전자부품에 있어 심각한 문제가 아닐 수 없다.

따라서, 본 고에서는 플라즈마 무플럭스 솔더링을 적용함에 있어서, UBM층의 두께를 다르게 한 경우, UBM층의 소실이나 접합성능에 어떠한 영향을 미치는지 조사하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편과 솔더링 방법

UBM층의 두께가 접합부에 미치는 영향을 알아보기 위해, 두께가 얇은 것(thin film)과 두꺼운 것(thick film) 두 가지 종류의 UBM을 Si-웨이퍼 상에 적층하였다. 구체적으로는 얇은 UBM으로 Au(20 nm)/Cu(300 nm)/Ni(400 nm)/Al(400 nm)와 두꺼운 UBM으로 Au(20 nm)/Cu(4 μ m)/Ni(4 μ m)/Al(400 nm)의 두 가지 층을 직경 300 μ m의 원형으로 Si-웨이퍼 위에 형성하였다. 얇은 UBM 형성 시에는 가열식 증착기(thermal evaporator)와 전자빔 증착기(E-gun evaporator)를 이용하였다. 반면, 두꺼운 UBM층은 먼저 가열식 증착기를 이용하여 Al를 증착하고, Cu/Ni을 전해 도금한 후 마지막으로 전자빔 증착기로 Au를 적층하였다.

형성된 UBM층 위에 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 세 종류의 직경 500 μ m 솔더 볼을 올려 놓았다. 이 시편은 플라즈마 장비와 대기 중 리플로 장비를 사용하여 가열, 솔더를 용융시켜 범프를 형성하였다. 사용된 플라즈마는 분위기 가스로 Ar-10vol%H₂를 사용하였으며, RF 방식으로 150 W의 에너지로 60초간 무플럭스 플라즈마 솔더링하였다. 그림 1은 플라즈마 솔더링 방법을 모식적으로 보인 것이다. 한편, 대기 중에서 플럭스를 사용한 솔더링은 열풍 및 적외선(Infra Red) 겸용 리플로 장비를 이용하였다. 사용된 플럭스는 RMA형 BGA 플럭스이며, 리플로 온도는 각 솔더의 용점을 고려하여 Sn37Pb는 230°C, Sn3.5Ag 솔더와 Sn3.5Ag0.7Cu 솔더는 250°C로 하였다. 그림 2는 Si 웨이퍼 상의 UBM층과 그 위에 형성된 솔더 범프를 보인 것이다.

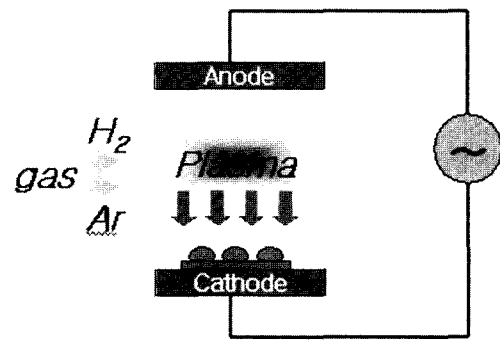


Fig. 1. Schematic illustration of plasma soldering process.

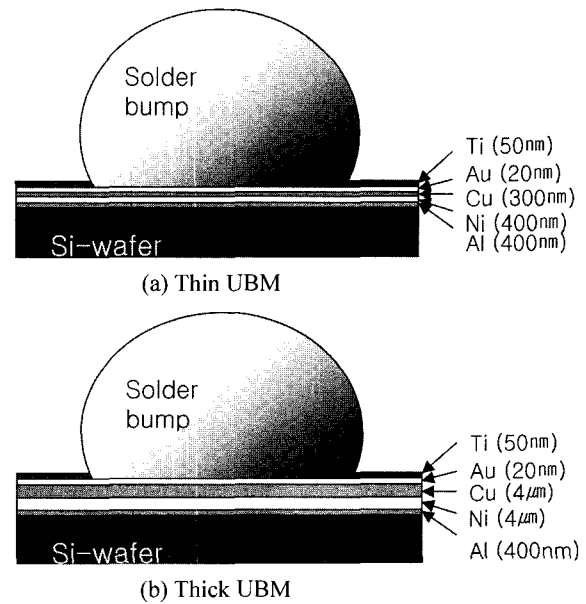


Fig. 2. Schematic illustration of soldered specimens UBM layer.

