

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

이정섭 · 주건모 · 전덕영  
한국과학기술원 신소재공학과

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

Jung-Sub Lee, Kun-Mo Chu, and Duk Young Jeon

Department of Materials Science and Engineering,  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

**초 록:** Polytetrafluoroethylene (PTFE/Teflon®) 인쇄회로기판용 미세 피치 솔더 범프 형성을 위해 dry film photoresist (DFR)를 photolithography 공정에 적용하였다. DFR lamination을 위한 test board는 폭 100  $\mu\text{m}$ 와 두께 18  $\mu\text{m}$ 의 copper line들이 100 - 200  $\mu\text{m}$ 의 간격으로 배열된 형태로 디자인하였다. 15  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 DFR을 hot roll laminator를 사용하여 lamination 온도와 속도를 변화시켜가면서 lamination 공정 실험을 수행하였다. 실험 결과, PTFE 인쇄회로기판에 DFR을 lamination 하는 공정의 최적 조건은 lamination 온도 150°C, 속도 약 0.63 cm/s였다. UV exposure 및 development 공정을 거쳐 저 융점 솔더 재료인 인듐을 증착하였다. DFR 박리 순서에 따른 두 가지 다른 reflow 공정을 통해 최소 지름 50  $\mu\text{m}$ , 최소 피치 100  $\mu\text{m}$ 를 갖는 인듐 솔더 범프를 형성하였다.

**Abstract:** We have 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  $\mu\text{m}$  width and 18  $\mu\text{m}$  thickness on the PTFE test board, and varying the gaps between two copper lines in a range of 100 - 200  $\mu\text{m}$ . The DFRs of 15  $\mu\text{m}$  thickness were laminated by hot roll laminator, by varying laminating temperature from 100°C to 150°C and laminating speed from 0.28 - 0.98 cm/s. We have 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°C and speed of about 0.63 cm/s. And the smallest size of indium solder bump was diameter of 50  $\mu\text{m}$  with pitch of 100  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** Dry film photoresist, PTFE printed circuit board, indium solder bump

### 1. 서 론

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<sup>1)</sup>. 또한 반도체 소자 기술의 급격한 발달로 인한 신호 전

\*Corresponding author  
E-mail: toto@kaist.ac.kr

송 속도 및 사용 주파수의 증가로 인하여, 낮은 인덕턴스와 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 물질중 가장 낮은 유전상수와 유전손실률을 가지며, FR-4에 비해 신호 전송 속도가 30% 가량 빠르다는 장점이 있다<sup>2)</sup>. PTFE PCB의 copper pattern 위에 직접 미세 피치를 갖는 솔더 범프를 형성하기 위해서는 해상도면에서 장점을 갖는 photoresist (PR) 물질을 사용하는 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. 반면 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<sup>3)</sup>. Fig. 1은 DFR의 구조와 DFR을 기판에 코팅하는 공정인 hot roll lamination 공정에 대한 모식도이다. 본 연구에서는 DFR lamination과 솔더 범프 형성을 위한 PTFE test board를 제작

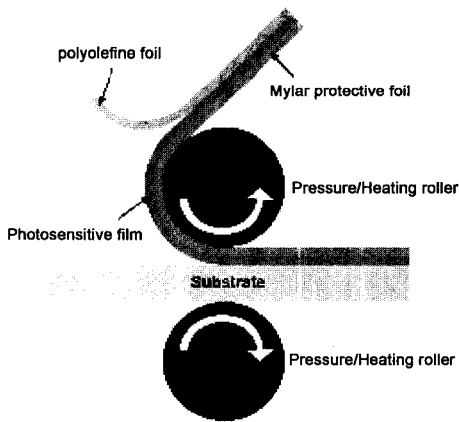


Fig. 1. Formation of dry film photoresist and hot roll lamination.

하고, DFR을 이용하여 lamination 실험을 수행한 후 DFR과 PTFE PCB 사이의 정합성(conformation)을 평가하였다. 그리고 photolithography 공정을 거쳐 솔더 범프용 opening pattern을 형성하고 저용점 솔더 재료인 인듐을 진공 증착하여 미세 피치 솔더 범프를 형성하였다.

