

Sn-3Ag-0.5Cu Solder에 대한 무전해 Ni-P층의 P함량에 따른 특성 연구

신안섭^{1,a}, 옥대율¹, 정기호¹, 김민주¹, 박창식¹, 공진호¹, 허철호¹

¹ 삼성전기(주) 부산연구분소

A Study of Properties of Sn-3Ag-0.5Cu Solder Based on Phosphorous Content of Electroless Ni-P Layer

An-Seob Shin^{1,a}, Dae-Yool Ok¹, Gi-Ho Jeong¹, Min-Ju Kim¹, Chang-Sik Park¹,
Jin-Ho Kong¹, and Cheol-Ho Heo¹

¹ Busan R&D Center, Samsung Electro-Mechanics Co., LTD., Busan 618-721, Korea

(Received March 4, 2010; Revised May 3, 2010; Accepted May 20, 2010)

Abstract: ENIG (electroless Ni immersion gold) is one of surface finishing which has been most widely used in fine pitch SMT (surface mount technology) and BGA (ball grid array) packaging process. The reliability for package bondability is mainly affected by interfacial reaction between solder and surface finishing. Since the behavior of IMC (intermetallic compound), or the interfacial reaction between Ni and solder, affects to some product reliabilities such as solderability and bondability, understanding behavior of IMC should be important issue. Thus, we studied the properties of ENIG with P contents (9 wt% and 13 wt%), where the P contents is one of main factors in formation of IMC layer. The effect of P content was discussed using the results obtained from FE-SEM(field-emission scanning electron microscope), EPMA(electron probe micro analyzer), EDS(energy dispersive spectroscopy) and Dual-FIB(focused ion beam). Especially, we observed needle type irregular IMC layer with decreasing Ni contents under high P contents (13 wt%). Also, we found how IMC layer affects to bondability with forming continuous Kirkendall voids and thick P-rich layer.

Keywords: ENIG, LF solder, IMC, P-rich layer, Solder joint reliability

1. 서론

전자 패키지 제품의 요구 특성이 극미세화, 고신뢰성화, 고성능화로 진행됨에 따라 기판 제품의 표면처리특성도 더욱 향상되고 있다. 전자 패키지 산업에서는 ENIG (electroless nickel immersion gold), OSP (organic solderability preservative), ENEPIG (electroless

nickel electroless palladium immersion gold), Immersion Sn과 같은 다양한 표면처리가 적용되고 있으며 각 표면처리는 공정 가격과 신뢰성 등의 장, 단점을 가지고 있다. 그 중 ENIG는 Au에 의한 Ni의 산화방지와 우수한 젖음성을 가지고 있어 널리 사용되고 있으나, solder와 Ni간 취성 파괴 문제를 가지고 있기 때문에 bondability의 특성과 연관된 금속간 화합물 (intermetallic compound, 이하 IMC)층의 거동을 파악하는 것은 제품의 신뢰성과 직결되는 중요한 논점이 되고 있다.

a. Corresponding author; as.shin@samsung.com

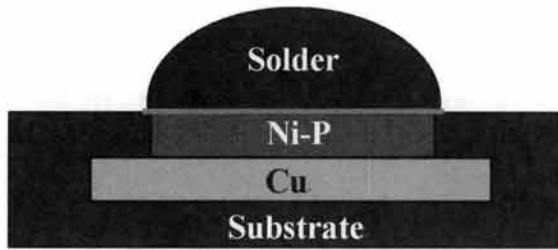


Fig. 1. Schematic diagram of test sample.

Table 1. Sample preparation.

Surface finish	ENIG
Solder	Sn-3.0Ag-0.5Cu
P content	9 wt%, 13 wt%
Reflow profile	240 ± 5°C, 40 s, 4 times
Solder etchant	90%CH ₃ OH-10%HNO ₃

이와 관련하여 Zequn Mei는 IMC층의 fracture mechanism을 언급하였는데, 주요 원인으로 첫째 P의 편석에 의한 내부 접합력의 약화, 둘째 도금 공정 진행 또는 후에 산화와 오염에 의한 defect을 형성함으로써 발생하는 Ni-solder간 접합력 감소, 셋째 Ni-P와 IMC 계면에서의 연속적인 미세 voids 등을 언급하였다 [1].