2.2 전단강도 시험 방법

전단강도의 측정을 위한 기관 제조 방법은 전술한 2.2의 시편 준비 방법과 동일하다. 솔더링 부의 접합 강도를 측정은 미세 전단강도 시험기(shear strength tester)를 사용하였고, 측정조건은 팁과 기관과의 거리 10 μ m, 팁의 이동속도는 200 μ m/sec이다. 각 리플로 시험 조건 당 20회의 전단강도 값을 측정하여 평균값과 표준편차를 계산하였다. 그리고 화상분석기(image analyzer) 프로그램을 이용하여 접합면적을 구하여 단위면적에 대한 접합강도 값을 구하였다.

2.3 미세조직

UBM 층의 두께에 따른 계면변화를 조사하기 위하여 주사전자현미경을 이용하여 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 솔더와 UBM층 접합 계면 및 전단 파면을 관찰하였다. 계면에 생성된 금속간화합물의

관찰을 용이하게 하기 위해 금속간화합물층만 남기고 솔더부분을 모두 제거하였다. 솔더/기판 계면에 형성된 금속간화합물의 성분을 분석하기 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 전단강도

그림 3은 플럭스를 사용한 리플로 솔더링 시, UBM 두께에 따른 전단강도 값을 비교한 결과를 나타낸 것이다. Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 세 솔더에서 UBM층의 두께의 변화에 따른 차이는 거의 없었다. 솔더 별 전단강도에 있어서도 그 값이 48~52 MPa로 비슷한 수준을 보였다. 따라서, 플럭스를 사용한 대기 중 리플로 솔더링 시에는 전단강도 값이 UBM의 두께에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

그림 4는 플라즈마를 사용한 무플럭스 솔더링의

경우, UBM층 두께와 솔더에 따른 전단강도 값의 측정결과를 비교한 것이다. 이 경우에는 그림에서 보듯이 얇은 UBM층 기판일 때에 전단강도 값이 19~27 MPa로써, 두꺼운 UBM층 기판일 때의 강도 값 32~42 MPa에 비해 60~80%정도 수준을 보였다. 얇은 UBM층의 강도가 상대적으로 낮은 것은 3종류의 솔더에서 공통적으로 나타났다. 따라서, 플라즈마를 사용한 무플럭스 솔더링의 경우, UBM층 두께가 솔더의 전단강도 값에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

플라즈마 솔더링의 경우 전단강도 값이 UBM층 두께에 의존하는 원인을 조사하기 위하여 전단시험 파면을 주사현미경으로 조사하였다. 그림 5는 얇은 UBM층 기판일 때의 전단시험 파면을 보인 것이다. 그림에서 보듯이 우선 세가지 솔더 모두에 있어서 파면에 Si 웨이퍼 모재가 드러남을 볼 수 있다. 이것은 UBM층과 Si 웨이퍼간의 박리를 뜻한다. 즉, 그림 5의 파면의 금속간화합물 성분분석에서 보듯

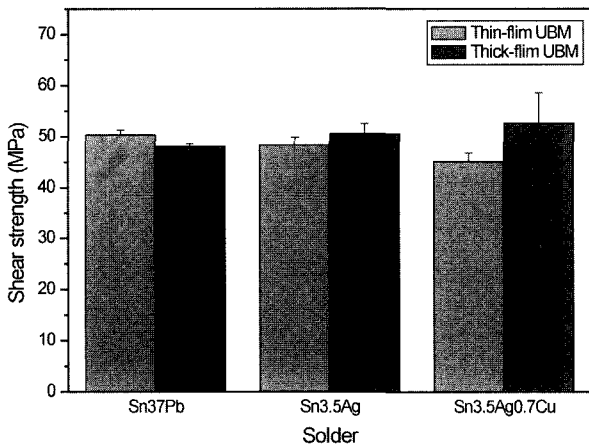


Fig. 3. Effect of UBM thickness on shear strength in air reflow soldering (soldering temp.: Sn37Pb: 230°C, Sn3.5Ag(0.7Cu): 250°C).

