

# 솔더범프와 Ag-Pd 후막도체의 접합 신뢰성 및 계면반응 (Reliability of Joint Between Solder Bump and Ag-Pd Thick Film Conductor and Interfacial Reaction)

김경섭, 이종남\*, 양택진\*  
여주대학 전자과, \*한국델파이 전자연구소

## Abstract

The requirements for harsh environment electronic controllers in automotive applications have been steadily becoming more and more stringent. Electronic substrate technologists have been responding to this challenge effectively in an effort to meet the performance, reliability and cost requirements. An effect of the plasma cleaning at the alumina substrate and the IMC layer between Sn-37wt%Pb solder and Ag-Pd thick film conductor after reflow soldering has been studied. Organic residual carbon layer was removed by the substrate plasma cleaning. So the interfacial adhesive strength was enhanced. As a result of AFM measurement, Ag-Pd conductor pad roughness were increased from 304nm to 330nm.  $Cu_6Sn_5$  formed during initial reflow process at the interface between TiWN/Cu UBM and solder grew by the succeeding reflow process so the grains had a large diameter and dense interval. A cellular-shaped  $Ag_3Sn$  was observed at the interface between Ag-Pd conductor pad and solder. The diameters of the  $Ag_3Sn$  grains ranged from about 0.1~0.6 $\mu m$ . And a needle-shaped  $Ag_3Sn$  was also observed at the inside of the solder.

## 1. Introduction

자동차 전자부품은 일반 가전제품보다 긴 보증기간과 연관해서 오랜 동작수명을 필요로 한다. 때문에 자동차에 사용될 전자부품의 패키지는 높은 신뢰성과 함께 소형화, 경량화, 저가격의 특성이 요구된다. 자동차 전자부품들의 사용환경은 자동차 내부에서의 각각의 위치에 따라 다르다. 자동차 보닛 내부의 ECM(Engine Control Module)은 각종 센서로 받아들인 자동차의 상태 및 운전자의 지시를 통합, 판단하여 엔진 구성품 및 액츄에이터들을 구동시킨다. 이를 통해서 배기가스의 저감, 연료절감, 출력향상, 운전성 향상 등을 도모한다.<sup>1)</sup> 현재 ECM은 다층 세라믹 기판위에 설계되고, 플립칩 기술을 적용하고 있다. 플립칩 기술은 소자와 기판의 전기적인 연결이 소자의 알루미늄 전극에 형성된 돌기형태의 외부 접속단자를 통해 직접 기판의 랜딩 패드(landing pad)에 연결된다. 따라서 와이어 본딩 방식보다 짧은 접속 길이로 전기적·열적인 성능의 향상을 도모할 수 있다.<sup>2)</sup> 그러나 세라믹 기판을 보관하거나 제조 도중에 대기중에 노출되어 도체 패드등의 표면이 산화되어 재료들간의 계면 접착력을 저하시킨다. 이러한 요소에 의해 도체 패드와 솔더 범프의 솔더링 불량, 과도한 금속간 화합물(intermetallic compound, IMC)의 성장과 균열등의 문제점이 발생하고 있다.<sup>3, 6)</sup> 때문에 솔더 접합부의 장기신뢰성에 대한 문제점이 해결해야 할 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 플라즈마 처리 유무에 따라 세라믹 기판 표면의 오염세척 정도와 표면거칠기를 분석하였다. 또한 솔더범프와 TiWN/Cu UBM(Under Bump Metallurgy), 솔더범프와 Ag-Pd

후막 도체 패드 계면에서 리플로우 시 형성되는 각각의 IMC의 형상과 성장 변화를 관찰하였다. 이와 같은 연구는 자동차 전장품인 ECM 제품의 장기 신뢰성 향상에 크게 기여할 것이다.

## 2. Experimental

실험에 사용된 제품은 32bit 마이크로 프로세서가 실장된 ECM 제품이다. 96% 알루미나( $Al_2O_3$ ) 기판의 크기는  $69.5 \times 82.5$ mm이고, 두께는 0.9mm이다. 도체 패드는 스크린 인쇄 공정으로 제조하였고, DuPont 3:1 Ag/Pd 도체는 Ag 분말, Pd 분말, 레진과 솔벤트로 구성하였다. 기판에 후막 패이스트를 이용하여 회로를 구성한 후  $150^\circ C$  분위기의 이송 노에서 10분간 건조하였다. 이후 최고온도  $850^\circ C \pm 3^\circ C$ 에서 10분동안 소결하였고, 전체 소성시간은 30분이며, 승온속도는  $10^\circ C/min$ 이다. 플립 칩 패키지의 크기는  $8230 \times 8344 \mu m$ 이고, 두께는  $737 \mu m$ 이다. 표면에 199개가 형성된 솔더범프의 높이는  $122 \pm 25.4 \mu m$ , UBM 직경은  $114 \mu m$ 이다. UBM 구성은 TiWN( $2700 \text{ \AA}$ )/Cu( $5300 \text{ \AA}$ )의 비율로 스퍼터 증착하였고, 상부에 Sn-37wt%Pb 조성의 솔더를 전기 도금법으로 제조하였다.

