

플라즈마 유기막과 OSP PCB 표면처리의 Sn-Ag-Cu 솔더 접합 특성 비교

이태영^{1,3} · 김경호¹ · 방정환¹ · 박남선² · 김목순³ · 유세훈^{1,4,†}

¹한국생산기술연구원 용접접합연구실용화그룹, ²제4기한국, ³인하대학교 신소재공학과, ⁴과학기술연합대학원대학교 전자패키징공학과

Sn-Ag-Cu Solder Joint Properties on Plasma Coated Organic Surface Finishes and OSP

Tae-Young Lee^{1,3}, Kyoung-Ho Kim¹, Jung-Hwan Bang¹, Nam-Sun Park², Mok-Soon Kim³ and Sehoon Yoo^{1,4,†}

¹Advanced Welding and Joining R&BD Group, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

²Jesagi Hankook, Ltd., Incheon 405-816, Korea

³Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

⁴Department of Electronic Packaging Engineering, Korea University of Science and Technology, Daejeon 305-350, Korea

(2014년 6월 9일 접수: 2014년 7월 7일 수정: 2014년 7월 30일 게재확정)

초 록: 본 연구에서는 친환경적이고, 보관수명이 1년 이상이며, 부식특성이 좋은 플라즈마 유기막 표면처리에 대한 솔더링 특성을 기존 표면처리법인 OSP와 비교하였다. 플라즈마 표면처리는 할로젠계 전구체를 사용하여 CVD 방법으로 증착하였고, 증착두께는 20 nm이었다. 본 연구에서 사용된 솔더 조성은 Sn-3.0 wt%Ag-0.5 wt%Cu이었다. 염수분무시험에서 플라즈마 표면처리 유기막은 OSP보다 우수한 부식 저항성을 나타내었다. 멀티리플로우 조건에서 플라즈마 표면처리는 OSP보다 우수한 솔더 퍼짐성을 나타내었다. 솔더링 후 단면 미세조직을 분석한 결과, 플라즈마 표면처리와 OSP시편 모두 유사한 금속간화합물층 두께 및 형상을 갖고 있었다. 플라즈마 표면처리와 OSP 모두 유사한 접합강도를 가지고 있었다.

Abstract: Plasma organic thin film for PCB surface finish is a potential replacement of the conventional PCB finishes because of environment-friendly process, high corrosion-resistance and long shelf life over 1 year. In this study, solder joint properties of the plasma organic surface finish were estimated and compared with OSP surface finish. The plasma surface finish was deposited by chemical vapor deposition from fluorine-based precursors. The thickness of the plasma organic coating was 20 nm. Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) solder was used as solder joint materials. From a salt spray test, the plasma organic coating had higher corrosion resistance than the OSP surface finish. The spreadability of SAC305 on plasma organic coating was higher than that on OSP surface finish. SEM and TEM micrographs showed that the interfacial microstructure of the plasma surface finish sample were similar to that of the OSP sample. Solder joint strength of the plasma finish sample was also similar to that of the OSP finished sample.

Keywords: Plasma organic coating, Surface finish, Sn-Ag-Cu, Solder, IMC

1. 서 론

PCB 표면처리는 PCB 제조공정의 마지막 단계로서 산화를 방지하고, 좋은 솔더링성을 보장하기 위해 적용하며, 일반적으로 도금이나 화학처리의 습식방법에 의해 제조된다. 이러한 PCB 표면처리 위에 솔더링이 실시되기 때문에 솔더 접합부의 특성은 표면처리 특성에 좌우되며, 따라서, PCB 표면처리는 솔더 신뢰성에 중요한 역할을 하게 된다.¹⁾ 현재 PCB에 사용되고 있는 표면처리의 종류는 organic solderability protectant(OSP), electroless nickel

immersion gold(ENIG), 치환주석, 치환은 등이다. 특히 OSP는 제조공정단가가 낮아 모바일 PCB, 메모리 모듈, 통신용 PCB 등 광범위한 응용분야에 사용되고 있다. 하지만, OSP나 치환 주석 표면처리의 경우 2회 이상의 리플로우를 실시할 경우 표면처리 층의 열화가 발생하여 젖음성 및 신뢰성이 저하되는 현상이 자주 발생된다.^{2,3)} 예를 들어, PCB 한쪽면에 surface mount technology(SMT) 리플로우 후 반대쪽 면에 웨이브 솔더링을 실시하는 양면실장공정에서 리플로우 실시후 OSP가 열화되기 때문에 웨이브 솔더링 흘 필링 문제가 발생할 수 있다. 특히,