본 연구는 기존 연구들에 의해 제시되고 있는 여러 가지의 주요 인자들 중에서 특히 IMC층의 fracture에 큰 영향을 미칠 수 있는 Ni 도금층 내의 P의 함유량에 따라 금속간 화합물 형상이 어떻게 달라지는지, 그리고 Ni층과 solder간의 접합력은 어떤 영향을 받는지 고찰하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료준비

본 실험에 사용된 테스트 샘플의 Cu pad 직경은 0.5 mm로 제작하였으며 그림 1에 개략도를 나타내었다. 각 layer의 구성은 Cu위에 P함량이 9, 13 wt%의 무전해 Ni-P 도금을 시행하였고, Ni 도금층 표면의

Table 2. Analysis condition for test facilities.

Equipments	Purpose	Condition
FE-SEM (Hitachi, S4600)	IMC shape	5 keV
EDS (Horiba, EMAX)	IMC component	20 keV
EPMA (Jeol, JXA8230)	Interface component	15 keV
FIB (FEI, Novalab200)	Cross section shape	30 keV

산화방지 및 젖음성 향상을 위해 Au를 도금하였다. 또한 표 1에 언급된 바와 같이 총 4회의 reflow 과정을 통해 Ni 도금층과 solder간 금속간 화합물을 성장시켰다. 시료 및 전처리에 대한 자세한 조건은 표 1과 나타낸 바와 같다.

2.2 분석조건

본 연구의 주요 관심대상인 Ni 도금층 내의 P함량은 EPMA를 이용하여 평가하였다. 먼저 P함량에 따른 IMC층 형상을 평가하기 위하여, Ni 도금층과 solder간 계면에서 형성된 IMC를 표 1에서와 같이 etchant를 이용하여 solder를 제거한 후 표면을 관찰하였다. 표 2에는 본 연구에서 IMC의 형상, 성분 및 계면특성평가를 위하여 사용한 분석장비 별 분석조건을 나타내었다.

그리고 Ni 도금층과 solder계면 사이에서 발생하는 파괴모드를 평가하기 위하여, solder ball에 대한 shear 테스트(Dage series 4000)를 실시하였고 테스트 후 solder와 Ni 도금층 사이의 파단면을 SEM-EDS를 이용하여 형태 및 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 P함량에 따른 IMC형상 특성결과

그림 2는 IMC를 형상적으로 관찰한 결과로써 (a)는 Ni내 P함량이 9 wt%로 대부분 (Cu,Ni)₆Sn₅로 구성된 chunky type의 형태를 하고 있으며 (b)의 13 wt%에서는 (Ni,Cu)₃Sn₄의 needle type이 관찰되었다

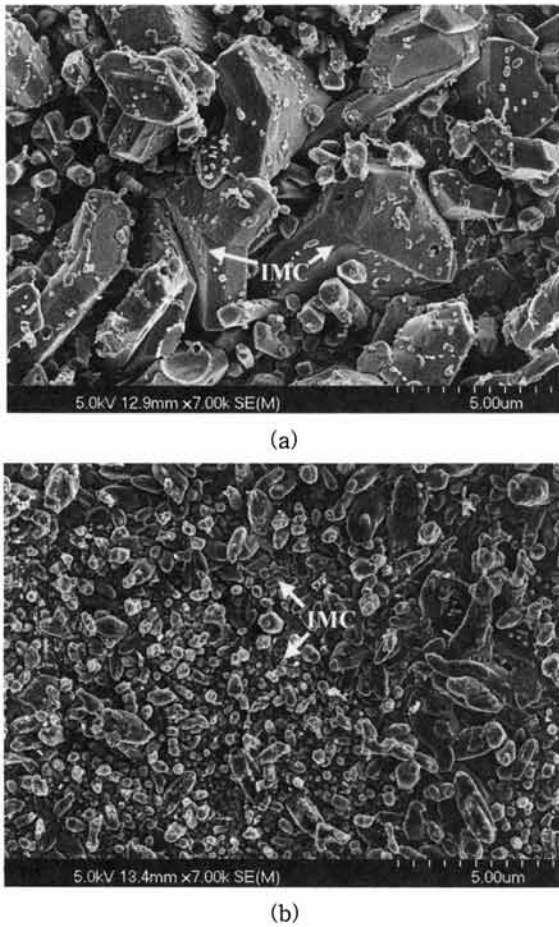


Fig. 2. Top shape of the IMC at the interface by SEM. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

