

Dry Film Photoresist를 이용한 테프론 PCB 위 미세 피치 솔더 범프 형성

(Formation of Fine Pitch Solder Bumps on Polytetrafluoroethylene Printed Circuit Board using Dry Film Photoresist)

이정섭, 주건모, 전덕영
한국과학기술원 재료공학과

Abstract

We demonstrated the applicability of dry film photoresist (DFR) in photolithography process for fine pitch solder bumping on the polytetrafluoroethylene (PTFE/Teflon) printed circuit board (PCB). The copper lines were formed with 100 μm width and 18 μm thickness on the PTFE test board, and varying the gaps between two copper lines in a range of 100 - 200 μm . The DFRs of 15 μm thickness were laminated by hot roll laminator, by varying laminating temperature from 100 $^{\circ}\text{C}$ to 150 $^{\circ}\text{C}$ and laminating speed. We found the optimum process of DFR lamination on PTFE PCB and accomplished the formation of indium solder bumps. The optimum lamination condition was temperature of 150 $^{\circ}\text{C}$ and speed of about 0.63 cm/s. And the smallest size of indium solder bump was diameter of 50 μm with pitch of 100 μm .

1. Introduction

오늘날 플립칩 기술은 점점 더 많은 분야에서 응용의 폭을 넓혀가고 있다. 향후 수년을 거쳐 플립칩 기술은 고성능 컴퓨터, 정보통신 멀티미디어 시스템 등의 분야에서 중요한 역할을 수행할 것으로 예상된다. 이와 같은 광범위한 활용에 있어서 플립칩 기술의 가격을 낮추기 위하여 최근 플립칩 기술에서는 저가형 플립칩 범프 형성 기술과 flip chip on board (FCOB) 기술이 복합된 direct chip attach (DCA) 기술이 매우 중요하게 되었다 [1]. 또한 반도체 소자 기술의 급격한 발달로 인한 신호 전송 속도 및 사용 주파수의 증가로 인하여, 낮은 인더던스와 캐패시턴스 특성을 갖는 플립칩 기술과 낮은 유전상수와 손실률을 갖는 유기 기판의 접목에 대한 필요성도 증가하고 있다. 현재 printed circuit board (PCB) 재료로는 저가의 비용과 전통적인 공정기술을 제공하는 FR-4가 가장 널리 사용되고 있으나, 최근 PCB 재료의 추세는 낮은 유전상수를 갖는 물질의 개발과 적용으로 진행되고 있다. Polytetrafluoroethylene (PTFE/Teflon)은 PCB로 사용되고 있는 물질 중 가장 낮은 유전상수와 유전손실률을 가지며, FR-4에 비해 신호 전송 속도가 30% 가량 빠르다는 장점이 있다 [2]. PTFE PCB의 copper pattern 위에 직접 미세 피치를 갖는 솔더 범프를 형성하기 위해서는 photoresist (PR) 물질을 마스크로 사용하여 photolithography 공정을 거쳐야 한다. 그러나 PCB는 표면에 굴곡이 많을 뿐만 아니라 copper pattern과 hole 등이 존재하기 때문에, 일반적으로 photolithography 공정에 많이 사용되는 액상 PR을 적용하기에는 무리가 따른다. PCB의 copper pattern 형성에 주로 사용되고 있는 dry film photoresist (DFR)는 다양한 굴곡을 갖는 표면에 적용이 용이하고, 다양한 형태의 pattern이나 hole의 존재에 상관없이 planarization 효과를 가지며, 공정이 간단하다는 장점을 가진다 [3]. 본 연구에서는 DFR lamination과 솔더 범프 형성을 위한 PTFE test board를 제작하고, DFR을 이용하여 lamination 실험을 수행한 후 DFR과 PTFE PCB 사이의 conformation을 평가하였다. 그리고 photolithography 공정을 거쳐 솔더 범프 패턴을 형성하고 저음점 솔더 재료인 인듐을 전공 증착하여 미세 피치 솔더 범프를 형성하였다.