플럭스 도포 후 리플로우에 사용된 장비는 적외선·열풍 혼합방식으로 전체 리플로우 시간은 530초이고, 컨베이어 속도는 60inch/min이다. 최고 온도 설정은  $225 \pm 2^\circ C$ 에서 12초, 액상상태 유지 시간은 80초로 하였다. 솔더 표면의 산화막을 제거하고, 솔더의 접합 특성을 향상시키기 위해 Ag-Pd 후막 도체용 RMA(Rosin Mildly Activated) 타입의 플럭스를 적용하였다. 플라즈마 처리는 13.56MHz의 RF 제너레이터로 발생되는 PX-1000(March Co.) 장비를 사용하였다. 플라즈마 처리 조건은 아르곤 가스 중에서 RF 전력  $300 \pm 10$ watt, 시간  $300 \pm 10$ sec, 압력  $100 \pm 20$ torr, 유량  $300 \pm 10$ sccm의 조건에서 행하였다. 시료의 표면 성분 분석은 AES(Auger Electron Spectroscopy: PHI-680)를 이용하였고, 인가 전압과 전류는 각각 10kV, 10nA를 이용하여 분석하였다. 그리고 as-received 분석이 끝난 후 raster size를  $5 \times 5$ mm 크기로 0.5분 표면 예칭 후 다시 분석을 수행하였다. 통상적으로 0.5분 표면 예칭할 경우 산화막(oxide) 기준으로 약 20~30Å 정도 예칭이 된다. 플라즈마 처리에 따른 표면의 거칠기 변화를 분석하기 위해 기판에 형성된 도체 패드와 탄소 저항을 AFM(Automic Force Microscope)으로 관찰하였다.  $10 \times 10 \mu m^2$ 의 scan area에 대해서 제곱평균(root mean square, RMS) 거칠기를 측정하였다. 신뢰성 실험후 시편은 에폭시로 마운팅하고 절단하여 시편의 단면을  $0.05 \mu m$   $Al_2O_3$  분말로 미세연마하였다. 예칭은 ortho-nitrophenol+NaOH 용액을 사용하여 IMC층만을 남기고 솔더를 선택적으로 부식시켰다. 솔더 접합부의 형상과 IMC 분석은 FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscopy: S-4700)과 TEM(Transmission Electron Microscopy: JEM-2010UHR)을 이용하여 수행하였다.

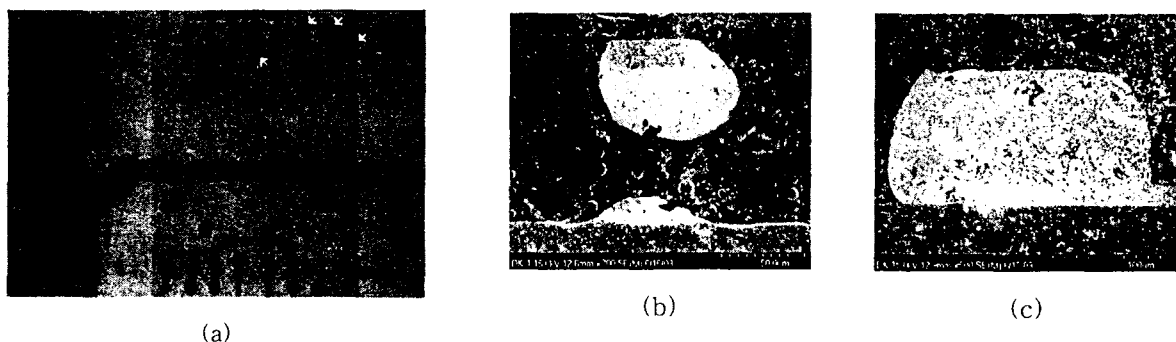


Fig. 1 (a) The X-ray radiography of sample after solder bumps bonding on substrate (b) no welding joint (c) good welding joint