[†]Corresponding author
E-mail: yoos@kitech.re.kr

© 2014, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

두꺼운 PCB를 사용할 경우에는 OSP 열화에 따른 홀 필링 문제가 크게 부각될 수 있다. 또한 OSP는 부식저항성 및 보관수명(shelf life)이 낮은 단점이 있다.

최근 OSP의 낮은 부식저항성 및 낮은 멀티리플로우 특성을 보완하기 위해 플라즈마 표면처리가 도입되었다.⁴⁾ 플라즈마 표면처리는 chemical vapor deposition(CVD)법을 이용해 유기막을 PCB 구리 패드에 증착하는 방법이다.⁵⁾ 플라즈마 표면처리 유기막을 적용한 PCB(Printed Circuit Board)의 보관기간은 1년 이상으로 OSP 표면처리에 비해 2배 정도 긴 보관시간을 가지고 있다.⁶⁾ 또한, 습식 표면처리법은 수세, 산세, soft etching, 도금, 건조의 단계를 거치는 동안 다양한 도금액과 약품류를 사용하게 되므로 근본적으로 폐수발생을 피하기 어려웠지만^{7,8)}, 플라즈마 표면처리는 이러한 폐수의 발생이 거의 없어 친환경적인 공정방법이다.

플라즈마 유기막 표면처리는 최근에 도입된 방법이기 때문에 솔더링 특성에 대한 평가가 많이 보고되지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 플라즈마 유기막의 부식특성과 플라즈마 표면처리 위에 솔더링을 실시하였을 때 솔더 퍼짐성, 계면 반응 특성 및 접합특성에 대해 평가하였고, 기존 표면처리법인 OSP와 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 PCB는 FR-4 재질의 Solder Mask Defined(SMD) 타입의 PCB로 Photo imageable Solder Resist(PSR) 두께는 30 μm 이었다. 구리 패드의 직경은 400 μm , 두께는 10 μm 였다. 제작된 PCB 구리 패드 위에 플라즈마 표면처리를 사용하여 할로젠 기반의 유기막을 증착하였으며, 증착된 유기막의 두께는 약 20 nm였다. 또한, 솔더 접합부 특성을 비교평가하기 위하여 OSP로 표면처리된 PCB를 제작하였다. 솔더링은 표면처리된 PCB의 구리패드에 직경 450 μm 의 Sn-3.0 wt%Ag-0.5 wt%Cu (SAC305) 솔더볼을 마운팅한 후 최고온도 251°C에서 리플로우 공정을 수행하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 SAC305 솔더의 리플로우 프로파일과 리플로우 후 실장된 솔더 볼의 실제 사진이다.

플라즈마 유기막 및 OSP 표면처리의 부식특성은 염수분무시험으로 평가하였다. 염수분무 시험 챔버의 온도는 35°C로 유지되었고, 5 wt%의 염수를 0.098 MPa 압력으로

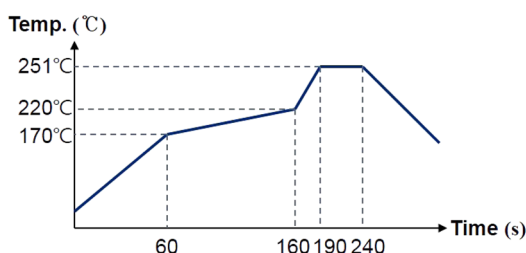


Fig. 1. Reflow profile used in this study.