2. Experimental Procedure

PR sheet의 두께가 $15 \mu\text{m}$ 인 DFR을 hot roll laminator를 이용하여 test board 위에 lamination하였다. Test board는 $100 \mu\text{m}$ 의 폭과 $18 \mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 copper line들이 $100 - 200 \mu\text{m}$ 의 간격으로 배열되도록 디자인하였다. Lamination 된 DFR과 test board 사이에 air bubble이 남아있게 되면 conformation을 저하시키고, 표면에 굴곡이 생기며, 필요치 않은 부분에 opening이 생길 수 있다 [4]. 따라서 lamination 온도와 속도를 변화시켜가면서 lamination을 진행하고 단면분석을 통해 air bubble의 상대적인 양을 추출하였다. 온도범위는 $100 - 150^\circ\text{C}$, 속도범위는 gauge 1 - 7 ($0.28 - 0.98 \text{ cm/s}$)로 하였다. DFR lamination을 거친 test board에 UV exposure 및 development 공정을 거쳐 미세 피치 솔더 범프 패턴 opening을 형성하였다. 본 실험에서는 솔더 범프의 최소 지름이 $50 \mu\text{m}$, 최소 피치가 $100 \mu\text{m}$ 인 Cr mask를 사용하였고, developer로는 $1 \text{ wt.\% Na}_2\text{CO}_3$ 수용액을 사용하였다. Opening 된 test board에 인듐 솔더를 약 $6 \mu\text{m}$ 두께로 thermal evaporation 방법을 통해 진공 증착하였다. 인듐 솔더가 증착된 test board를 두 가지 방법을 통해 reflow하였다. 우선, 첫 번째로 DFR을 strip한 후 flux를 도포하고 reflow하였고 (이하 SR 공정), 두 번째로 증착되어 있는 인듐 솔더에 바로 flux를 도포하고 reflow한 후 DFR을 strip하였다 (이하 RS 공정). 인듐의 융점이 156.7°C 이므로 reflow시 최고 온도는 180°C 로 하였다. 두 가지 방법으로 각각 형성된 인듐 솔더 범프의 형상을 Scanning Electron Microscope (SEM)와 surface profiler를 통해 관찰하고, Ball Shear Test를 통해 두 경우의 인듐 솔더 범프의 전단 강도를 측정하였다.

3. Results and Discussion

그림 1은 제작된 PTFE test board의 형태와 DFR lamination 후 test board의 단면을 보여준다. 그림 2는 각 copper pattern 간격별 lamination 온도의 변화에 따른 air bubble의 양을 나타내는 그래프로서, lamination 온도가 높을수록 air bubble의 양이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 lamination 온도가 높을수록 DFR과 test board 사이의 conformation이 향상되는 것을 의미한다.

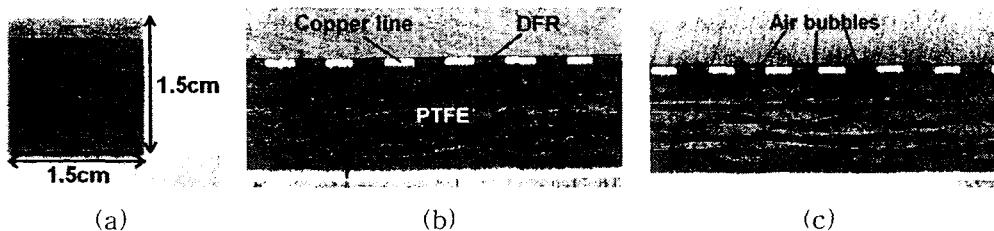


Fig. 1. Images of (a) PTFE test board and cross section of DFR-laminated test board with (b) no air bubbles, (c) air bubbles captured.

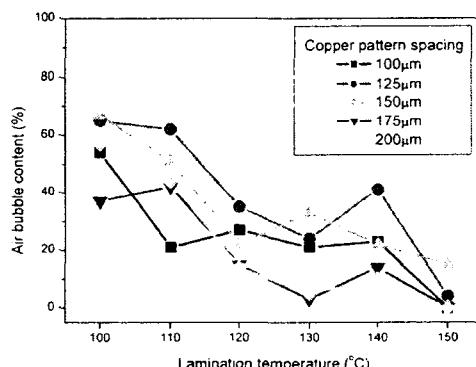


Fig. 2. Air bubble content as a function of lamination temperature for various spacings of copper pattern.

Lamination 온도는 가장 좋은 conformation 결과를 보이는 150 °C로 고정하고 lamination 속도를 변화시키면서 lamination 하였다. 그림 3은 lamination 속도 변화에 따른 air bubble의 양을 나타낸다. 속도의 변화에 따른 큰 경향성은 발견되지 않았으나, 그림 3에서 알 수 있듯이 모든 copper pattern 간격에 대해 lamination 속도 gauge 4 (약 0.63 cm/s)에서 air bubble의 양이 공통적으로 최소치를 나타냈다. DFR lamination에서 test board와의 conformation은 온도에 의해 주로 영향을 받는 것으로 판단된다. 이에 따라, lamination 온도 150 °C, 속도 0.63 cm/s의 조건을 최적 조건으로 결정하였다.