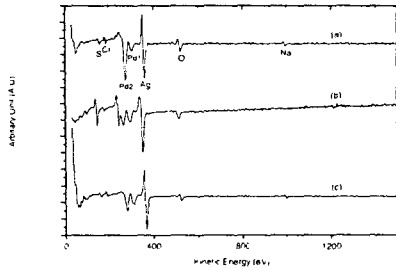


Fig. 2 Auger analysis of ECM substrate before and after plasma cleaning (a) before (b) after (c) 30Å etch

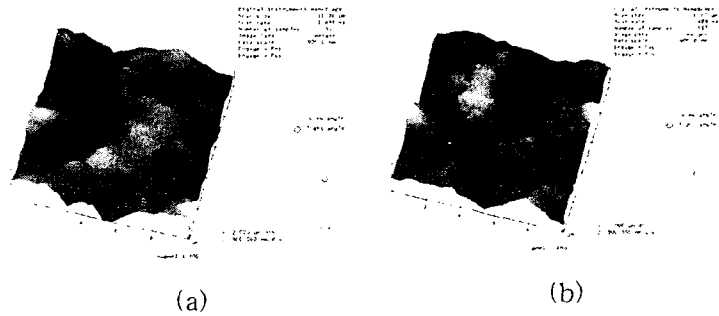


Fig. 3 AFM surface micrographs of Ag-Pd conductor pads (a) before plasma cleaning (b) after plasma cleaning

### 3. Results and Discussion

솔더 접합부의 신뢰성에 영향을 미치는 인자는 모재 표면의 오염, 접합부 계면에서의 기공(void) 발생, IMC의 성장 두께, 솔더범프의 형상과 리플로우 온도 및 시간 등이다. 일반적으로 X선 투과 검사는 솔더 접합부의 기공이나 단락과 같은 특정한 불량을 찾아낼 수 있다. 플립 칩의 실장을 마친후 X선을 사용하여 검사한 결과 Fig. 1(a)와 같이 솔더범프가 접합되지 않은 솔더링 불량 현상이 발생하였다. 그림에서 우측 상단에 표시된 화살표 부분이 미접합된 부분임을 알 수 있다. Fig. 1(b)는 미접합된 범프의 단면사진을 나타내었다. 이와 같은 원인은 패드 오염, 리플로우 프로파일 조건, 범프의 치수 정밀도 등을 원인으로 들 수 있다. Ag-Pd 도체 패드의 오염정도를 파악하기 위해서 알루미늄 기판을 대상으로 플라즈마 처리 유무에 따른 도체 패드 표면을 AES로 분석하여 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Pd은 330eV의 에너지 영역에서 auger peak가 나타난다. Fig. 2(a)에서 플라즈마 처리 이전의 시료인 Pd2에서는 C와 Pd가 혼재되어 있는 것으로 분석된다. 그러나 Fig. 2(b)와 같이 플라즈마 처리후에는 C 성분이 제거되는 것으로 판단된다. 플라즈마 처리된 시료는 플라즈마 처리를 하지 않은 시료에 비해 주로 C 성분이 감소하였고, Cl, Na 등의 성분도 감소하는 경향을 보였다. 따라서 계면 접착력에 영향을 미치는 오염 성분은 C 성분으로 판단된다. 즉, energetic species인 Ar에 의한 이온충격(bombardment) 효과에 의해 반응성이 강한 CO 등의 휘발성 물질이 생성되어 표면에서 탈리되어 진다. 이를 통해 계면 접착력을 저해하였던 C에 의한 유기 잔류물층이 제거되어 계면 접착력을 향상시키는 것으로 판단된다<sup>7,8)</sup>. 또한 0.5분 에칭된 Fig. 3(c)와 비교하면 표면에 형성된 C 성분의 두께는 약 20~30Å 정도로 예측할 수 있다.

Fig. 3에 ECM 기판을 플라즈마 처리 한 뒤 Ag-Pd 도체 패드와 탄소 저항의 거칠기를 AFM으로 분석하였다. Fig. 3(a)는 플라즈마 처리를 하지 않은 도체 패드로 304nm를, Fig. 3(b)의 플라즈마 처리된 도체 패드는 330nm를 나타내었다. 또한 플라즈마 처리를 하지 않은 탄소 저항 표면은 17.8nm를, 플라즈마 처리된 탄소 저항은 21.6nm로 측정되었다. 따라서 플라즈마 처리 효과로 표면의 RMS 거칠기가 증가하였다. 이와 같은 결과는 세라믹 기판에서 접합부 표면의 표면적을 증가시켜서 이종 재료간의 접착력을 향상시키는 요소로 판단된다<sup>7)</sup>.