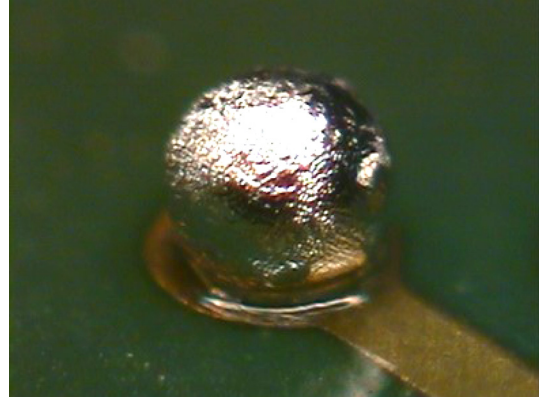


Fig. 2. Optical micrograph of reflowed SAC305 solder balls on plasma organic coating.

일정하게 시험 시편에 분사하였다. 그 후 광학현미경을 사용하여 염수분무 시험 전 초기 상태와 6시간 및 15시간 염수에 노출된 후 부식 정도를 판단하였다. 표면처리의 멀티리플로우 특성은 솔더의 퍼짐성을 분석하여 평가하였다. 퍼짐성은 솔더볼을 구리패드에 마운팅하고, 리플로우를 실시한 후 퍼진 면적을 이미지분석틀로 측정하여 평가하였다. 멀티리플로우에 따른 퍼짐성은 PCB를 여러 번 리플로우 한 후 솔더볼을 마운팅하고 다시 리플로우를 실시하여, 솔더의 퍼진 면적을 구하여 평가하였다. 예를 들어, 5회의 멀티 리플로우 특성을 평가할 경우, 한 시간 간격으로 4회까지 리플로우 후 솔더 볼을 실장하여 다시 1회 더 리플로우를 수행하여 퍼짐성을 측정하였다.

표면처리 위 SAC305의 접합강도는 전단강도시험기(Dage 4000)를 사용하여 분석하였다. 전단 조건은 전단 높이가 40 μm 이었고 전단속도는 200 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 이었다. 접합부의 계면 미세조직은 scanning electron microscope (SEM, FEI Inspect F)과 transmission electron microscope (TEM, JEOL JEM-4010)을 사용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 토론

Fig. 3은 플라즈마 유기막 표면처리와 OSP가 증착된 구리 패드의 TEM 단면 이미지이다. 플라즈마 유기막의 두께는 약 20 nm이며, 두께 균일도는 일정한 것을 확인할 수 있다. 반면, OSP의 경우 두께는 5~120 nm이며, 두께 균일도가 좋지 않음을 확인할 수 있다. 또한, Fig. 3의 (c)에서와 같이 균일도가 극히 낮은 OSP 표면처리층 일부 영역에서 약 5 nm 이하의 얇은 유기막이 확인되었다. 보관수명 측면에서, 시간이 지남에 따라 유기막이 소모될 때 과도하게 얇은 영역은 상대적으로 두꺼운 부분보다 빠르게 소모되어 구리 패드가 공기 중에 노출되고, 산화가 시작되게 된다. 외부로 노출된 부분을 기점으로 산화막이 형성된 후 전파되어 결국 주위에 표면처리층이 남아 있는 부분 역시 내부에서 산화될 확률이 높다. 반대로, 유기막이 과도하게 두꺼운 부분의 경우, 리플로우 공정에