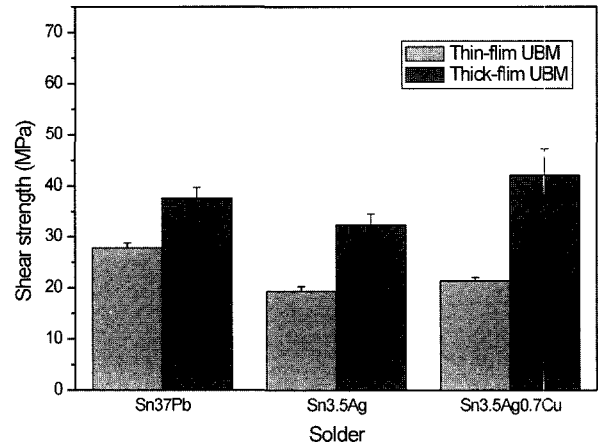


Fig. 4. Effect of UBM thickness on shear strength in plasma soldering (plasma condition: Ar-10vol% H_2 , 150 W).

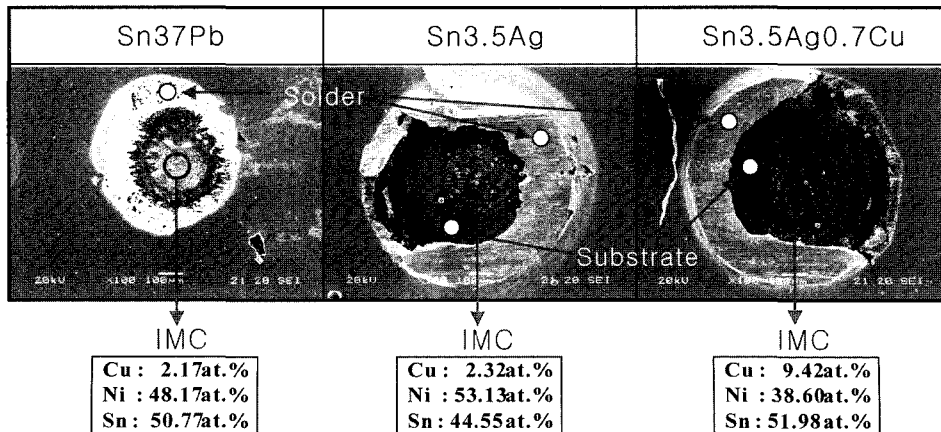


Fig. 5. Fracture surface of solder ball bonded on thin-film UBM by plasma treatment after shear strength test.

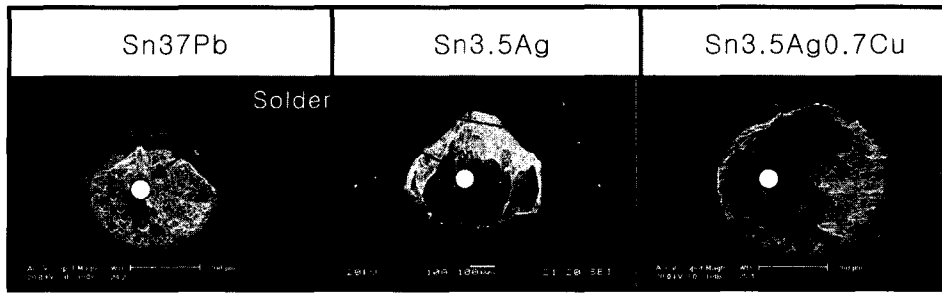


Fig. 6. Fracture surface of solder ball bonded on thick-film UBM by plasma treatment after shear strength test.