Fig. 4는 Sn-37wt%Pb 솔더와 TiWN/Cu UBM 계면에서 리플로우 과정에서 형성된 IMC의 형상과 성장 변화를 관찰하였다. 시편의 솔더를 선택적으로 녹여낸 후에 FESEM을 이용하여 관찰한 사진이다. Fig. 4(a)는 솔더와 UBM 계면에서 Cu와 Sn의 반응에 의해 약 15~32μm 크기의 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>(η)가 형성되었다. 이때의 조성은 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 분석결과

Cu는 38.16wt%이고, Sn은 61.84wt%으로 분석되었다. Fig. 4(b)와 같이 초기 리플로우 시 형성된 IMC는 리플로우 횟수가 증가할수록 결정의 크기도 커짐을 확인하였다. 리플로우 1회 시편이 리플로우 2회 과정을 거치면서 상대적으로 결정립이 조대화되어, 다각형 형상이 뚜렷하게 관찰되었다. 또한 결정간의 간격도 점차 조밀해지는 것을 알 수 있었으며, 리플로우 과정을 3회 처리하면 결정립의 크기는 약 30~55 $\mu\text{m}$ 로 성장하였다. 이와 같은 결과는 Fig. 4(d)와 (e)에 나타낸 시효온도 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 300시간과 900시간 시효처리된 결정립보다 크게 성장함을 알 수 있었다. 따라서 리플로우 횟수에 비해 시효처리 조건에서 IMC의 성장이 느린 것은 용융 공정인 리플로우 과정과는 달리 시효처리가 고체상의 확산 반응이므로 성장 속도가 용융에 비해 느려 확산에 의해 속도가 제어되기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 리플로우 후 Ag-Pd 도체 패드와 솔더계면에 형성된 IMC의 형상을 관찰한 것이다. 계면에서는 세포질(cellular) 모양의 Ag-Sn 화합물이 형성되었고, 화합물의 크기는 직경이 약 0.1~0.6 $\mu\text{m}$ 로 관찰되었다. 또한 솔더 내부에서는 침상(needle) 모양의 화합물도 관찰되었다.

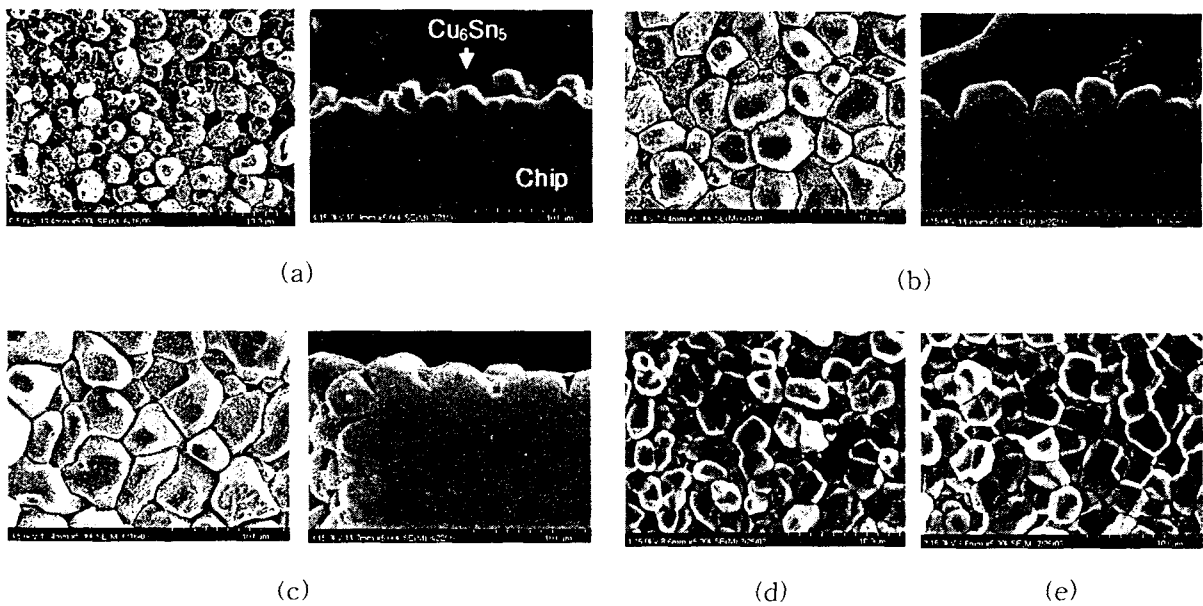


Fig 4 SEM images of the morphology  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  formed between Cu and Sn after etching the solder away (a) reflow 1 (b) reflow 2 (c) reflow 3 (d) 300 hrs aging (e) 900 hrs aging