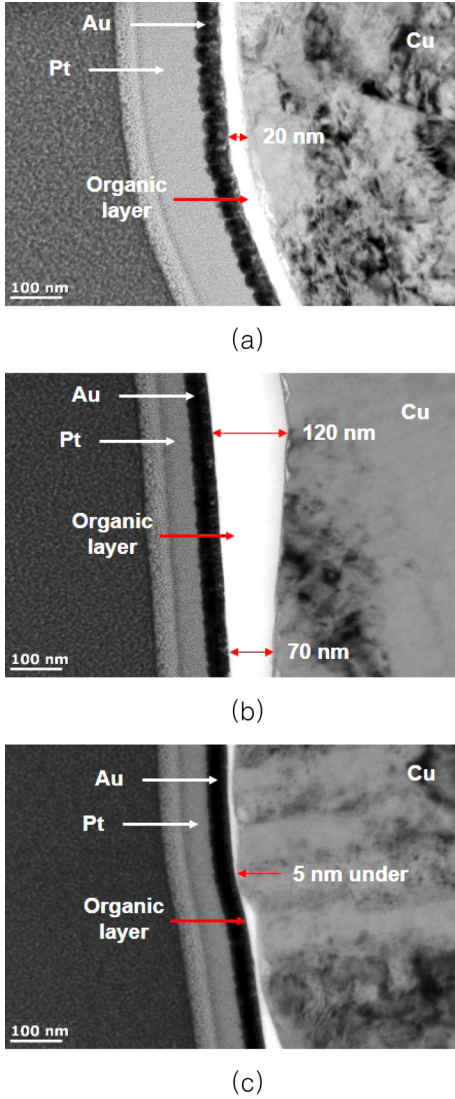


Fig. 3. Cross sectional TEM micrographs of (a) plasma organic coating, (b) OSP 1, and (c) OSP 2.

서 솔더 접합을 방해하여 솔더 젖음성을 저하시킨다.

Fig. 4는 플라즈마 유기막 표면처리와 OSP의 염수분무 테스트 결과를 나타낸다. Fig. 4(a), (b)는 시험 전의 표면 처리를 나타내고, Fig. 4(c), (d)는 염수분무 테스트 6시간이 지난 후의 표면상태이다. Fig. 4 (e), (f)는 15시간이 지난 후 부식상태를 나타낸다. 염수분무 6시간 후에 OSP 표면처리는 부식이 많이 진행된 것과는 다르게 플라즈마 표면처리 시편은 가장자리를 제외한 부분에서 부식이 관찰되지 않았다. 염수분무 테스트가 15시간 지난 후에도 플라즈마 표면처리 시편은 패드 외곽 일부에서만 부식이 진행된 것으로 확인되었다. OSP의 경우 Fig. 3에서처럼 두께가 작은 부분은 거의 수 nm로 매우 얇아, 이러한 두께가 얇은 부분에서 부식이 먼저 발생되어 부식특성이 플라즈마 표면처리에 비해 낮은 것으로 판단된다. 플라즈마 유기막 표면처리의 경우 두께가 얇아지게 되면 마찬가지로 부식이 빨리 일어날 것으로 판단되나, 플라즈마

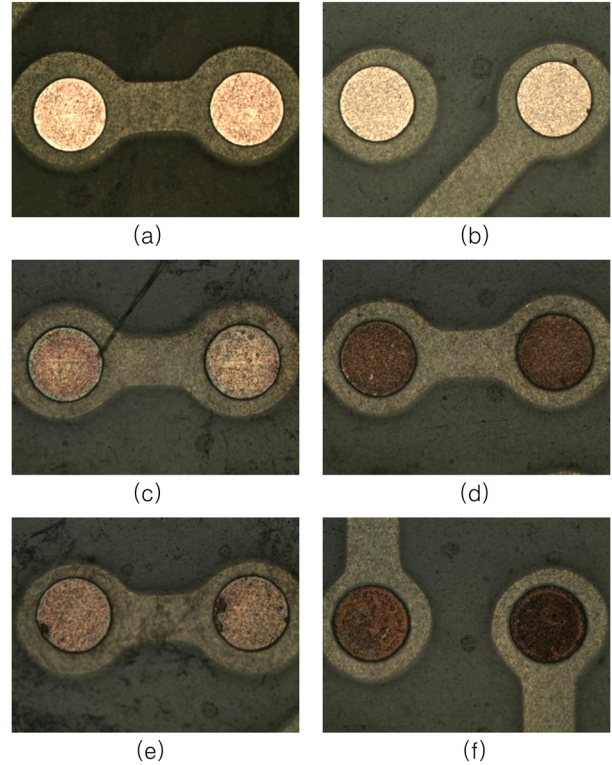


Fig. 4. Optical micrographs after salt spray test; (a), (c), and (e) plasma organic coating and (b), (d), (f) OSP. (a) and (b): as-received surface finish, (c) and (d): after 6 hr of salt spray test, and (e) and (f): after 15 hr of salt spray test.