[2]. 이와 같은 type의 차이는 기존 연구에서도 언급된 바와 같이, P함량에 따른 효과로 볼 수 있다. P함량이 낮은 경우에는 IMC층 형성(Ni-Sn)시 필요한 Ni양이 충분하기 때문에 열역학적으로 안정한 형태인 chunky 형상이 되며, 이와 반대로 P함량이 높을 경우 (13 wt%) IMC층 형성(Ni-Sn)시 필요한 Ni양이 상대적으로 부족하여 열역학적으로 불안정한 needle 형상이 된다 [3].

이를 계면간 접합력의 관점에서 살펴보면, P함량이 9 wt%에서는 상대적으로 밀집도가 높고 안정한 chunky type의 IMC층을 형성함으로써 Ni 도금층과 solder간 높은 접합성을 가질 수 있으나, P함량이 13 wt%에서는 한쪽 방향으로 성장된 형태로서 상대적으로 낮은 접합성으로 층간 밀착력에 영향을 미칠 수 있다.

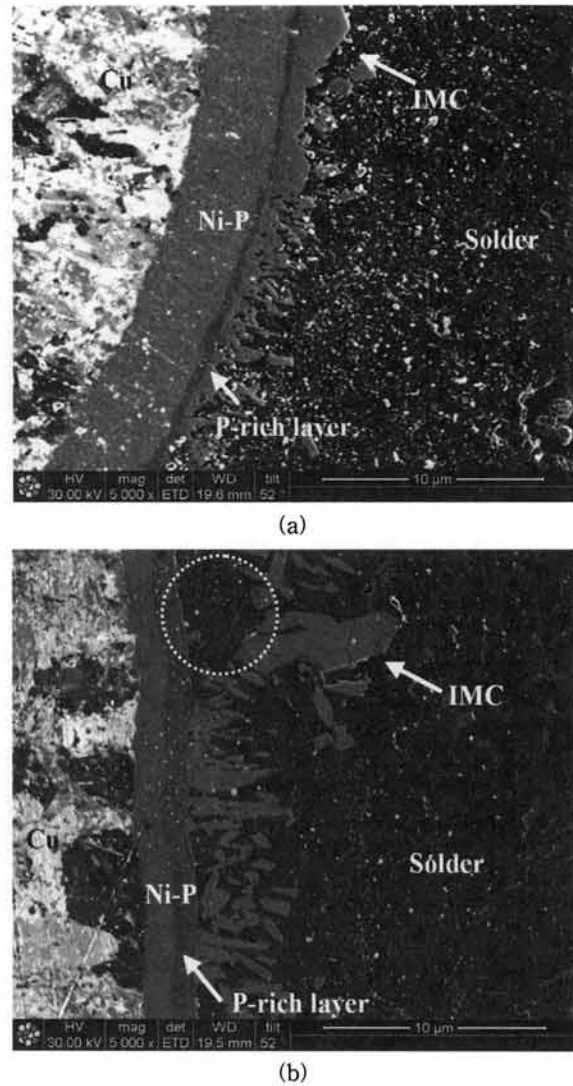
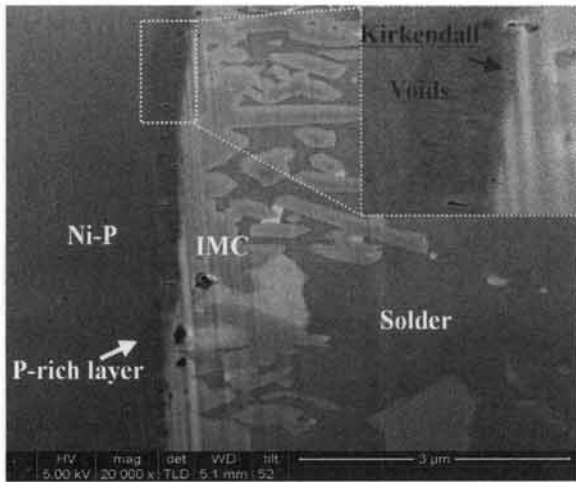