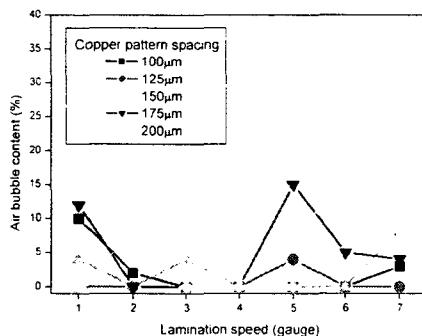


Fig. 3. Air bubble content as a function of lamination speed for various copper pattern spacings.

그림 4는 UV exposure와 development을 마친 test board의 표면의 SEM 결과를 보여준다. 최소 50 μm의 자름과 100 μm의 피치를 가지는 opening을 얻을 수 있었다. Thermal evaporation system을 사용하여 인듐을 약 6 μm 두께로 증착한 후의 test board의 단면 사진을 그림 5에 나타내었다. 3 wt.% NaOH 수용액을 사용하여 DFR을 제거한 후, 초기 증착되어 있는 인듐 솔더의 SEM 결과를 그림 6에 나타내었다. 아직 reflow 공정을 거치지 않은 상태이기 때문에 표면이 불규칙하며, DFR의 잔류물이 남아있는 경우도 관찰되었다.

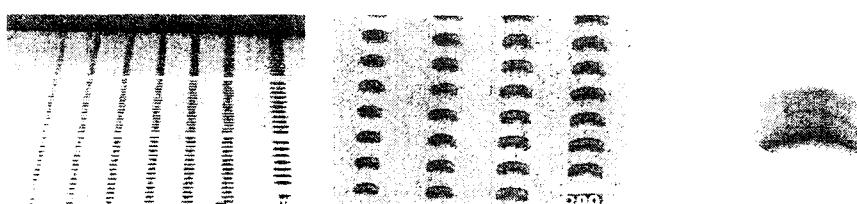


Fig. 4. SEM images of test board after UV exposure and development.

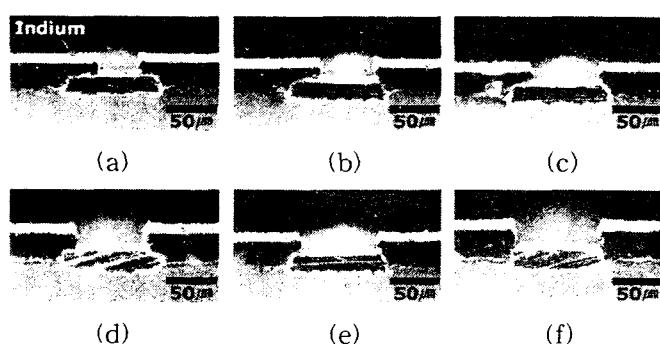


Fig. 5. Optical microscope images (dark field) of cross section of indium deposited test board. Opening diameters are (a) 50 μm, (b) 60 μm, (c) 70 μm, (d) 80 μm, (e) 90 μm, and (f) 100 μm.

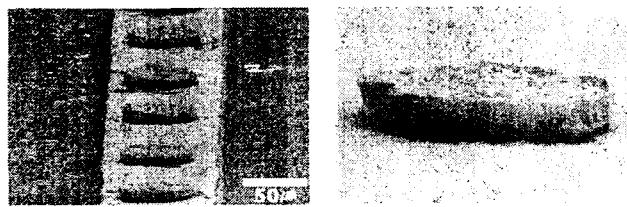


Fig. 6. SEM images of as-deposited indium solder after removal of DFR.

그림 7과 그림 8에 각각 SR 공정과 RS 공정을 거친 test board의 인듐 솔더 범프의 SEM 결과를 나타내었다. 본 실험 결과, 최소 지름 50 μm , 최소 피치 100 μm 의 인듐 솔더 범프 배열을 형성하는데 성공하였다. RS 공정 후의 인듐 솔더 범프는 표면이 매끄럽고 둥근 형상을 갖춘 반면, SR 공정 후의 인듐 솔더 범프는 표면이 매우 거친 것을 확인할 수 있다. Surface profiler를 이용하여 두 경우의 인듐 솔더 범프의 높이 profile을 측정해보았다. 그림 9(a)에 나타난 바와 같이, RS 공정의 경우가 SR 공정의 경우에 비해 인듐 솔더 범프의 평균 높이가 높으며, 높이의 균일도도 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 배열된 인듐 솔더 범프들에 대한 높이 측정값에서 최고치와 최저치의 차이를 그림 9(b)에 나타내었다. 마찬가지로, RS 공정의 경우가 높이 차이값이 작다는 결과를 얻었다. 그림 10에 SR 공정과 RS 공정 두 경우의 인듐 솔더 범프에 대한 Ball Shear Test 결과를 나타내었다. RS 공정을 거친 인듐 솔더 범프의 전단강도가 SR 공정의 경우보다 모든 범프 사이즈에 대하여 높은 결과를 얻었다.