유기막의 경우 두께 제어가 습식 표면처리에 비해 쉽기 때문에 충분히 공정에서 제어가 가능하다. 두께가 두꺼워지면 부식특성은 향상되지만, 솔더링 시 솔더 젖음 시간이 증가하게 되어 표면처리층 두께에 대한 최적화가 필수적이다.

Fig. 5는 멀티리플로우에 따른 표면처리의 퍼짐성 결과이다. 퍼짐성은 5개의 솔더볼의 퍼진 면적을 멀티리플로우 횟수별로 평균 및 표준편차로 산출하였다. 1회 리플로우 실험에서는 플라즈마 표면처리의 경우 솔더의 퍼진 면적은 0.48 mm²이었고, OSP는 0.36 mm²로써 플라즈마 표면처리가 퍼진 면적이 넓은 것을 알 수 있었다. 멀티리플

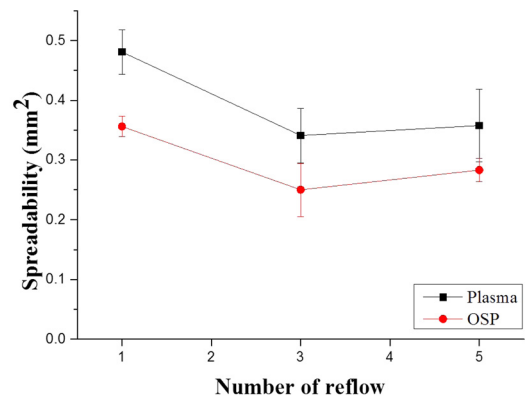
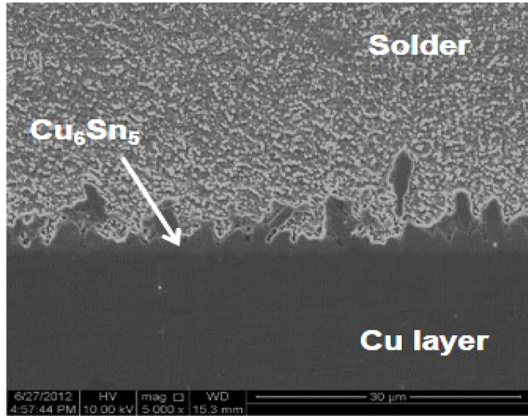
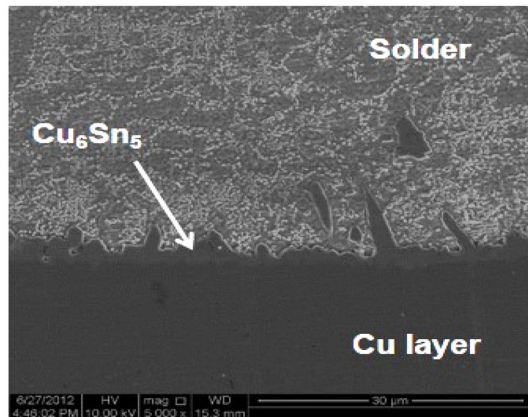


Fig. 5. Spreadability of surface finish with multi-reflow



(a)

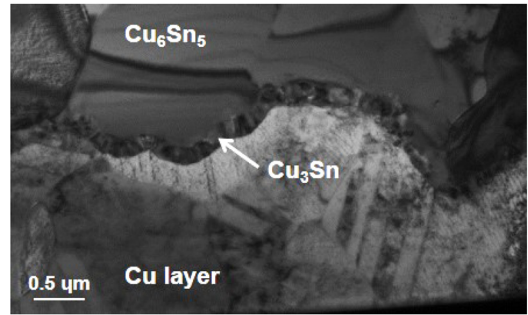


(b)

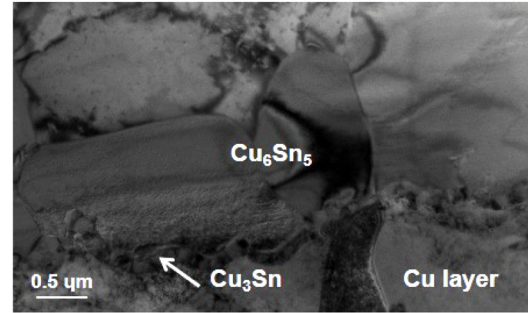
Fig. 6. Cross-sectional SEM micrographs of SAC305 solder joint of (a) plasma organic coating and (b) OSP sample.