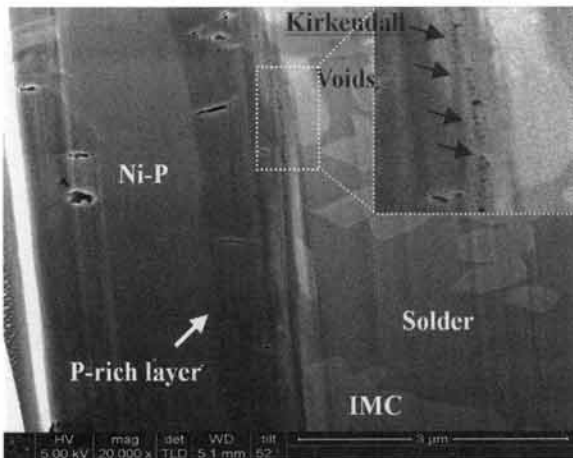
Fig. 3. Cross section shape of IMC and Ni-P layer at the interface by FIB. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

3.2 P함량에 따른 계면 화학반응 특성결과

그림 3은 FIB를 이용한 IMC층과 Ni-P 층의 단면을 나타낸 것으로서 P함량이 높을수록 Ni 도금층의 두께가 낮아진다는 것을 정성적으로 알 수 있다. 이는 P함량이 Ni 도금층의 성장속도와 성장 안정성에 영향을 주며, 높은 P함량으로 인한 낮은 Ni 도금두께로 인해 shear 강도가 낮아지는 결과가 발생한다는 기존연구와 일치하는 결과라고 할 수 있다 [4].



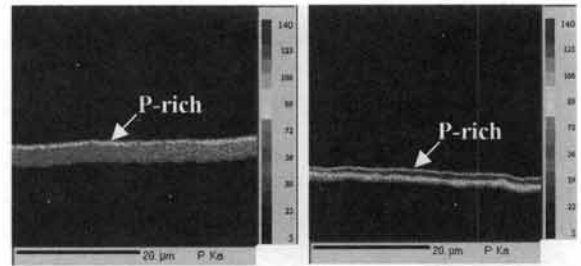
(a)



(b)

Fig. 4. Kirkendall voids at the interface between IMC and Ni-P layer by FIB. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

또 다른 특성으로는 그림 3(b)의 점선 부위와 같이 P함량이 상대적으로 높으면 Ni 도금층과 solder간의 IMC층이 불안정하게 되어, IMC층이 연속적으로 존재하지 않는 부위 등 여러 가지 비정상적인 현상이 발생한다. 이는 무전해 Ni내 P함량이 높으면 IMC층 형성 시 필요한 Ni의 양이 줄어들게 되고, 이로 인해 Ni과 Sn간 금속간 화합물을 제대로 형성하지 못하여 불완전한 IMC층을 형성하기 때문이다 [5]. 그리고 P함량이 13 wt%에서 Ni-solder간 계면에서 떨어진 형태의 비정상적인 IMC가 관찰되는데 이는 과도한



(a)

(b)

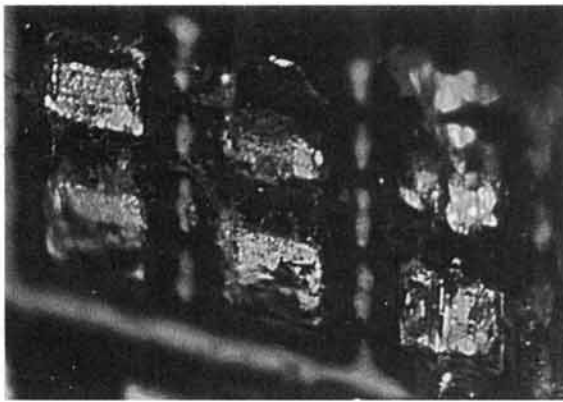
Fig. 5. EPMA mapping of interface between Ni-P layer and Sn-3Ag-0.5Cu. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