## 2. 실험방법

Fig. 2는 전체적인 실험 순서를 나타낸 그림이다. PR sheet의 두께가 15  $\mu\text{m}$ 인 DFR을 hot roll laminator를 이용하여 test board 위에 lamination 하였다. 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, 원하지 않는 부분에 opening이 생길 수 있다<sup>4)</sup>. 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 cm/s)로 하였다. DFR lamination을 거친 test board에 UV exposure 및 development 공정을 거쳐 미세 피치 솔더 범프 opening pattern을 형성하였다. 본 실험에서는 솔더 범프의 최소 지름이 50  $\mu\text{m}$ , 최소 피치가 100  $\mu\text{m}$ 인 Cr mask를 사용하였고, UV exposure 조

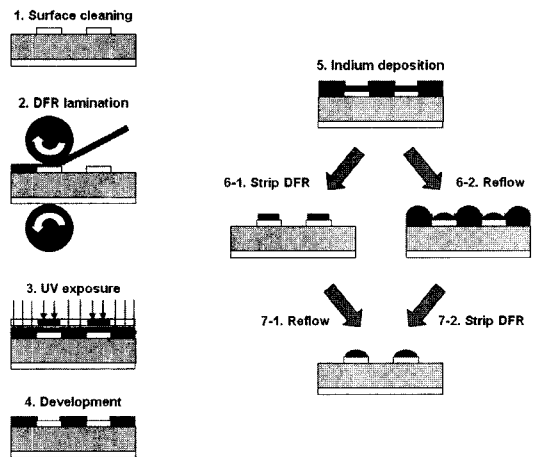


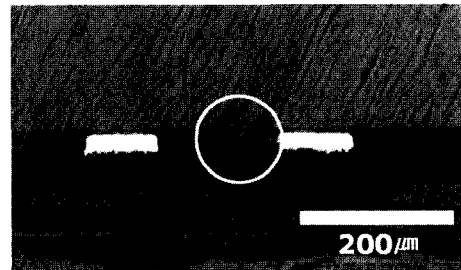
Fig. 2. Schematic diagram of experimental procedure.

건은 365 nm UV하에서 8 초간 노출시켰다. Developer로는 1 wt.% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 수용액을 사용하였다. Opening 된 test board에 인듐 솔더를 약 6 μm 두께로 thermal evaporation 방법을 통해 진공 증착하였다. 인듐 솔더가 증착된 test board를 두 가지 방법을 통해 reflow하였다. 우선, 첫 번째로 DFR을 strip한 후 flux (WS 609)를 도포하고 reflow하였고 (SR 공정), 두 번째로 증착되어있는 인듐 솔더에 바로 flux를 도포하고 reflow한 후 DFR을 strip하였다 (RS 공정). 인듐의 용점이 156.7°C이므로 reflow 시 최고 온도는 180°C로 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. 결과 및 고찰

Fig. 3은 제작된 PTFE test board의 형태와 DFR lamination 후 test board의 단면을 보여준다. PTFE PCB 내부에는 기관의 구조적 안정을 위해 woven glass가 삽입되어 있으므로 PTFE test board의 표면은 굴곡을 가지고 있다. 또한 copper line의 두께가 약 18 μm정도이기 때문에 높이의 단차가 큰 편이다. 일반적으로 DFR은 PCB 원판의 copper cladding에 lamination 되어 pattern 형성용 에칭이나 도금시 resist 역할을 한다. 이와 같은 경우에는 표면에 높이 단차가 거의 없기 때문에 lamination에 큰 문제가 발생하지 않는다. 그러나 pattern이 형성된 PCB에 DFR을 적용하는 경우에는 표면굴곡이나 높이 단차 등에 의해 lamination 공정 도중 DFR과 PCB 사이에 air bubble이 갇히게 될 수 있다. Fig. 3(b)는 air bubble이 없이 DFR과 PTFE test board 사

이의 conformation이 잘 이루어진 경우인 반면, Fig. 3(c)는 air bubble이 존재함을 알 수 있다. 이와 같이 air bubble이 DFR과 PTFE PCB 사이에 존재하는 경우에 발생가능한 문제점들을 Fig. 4에 나타내었다. Opening되서는 안될 위치에 air bubble에 의해 opening이 생기거나 (Fig. 4 (a)), lamination된 DFR 표면에 굴곡이 생길 수 있다 (Fig. 4 (b)). 또한, air bubble의 양이 많아지게 되면 DFR이 dela-



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Examples of troubles caused by air bubble : (a) unwanted opening, (b) rugged surface, (c) delamination of DFR.