로우 횟수가 2회에서 3회로 올라가면서, 플라즈마 및 OSP시편 모두 솔더의 퍼짐성이 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 이것은 멀티리플로우 3회부터 PCB 표면처리층의 열화로 인해 구리패드의 산화가 일어나게 되어 전반적으로 퍼짐성이 저하됨을 보여준다. 낮아진 퍼짐 특성에도 불구하고, 멀티리플로우 3회 이상에서 플라즈마 표면처리가 OSP에 비해 약 0.1 mm² 가량 퍼짐성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 퍼짐성 테스트는 솔더의 젖음성을 간접적으로 알 수 있는 평가법이며, 퍼짐성이 감소한 것은 솔더의 젖음성이 멀티리플로우 횟수에 따라 감소함을 보여주는 것이다. 따라서, 플라즈마 표면처리는 멀티리플로우 횟수가 증가하면서 OSP와 마찬가지로 솔더 젖음성이 낮아지지만, OSP에 비해서는 높은 젖음성을 보임을 확인하였다. 이러한 결과는 멀티리플로우 환경에서 플라즈마 유기막 표면처리가 OSP보다 우수한 것을 의미한다.

Fig. 6은 솔더링 후 접합부 단면 SEM 이미지이다. 단면 SEM 이미지에서 플라즈마 표면처리의 솔더링 후 Cu₆Sn₅ 금속간화합물층 (IMC) 두께는 약 3.39 μm이었고, OSP IMC 두께는 3.26 μm로서 두 표면처리 모두 유사한 IMC 두께를 보였다. 또한, IMC의 형태도 두 조건 모두 유사한 것으로 판단되었다. Fig. 7은 두 표면처리 샘플의 솔더



(a)



(b)

Fig. 7. TEM micrographs of SAC305 solder joint of (a) plasma organic coating and (b) OSP.

링 후 TEM 단면미세조직을 관찰한 것이다. TEM 미세조직 분석에서 두 표면처리 샘플 모두 수십 nm 크기의 Cu₃Sn IMC층이 Cu₆Sn₅와 Cu 사이에 형성된 것을 확인하였다. 또한, Cu₃Sn층의 두께 및 형상도 플라즈마와 OSP 표면처리 샘플 모두 유사함을 알 수 있었다. 플라즈마 표면처리와 OSP는 유기막이 구리 패드 위에 증착되는 동일한 구조를 갖는다. OSP와 마찬가지로 플라즈마 표면처리도 솔더링 시 플럭스 활성화 온도에 이르면 유기막이 분해되고, 유기막 아래에 있는 구리패드가 용융솔더와 접촉하여 계면반응이 일어나게 된다. 따라서, 플라즈마 유기막은 OSP와 같이 솔더-구리 계면반응에 참여하지 않으므로 계면 미세조직이 유사하고 IMC 두께 또한 유사한 것이다.

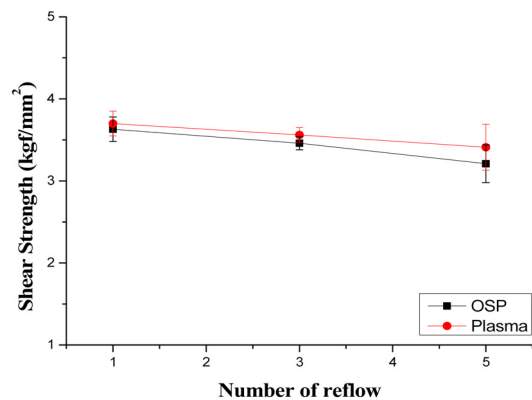


Fig. 8. Shear strength of SAC305 solder joint of plasma organic coating and OSP samples with number of multi-reflow.