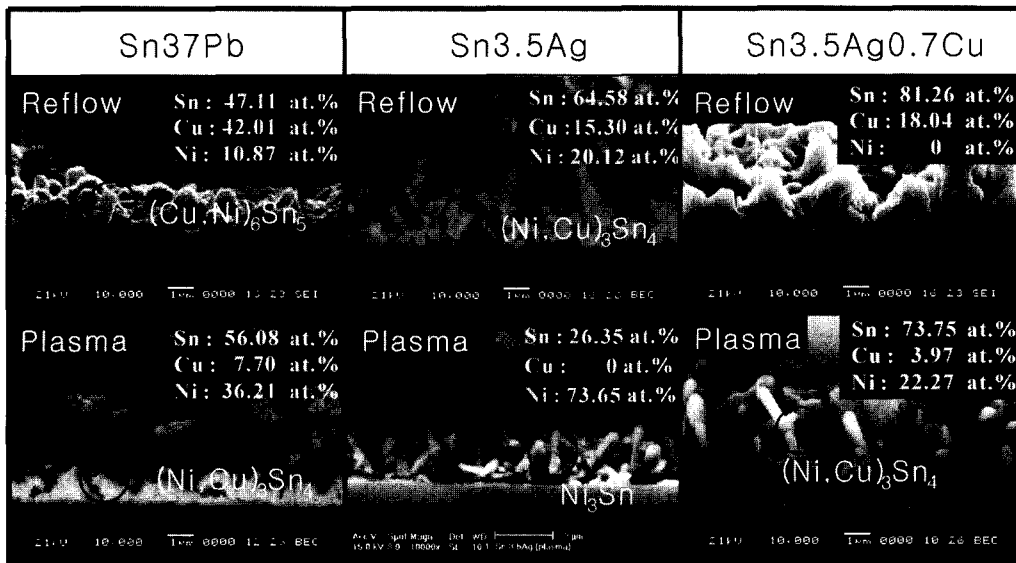


Fig. 7. Cross-sectional view of the interface between solder and thin UBM on Si-wafer (reflow; air reflow, plasma; plasma reflow air reflow temp.: Sn37Pb 230°C, Sn3.5Ag and Sn3.5Ag0.7Cu 250°C plasma condition: Ar-10vol%H₂, 150 W, 60 sec).

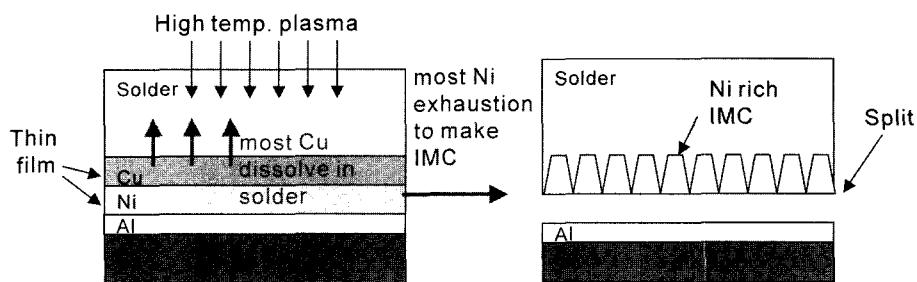


Fig. 8. Schematic illustration of splitting mechanism of the interface between solder and thin UBM after plasma soldering.

인 Cu의 함량은 불과 2~9%, 하층인 Ni의 함량은 39~48%로 나타났다. 이것은 UBM층의 Cu가 모두 반응으로 소실되고, Ni까지 금속간화합물 형성에 관여하였음을 의미한다. 이러한 박리현상은 3.2절에서 보다 다시 기술하기로 한다(그림 8 참조).

한편, 그림 6는 두꺼운 UBM이 적층된 기판에 플라즈마 솔더링한 시편의 진단시험 파면을 보인 것이다. 세 솔더 모두에 있어서 얇은 UBM 때와는

달리, 솔더에서 파단이 일어났음을 알 수 있다. 따라서, 두꺼운 UBM의 경우 고온의 플라즈마하에서 비록 솔더와 과도한 반응이 일어나더라도 UBM층이 모두 소진되지 않고 존재함을 알 수 있다. 이로 인하여, 얇은 UBM과는 달리 계면 박리현상이 발생하지 않으며, 그림 4에 보였듯이 두꺼운 UBM의 경우 솔더링부 강도가 더 크게 나타난 것으로 판단된다.

3.2 접합부 계면

그림 7은 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 솔더를 Au(20 nm)/Cu(300 nm)/Ni(400 nm)/Al(400 nm)의 얇은 UBM이 증착된 Si-wafer에 각각 플럭스 리플로 솔더링과 무플럭스 플라즈마 솔더링한 경우의, 접합계면부를 분석한 결과이다.