reflow반응으로 이상 성장되어 계면에서 분리된 형태로 존재할 수 있다고 기존 연구에서도 보고되고 있다 [3]. 그림 5는 solder joint에 영향을 미칠 수 있는 P 성분을 mapping한 것으로써 P함량이 높을수록 더 넓은 P-rich층(약 1 μm)을 형성 함을 알 수 있다. P-rich층의 형성(Ni₃P)은 금속간 화합물 형성을 위한 Ni과 solder와 반응으로 인하여 이루어지며, 그림 4와 같이 Kirkendall voids도 형성하게 되는데 이는 reflow시 solder내 Sn원자가 Ni-P layer의 Ni원자에 비해 확산속도가 빠르므로 IMC와 Ni-P layer계면에서 발생하게 된다 [5]. 그림 4의 (b)와 같이 연속적인 Kirkendall voids와 그림 5(b) 두껍고 연속적인 P-rich층의 형성은 Ni-P층과 IMC간 계면에서의 응력집중에 의해 취성 파괴에 의한 crack을 유발하게 된다. 따라서 P함량의 최적화를 통해 불균일한 IMC와 P-rich층을 억제하는 것은 무엇보다도 중요하다 [4].

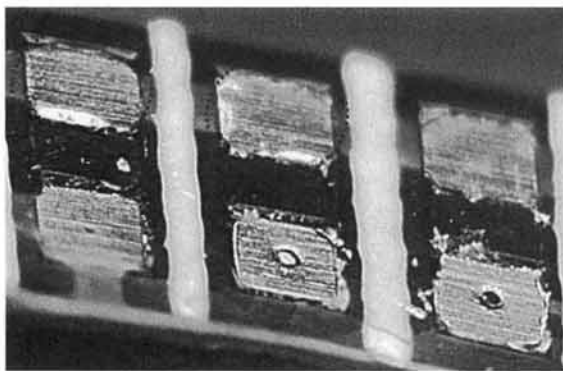
3.3 P함량에 따른 파괴모드 특성결과

그림 6은 부품이 실장된 상태에서 shear test를 한 후 입체현미경으로 관찰한 결과이다. 그림 6의 (a)와 같이 파단면 확인결과 P함량이 9 wt%에서는 IMC와 solder층이 떨어지거나 solder 내부에서 떨어지는 것으로 보아 Ni과 IMC간 강한 밀착력을 가지고 있다는 것을 알 수 있었고 (b)와 같이 P함량이 13 wt%에서는 파단면 확인결과 Ni과 IMC 사이에서 떨어진다는 것을 확인하였다.

그림 7과 8은 파괴모드 평가 후 표면의 형상 및 성분을 좀 더 명확하게 분석하기 위한 결과로써 상대적



(a)



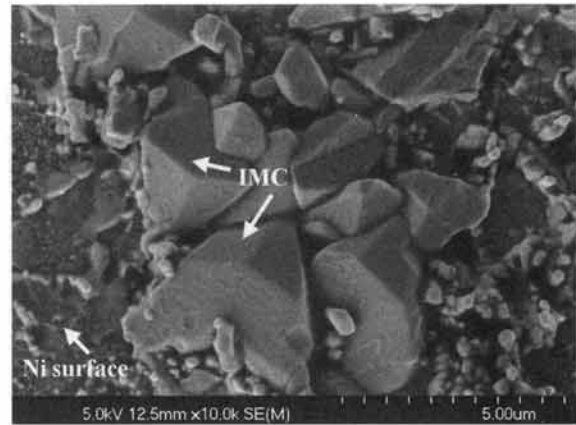
(b)

Fig. 6. OM(optical microscope) images for fracture surfaces after shear test. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