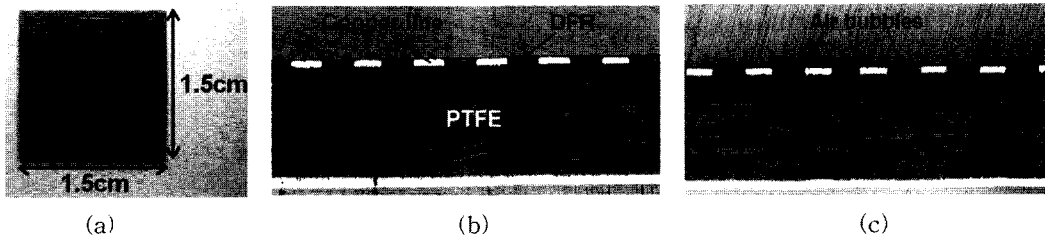


Fig. 3. Images of (a) PTFE test board and cross section of DFR-laminated test board with (b) no air bubbles, (c) air bubbles captured.

mination 되는 경우도 발생한다 (Fig. 4. (c)). 따라서 PTFE PCB에 DFR을 lamination 하는 공정에서 air bubble의 양을 최소화할 수 있는 최적 공정 조건을 찾는 것이 중요하다. Fig. 5는 각 copper line 간격별 lamination 온도의 변화에 따른 air bubble의 양을 나타내는 그래프로써, lamination 온도가 높을수록 air bubble의 양이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 lamination 온도가 높을수록 DFR과 test board 사이의 conformation이 향상되는 것을 의미한다. Hot roller에서 DFR로 열 에너지를 전달하게 되면 DFR의 photoresist 물질의 viscosity가 낮아지게 되고 flow가 일어나 copper line들 사이의 공간을 효과적으로 채우게 되기 때문이다.

Lamination 속도의 변화에 따른 air bubble의 양을 알아보려고 lamination 온도를 가장 좋은 conformation 결과를 보이는 150°C로 고정하고 lamination 속도를 변화시키면서 lamination 하였다. Fig. 6은 lamination 속도 변화에 따른 air bubble의 양을 나타낸다. 속도의 변화에 따른 큰 경향성은 발견되지 않았다. 이는 온도에 의해 충분히 viscosity가 낮아져 flow가 일어나게 되는 조건을 충족시켜주게 되면 lamination 속도는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 추정된다. Lamination 속도가 gauge 4 (약 0.62 cm/s)인 경우, Fig. 6에서 알 수 있듯이 모든 copper pattern 간격에 대해 공통적으로 air bubble의 양이 최소치를 나타냈다. DFR lamination에서 test board와의 conformation에 지배적인 영향을 미치는 요인은 lamination 온도인 것으로 판단된다. 이에 따라, 본 연구에서는 lamination 온도 150°C, 속도 0.63 cm/s의 조건을 최적 조건으로 결정하였다.

Fig. 7은 DFR lamination 후 UV exposure와 development을 마친 test board의 표면의 SEM 사진이다. 최소 50 μm의 지름과 100 μm의 피치를 가지는

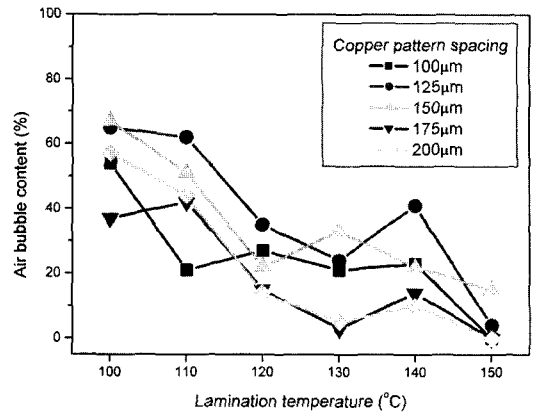


Fig. 5. Air bubble content as a function of lamination temperature for various spacings of copper pattern.

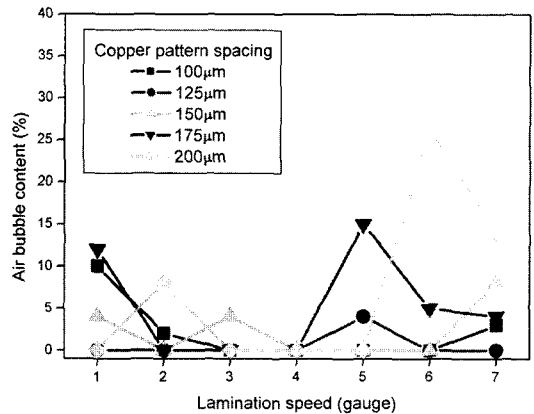


Fig. 6. Air bubble content as a function of lamination speed for various copper pattern spacings.

opening pattern을 얻을 수 있었다. 이와 같이 opening pattern이 형성된 test board를 thermal evaporation system에 장착하고 인듐을 약 6 μm 두께로 증착하였다. 증착 직후 test board의 단면 광학현미경 사진을 Fig. 8에 나타내었다. 3 wt.% NaOH 수용액