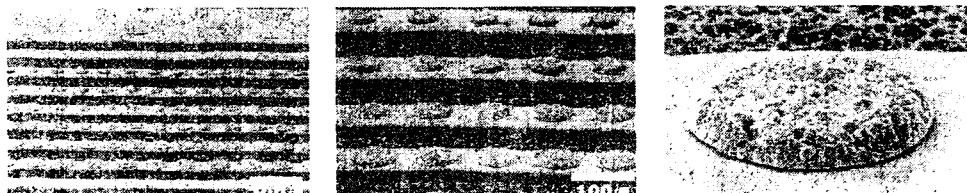


Fig. 7. SEM images of reflowed indium solder bumps after removal of DFR.



Fig. 8. SEM images of reflowed indium solder bumps before removal of DFR.

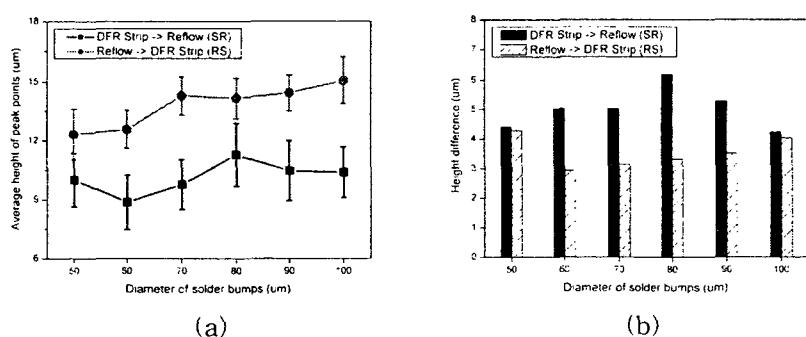


Fig. 9. Results of surface profile measurement for (a) average height of peak points of indium solder bumps and (b) height difference between maximum height and minimum height of solder bumps.

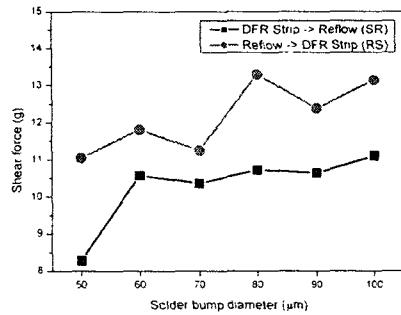


Fig. 10. Results of ball shear test.

3. Conclusion

본 연구에서는 PTFE test board에 DFR을 lamination하여 인듐 솔더 범프를 형성하였다. DFR lamination의 최적 조건은 lamination 온도 150°C , 속도 0.63 cm/s 이었다. Lamination 온도가 증가할 수록 DFR과 PTFE test board 사이의 conformation이 향상되는 것을 확인할 수 있었고, lamination 속도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. $15 \mu\text{m}$ 두께의 photoresist sheet을 갖는 DFR을 이용하여 opening pattern은 최소 지름 $50 \mu\text{m}$, 최소 피치 $100 \mu\text{m}$ 가 가능하였다. 인듐 솔더 범프를 증착한 후 DFR의 제거여부에 따라 두 가지 다른 방법으로 reflow를 수행한 결과, DFR을 남겨둔 채로 reflow를 먼저 수행하고 그 후에 DFR을 제거하는 경우에서 DFR을 먼저 제거하고 reflow를 수행한 결과보다 표면 형상과 높이의 균일도 면에서 더 좋은 결과를 얻었다.

References

- [1] 백경욱, “전자 패키지 기술”, 전기전자재료, 16권, 7호, pp. 3-13 (2003)
- [2] D. S. Farquhar, A. M. Seman, and M. D. Poliks, IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 22, No. 2, pp. 153-159 (1999)
- [3] H. Lorenz, L. Paratte, R. Luthier, N. F. de Rooij, and P. Renaud, Sensors and Actuators A, Vol. 53, pp. 364-368 (1996)
- [4] K. H. Dietz, “Dry Film Photoresist Processing Technology”, Electrochemical Publications Ltd., pp. 127 (2001)