그림에서 보듯이 대기중 리플로 솔더링한 경우에 형성된 금속간화합물에는 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 솔더에서 각각 42%Cu-10.9%Ni, 15%Cu-20.1%Ni, 18%Cu-0%Ni의 Cu와 Ni이 함유되어 있다. 즉, 대체로 Cu의 함량이 많고, Ni의 함량이 Cu에 비해 적은 경향을 보인다. 그러나 플라즈마 솔더링을 행한 경우의 금속간화합물에는 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu 솔더에서 각각 7.7%Cu-36.2%Ni, 0%Cu-73.7%Ni, 4%Cu-22.3%Ni의 Cu와 Ni이 함유되어 있다. 즉, Ni의 함량이 Cu에 비해 압도적으로 많음을 알 수 있다. 이것은 UBM의 보다 상층에 존재하는 Cu층이 모두 반응하고 소실된 후에 보다 하층의 Ni이 솔더와 금속간화합물을 만들기 때문에 발생한 현상인 것으로 판단된다. 또, 플라즈마 솔더링의 경우, 그림에서 보듯이 금속간화합물과 기판 사이에 균열이 발생하여 박리가 일어나 있음을 알 수 있다. 박리현상은 그림 5의 표면분석에서도 확인된 바 있는데, 이것은 400 nm 두께로 미량 도금된 Ni 마저 솔더와의 반응에 대부분 소진되어 발생한 것으로 보인다. 이 결과는 플라즈마 솔더링의 경우와 같이 UBM층과 솔더간에 과도한 반응이 일어나면 UBM층이 소실되면서 균열이 발생될 수 있다는 것을 실증한 것으로, 과도 반응의 중요성을 다시 한 번 보여준다. 이러한 계

면의 박리현상은 결국 그림 4에 보인 바와 같이 강도저하를 유발하며, 범프단자를 통한 통전시 저항을 증가시키는 치명적인 결함을 생성한다. 그림 8은 플라즈마 솔더링시 접합계면 박리현상을 간단히 모식적으로 보인 것이다.

그림 7에서 특히 플라즈마 솔더링의 경우에 Cu층이 대부분 소실되는 이유는 플라즈마 솔더링시 기판의 온도가 다소 높았던 것이 한 원인인 것으로 판단된다. 즉, 솔더와 UBM층과의 과도한 반응 가능성을 조사해보기 위하여, 플라즈마 솔더링 실험 조건인 150 W, 60 sec 상황에서 기판의 온도를 측정하였다. 측정 결과 기판의 온도는 320°C로 나타났다. 이것은 대기중 솔더링시의 230~260°C보다 60~90°C 높은 것이다. 이로 인해 UBM층이 얇은 경우 솔더와의 과도한 반응으로 소실현상이 발생된 것으로 사료된다. 아울러, 플라즈마 크리닝과정이나 솔더링 과정에서 Ar⁺ 이온이나, H⁺이온이 UBM층과 충돌하면서 일부 UBM층이 제거되었을 가능성도 배제할 수는 없다.

상기 시험 결과들로부터 플라즈마 솔더링의 경우, 계면균열을 방지하기 위해 UBM층의 두께를 증가시킬 필요성을 느끼게 된다. 그림 8은 UBM의 두께를 20 nmAu/4 μmCu/4 μmNi/400 nmAl로 하여, 반응에 관여하는 중요한 층인 Cu와 Ni을 그림 7 (0.3 μmCu/0.44 μmNi)에 비해 약 10배 정도 두껍게 도금한 경우의 접합 결과이다. 솔더링 조건은 그림 7과 동일하다.

그림에서 보듯이, 플라즈마 및 대기 중 리플로 솔더링한 경우에 균열이 발생되지 않았으며, Cu와 Ni UBM층이 소실되지 않고 존재함을 알 수 있었다.