멀티리플로우에 따른 플라즈마 표면처리와 OSP의 접합강도 시험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 시험 조건에 따라 각 20개 시험시편에 대한 시험을 수행하였다. 멀티리플로우 횟수가 증가하면서 접합강도는 다소 감소하는 경향을 보여주었다. 1회 리플로우 시 플라즈마 표면처리는 3.60 kg/mm^2 , OSP는 3.63 kg/mm^2 의 접합강도 특성을 나타내었고, 멀티리플로우 횟수가 증가하여도 두 표면처리 시편의 솔더 접합강도는 매우 유사한 결과를 나타내었다. 솔더의 접합강도는 계면 미세조직에 따라 변화하며, 플라즈마 표면처리와 OSP 모두 유사한 계면 미세조직 및 IMC 두께를 갖고 있어 두 표면처리의 접합강도도 유사한 경향을 보여주는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라즈마 유기막과 OSP 표면처리에서 Sn-Ag-Cu 솔더의 접합특성을 비교 평가하였다. 플라즈마 유기막은 OSP보다 높은 증착 균일도를 나타내고, 부식 특성 역시 우수한 것을 확인하였다. 멀티리플로우에 따른 퍼짐성 시험 결과에서 리플로우 3회 이후 두 가지 표면처리 모두 퍼짐성이 저하되는 경향을 나타내지만, 플라즈마 표면처리의 퍼짐성이 OSP보다 우수하였다. OSP는 두께가 5 nm 이하로 거의 코팅되지 않는 부분이 있어 이 부분에서 부식과 산화가 발생하는 반면, 플라즈마 표면처리의 경우 두께 균일도가 좋아 OSP보다 부식 및 멀티리플로우 특성이 높았다. 솔더링 후 접합강도와 IMC 두께, 미세조직 모두 플라즈마 표면처리와 OSP가 유사한 결과를 나타내었다. 따라서, OSP 대비 플라즈마 유기막 표면처리의 우수한 부식 특성 및 젖음 특성은 솔더링 공정에서 솔더 불량을 낮추고, 부식신뢰성을 높여줄 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 산업통상자원부의 글로벌 전문기술개발사업(과제번호: 10044771) 으로 수행되었습니다.

References

1. M. H. Jeong, J. M. Kim, S. Yoo, C. W. Lee, Y. B. Park, "Effect of PCB surface finishes on intermetallic compound growth kinetics of Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bump", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 17(1), 81 (2010).
2. W. M. Chen, P. McCloskey, S. C. O'Mathuna, "Isothermal aging effects on the microstructure and solder bump shear strength of eutectic Sn37Pb and Sn3.5Ag solders", *Microelectron. Reliab.* 46, 896 (2006).
3. J. Y. Sung, S. E. Pyo, J. M. Koo, J. W. Yoon, B. I. Noh, S. H. Won and S. B. Jung, "Effect of Multiple Reflows on Mechanical and Electrical Properties of ENIG/Sn-3.5Ag/ENIG Ball Grid Array (BGA) Solder Joint", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 16(1), 7 (2009).
4. F. Ferdinandi, "Introduction of a New PCB Surface Finish for the Electronics Industry", San Diego, CA, Surface Mount Technology Association Int'l Conf. (SMTA) (2009).
5. A. Brooks, G. Hennighan, S. Woollard, T. Werne, "A Plasma Deposited Surface Finish for Printed Circuit Boards", *IPC APEX EXPO Proceedings* (2012).
6. W. S. Chao, W. H. Wang, T. C. Luo, T. C. Huang, M. C. Liao and T. H. Wei, "The Comparison on The Corrosion Resistance of Different Kinds of PCB Surface Finishing: OSP, LF HASL and ENIG", *IEEE, Microsystems Packaging Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT)* (2012).
7. R. Schueller, "Considerations for Selecting a Printed Circuit Board Surface Finish", Orlando, Surface Mount Technology Association Int'l Conf. (SMTA), (2010).
8. G. Morose, S. Shina and R. Farrell, "Supply chain collaboration to achieve toxics use reduction", *J. Clean. Produc.*, 397 (2011).