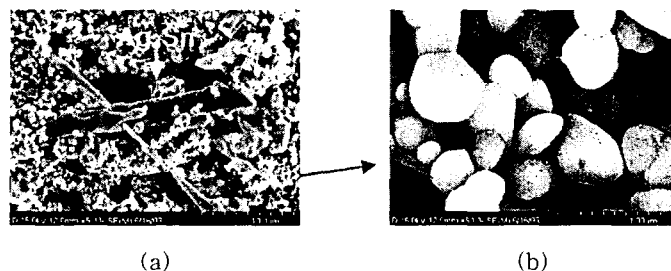


Fig. 5 Phases of the IMC formed between solder and Ag-Pd pad by reflow soldering

Fig. 6은 리플로우 후 솔더와 기판 계면에서 TEM의 암시야상(dark field image) 관찰 결과를 나타낸 것이다. 상단에 Ag와 Sn의 반응으로 형성된 IMC층이 관찰되었고, 회절상 분석 결과  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ (Orthorhombic phase, S.G.: Pmmn)으로 확인되었다. 이때 형성된  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 층은 10 $\mu\text{m}$  이상 두

계로 성장하였다. 이후 장시간의 시효 처리나 반복된 리플로우 과정을 거치면 PdSn<sub>4</sub>등이 생성되는 것으로 보고되었다.<sup>4)</sup> 이와 같은 결과는 Pd와 Sn의 확산 반응속도에 비해 Ag와 Sn이 상대적으로 빠르기 때문이다.

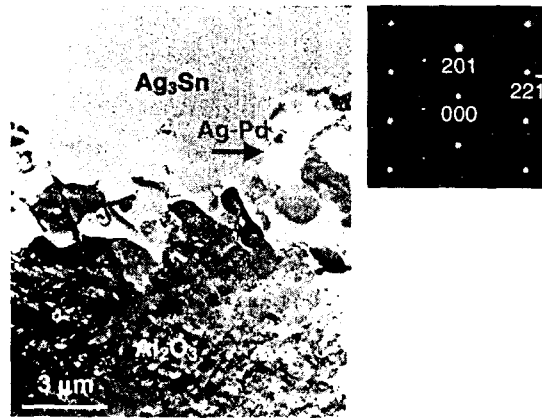


Fig. 6 TEM image and electron diffraction patterns showing interfacial reaction of Ag and Sn

따라서 플라즈마 처리는 기판과 이종 재료간의 접착강도를 증대시켜서 제품의 신뢰성 향상에 기여할 것이다. 또한 접합부 계면은 과도한 IMC의 성장을 억제시키는 구조로 설계되어야 한다.

## References

- [1] M. Ray Fairchild, Rick B. Snyder, "Emerging Substrate Technologies for Harsh-Environment Automotive Electronics Applications", Society of Automotive Engineers, Inc (2002).
- [2] R. Tummala, Fundamentals of Microsystems Packaging, New York: McGraw-Hill (2001).
- [3] J. G. Duh, K. C. Liu, "Microstructural Evolution in Sn/Pb Solder and Pd/Ag Thick Film Conductor Metallization", Proc. Electron. Comp. Technol. Conf., pp.653-657 (1991).
- [4] Yoichi Moriya, Yoshiaki Yamade and Ryuji Shinya, "Interface Reaction between Ag-Pd Conductor and Pd-Sn Solder", IEEE Trans. Comp., Packag., Manufact. Technol. 21, No. 4, pp. 394-397 (1998).
- [5] G. Y. Li, Y. C. Chan, "Diffusion and Intermetallics Formation between Pd/Ag Metallization and Sn/Pb/Ag Solder in Surface Mount Solder Joints", Materials Science and Engineering, 57, pp.116-126 (1999).
- [6] Jaakko Lenkkeri, Tuomo Jaakola, "Rapid Power Cycling of Flip-chip and CSP Components on Ceramic Substrates", Microelectronics Reliability, 41, pp.661-668 (2001).
- [7] C. Lee, K. Nyunt, "Plasma Cleaning of Plastic Ball Grid Array Package", Microelectronics Reliability, 39, pp.97-105 (1999).
- [8] J. H. Hsieh, "Plasma Cleaning of Copper Leadframe with Ar and Ar/H<sub>2</sub> Gases, Surface and Coatings Technology", pp.245-249 (1999).