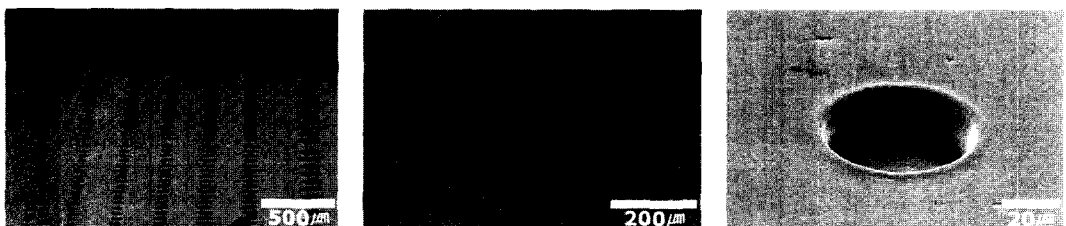


Fig. 7. SEM images of test board after UV exposure and development.

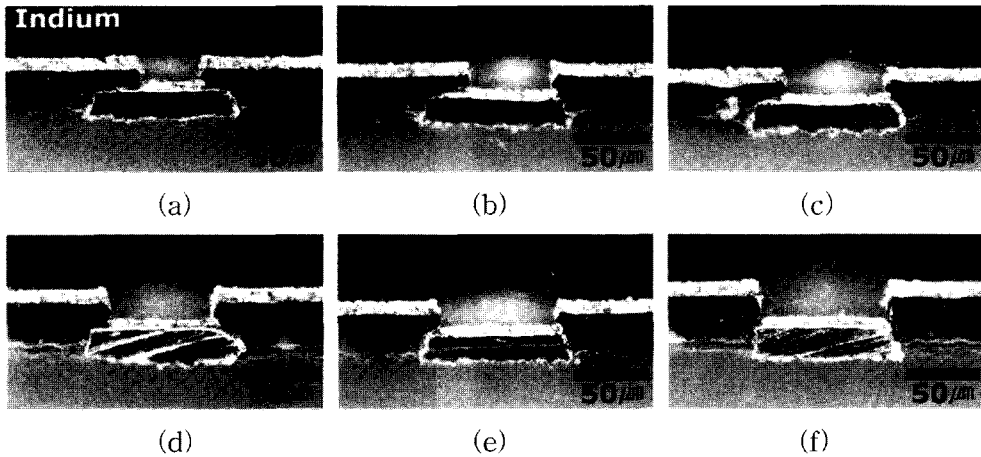


Fig. 8. Optical microscope images (dark field) of cross section of indium deposited test board. Opening diameters are (a) 50  $\mu\text{m}$ , (b) 60  $\mu\text{m}$ , (c) 70  $\mu\text{m}$ , (d) 80  $\mu\text{m}$ , (e) 90  $\mu\text{m}$ , and (f) 100  $\mu\text{m}$ .

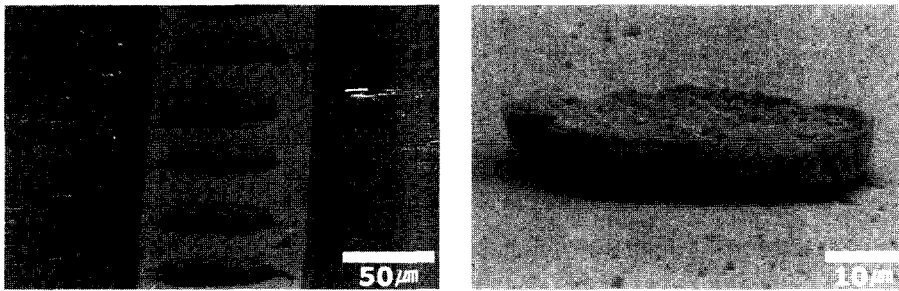


Fig. 9. SEM images of as-deposited indium solder after removal of DFR

을 사용하여 DFR을 제거한 후, 초기 증착되어있는 인듐 솔더의 SEM 사진을 Fig. 9에 나타내었다. 아직 reflow 공정을 거치지 않은 상태이기 때문에 표면이 불균일하며, DFR의 잔류물이 남아있는 경우도 관찰되었다.