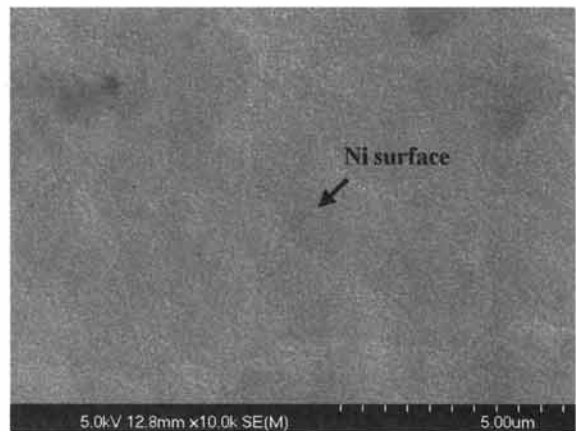
으로 낮은 P함량의 (a)에서는 표면형상 확인결과 Ni와 IMC간 높은 밀착력으로 인해 chunky type의 IMC가 그대로 잔존하였으며, 성분을 확인한 결과 IMC성분이 검출되었다. 하지만 P함량이 높은 13 wt%의 표면을 나타낸 (b)같은 경우는 Ni와 IMC간 낮은 밀착력으로 인해서 Ni 표면이 그대로 드러났다. 즉 Ni와 IMC간 밀착력은 IMC층의 거동 특성과 관련이 있으며 P함량과도 관련이 있다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 산화방지와 우수한 젖음성을 가지는 ENIG 표면처리를 대상으로, 제품의 신뢰성과 직결되는 bondability의 특성과 연관된 금속간 화합물 층의



(a)



(b)

Fig. 7. SEM images of fracture surfaces after shear test. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

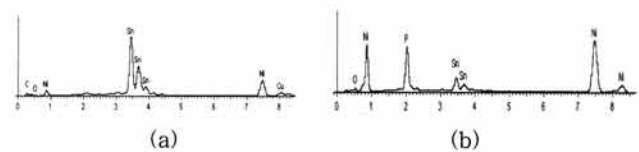


Fig. 8. EDS analysis of fracture surfaces after shear test. (a) 9 wt% P Nickel layer (b) 13 wt% P Nickel layer

거동을 파악하고자 하였다. 특히 IMC층의 fracture에 큰 영향을 미칠 수 있는 Ni 도금층 내 P의 함유량에 따라 금속간 화합물 형상이 어떻게 달라지는지, 그리고 Ni층과 solder간의 접합력은 어떤 영향을 받는지 고찰하고자 하였으며, P함량이 높을 경우 불균일한

IMC층 형성 및 bondability에 좋지 않은 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

차후 Ni 도금층내 P농도와 온도조건에 따른 Ni과 IMC간 계면특성에 대해 좀 더 심도있는 접근이 요구되며, 다양한 표면처리 방법에 따른 IMC층의 특성과 bondability와의 상관관계에 대한 특성 연구도 필요하다고 사료된다.

REFERENCES

- [1] Z. Mei, M. Kaufmann, A. Eslambolchi, and P. Johnson, *Electronic Component and Technology Conference (ECTC)* (IEEE, Seattle, USA, 1998), p. 952.
- [2] S. Lamprecht, K. Johal, H. Roberts, and H.-J. Schreier, *Impacts of Bulk Phosphorous Content of Electroless Nickel Layers to Solder Joint Integrity and their Use as Gold- and Aluminum-Wire Bond* (Atotech, Deutschland, Germany 2004).
- [3] Y.-D. Jeon, S. Nieland, A. Ostmann, and K.-W. Paik, *Electronic Component and Technology Conference (ECTC)* (IEEE, California, USA, 2002), p. 9.
- [4] M. O. Alam, Y. C. Chan, and K. C. Hung, *Microelectron Reliab.* **42**, 1068, 1071 (2002).
- [5] S. F. Tai, A. Ourdjini, Y. L. Khong, V. C. Venkatesh, and M. N. Tamin, *Int'l Symposium on Electronic Materials and Packaging* (IEEE, Kaohsiung, Taiwan, 2002) p. 267.
- [6] D. Goyal, T. Lane, P. Kinzie, and C. Panichas, M. C. Kam, and O. Villalobos, *Electronic Component and Technology Conference (ECTC)* (IEEE, Piscataway NJ, USA, 2002), p. 735.