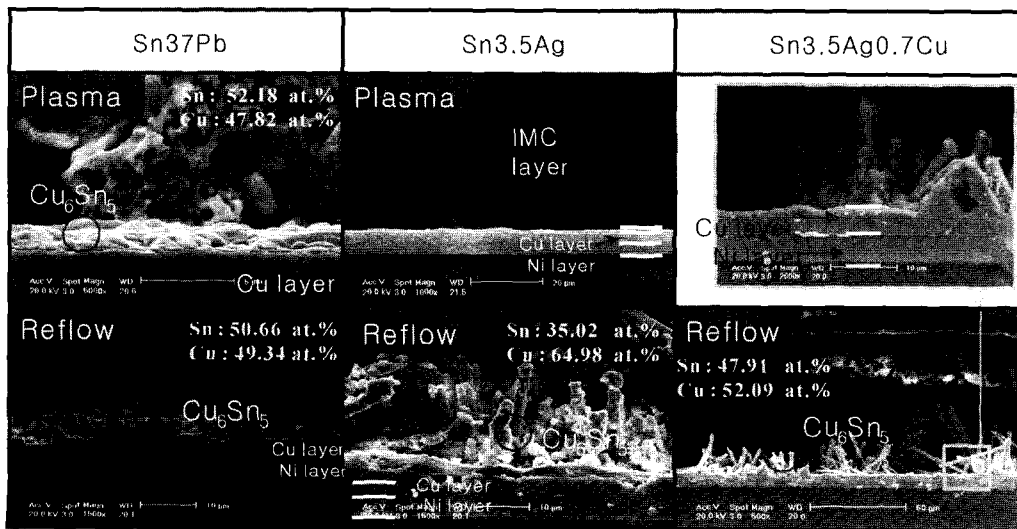


Fig. 9. Cross-sectional view of the interface between solder and thick UBM on Si-wafer (soldering condition: same as Fig. 7).

또한 접합계면에 형성된 금속간화합물에서도 Ni 이 검출되지 않음을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 당연히 Cu UBM층을 4 μm 의 두께로 충분히 공급하였기 때문에, 솔더와의 반응에 Cu층이 모두 소진되지 않아 Ni층이 금속간화합물의 형성에 관여하지 못하였기 때문일 것이다. 그러나, UBM층을 두껍게 하는 데는 시간 및 경비 상승이 필요하므로 보다 정확한 최적 UBM층 두께는 후속 연구를 통해 밝혀 볼 계획이다.

4. 결 론

두께가 다른 UBM층을 Si 웨이퍼에 도금하여 플라즈마 솔더링의 접합부에 미치는 영향을 조사하였다. 도금된 두 종류의 UBM 층은 각각 얇은 경우 Au(20 nm)/Cu(300 nm)/Ni(400 nm)/Al(400 nm), 두꺼운 경우 Au(20 nm)/Cu(4 μm)/Ni(4 μm)/Al(400 nm)이며, 사용된 솔더는 Sn37Pb, Sn3.5Ag, Sn3.5Ag0.7Cu이다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 얇은 UBM일 때 무플럭스 플라즈마 솔더링부의 전단강도 값은 솔더에 따라 19~27 MPa로서, 대기 중에서 플럭스 리플로 솔더링한 경우의 전단강도 값 48~52 MPa의 40~50% 수준을 보였다.

(2) 두꺼운 UBM의 경우 무플럭스 플라즈마 솔더링의 전단강도 값은 솔더에 따라 32~42 MPa로서, 대기 중에서 플럭스 리플로 솔더링한 경우의 전단강도 값 48~52 MPa의 65~80% 수준을 보였다.

(3) UBM층의 두께를 증가시켰을 때, 대기 중 플럭스 리플로 솔더링한 경우의 전단강도 값은 별 차이가 없었으나, 무플럭스 플라즈마 솔더링의 전단

강도 값은 50~70% 향상시킬 수 있었다.

(4) UBM층이 얇은 경우 플라즈마 솔더링부에서 강도가 낮은 것은 UBM층과 솔더와의 과도 반응에 의한 Cu, Ni UBM층의 소실로 접합계면에 균열이 발생한 때문이다. 이러한 현상은 UBM층의 두께를 증가시킴으로써 방지할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2002년 한국 과학재단의 특정기초 연구비 지원(과제번호:R01-2000-000-00227-0)에 의해 작성되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. Gaffney, J. Poarch and D. Delaney, Lead-Free Solder Alloys, 2000 IEEE-ECTC Conference Proceeding, (2000) 1405-1409.
2. J. L. Jellison, J. Golden, D. R. Frear, F. M. Hosking and D. M. Keicher, F. G. Yost, Advanced Soldering Process, (1993) 12.
3. M. Bixenaman and E. Miller, Pro. 5th Int. Joint Symp. on Microelec. and Packing, (2000) 43-55.
4. M. J. Molina and F. S. Rowland: Nature, 249 (1974) 810.
5. G. Takyi, N. N. Ekere, and J. D. Philpott, Solderability Testing in Nitrogen Atmosphere of Plasma Treated HASL Finish PCBs For Fluxless Soldering, 1998 Electronic Components and Technology Conference Proceeding, (1998) 172-179.