일반적으로 솔더 범프는 전체 공정을 거치면서 두 번 reflow 공정을 거친다. 첫 번째는 범프 형성 직후이고, 두 번째는 die를 위치시키고 flip chip bonding을 하는 과정에서이다. Reflow 공정동안 솔더 범프는 용점 이상의 온도로 가열되어 용융상태가 된다. 용융상태의 솔더는 접합부의 금속과 metallurgical bond를 형성한다. 인듐 솔더의 경우에는 산화가 쉽게 일어나는 특성을 갖기 때문에 flux가 반드시 필요하다. Flux는 reflow 공정중에 솔더 범프 표면에 형성된 산화물을 제거하는 역할을 하기 때문이다. 즉, reflow 공정은 솔더 범프 표면의 산화물을 제거하고, 용융 후 냉각을 통해 솔

더 범프들의 높이의 균일도를 향상시켜주는 역할을 한다<sup>5)</sup>. 본 연구에서도 DFR opening pattern이 형성된 test board에 인듐 솔더를 증착하고 reflow 공정을 수행하였다. 이를 통해 앞서 소개한 바와 같이 인듐 솔더 범프 표면의 산화물을 제거하고 높이의 균일도를 얻고자 하였다. Fig. 10과 Fig. 11에 각각 SR 공정과 RS 공정을 거친 인듐 솔더 범프의 SEM 사진을 나타내었다. 본 실험 결과, 최소 지름 50  $\mu\text{m}$ , 최소 피치 100  $\mu\text{m}$ 의 인듐 솔더 범프 배열을 형성하는데 성공하였다. RS 공정 후의 인듐 솔더 범프는 표면이 매끄럽고 둥근 형태를 갖춘 반면, SR 공정 후의 인듐 솔더 범프는 표면이 매우 거친 것을 확인할 수 있다. RS 공정을 거친 인듐 솔더는 reflow 공정 중 용융 상태를 거치면서 표면장력에 의해 응집되면서 둥그런 형태를 갖게 된 것으로 판단된다. 그러나 SR 공정에 의한 인듐 솔더 범프는 reflow 공정 중 용융 상태에서 표면장

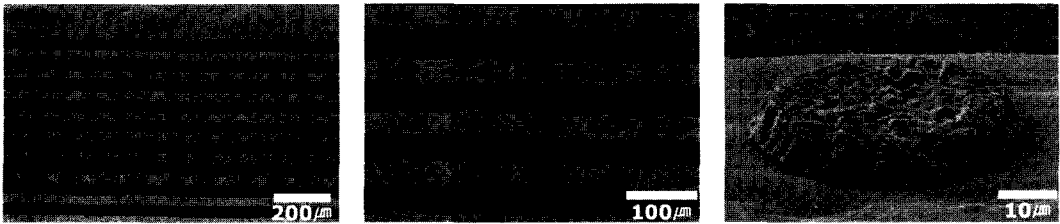


Fig. 10. SEM images of reflowed indium solder bumps after removal of DFR.

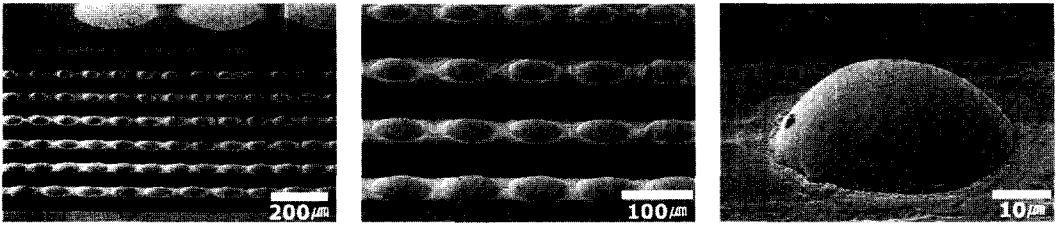


Fig. 11. SEM images of reflowed indium solder bumps before removal of DFR.

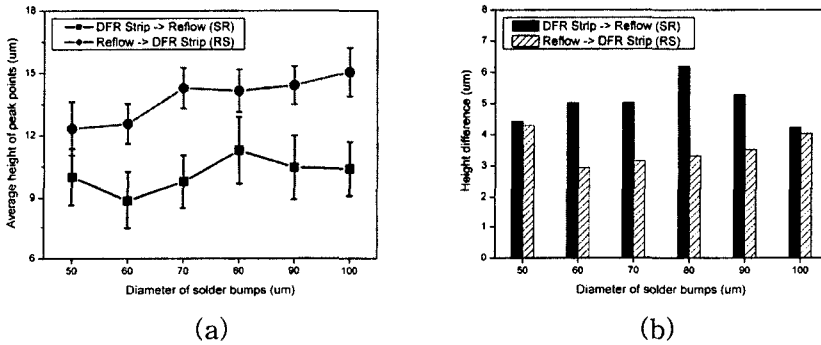


Fig. 12. Results of surface profile measurement for (a) average height of peak points of indium solder bumps and (b) height difference between maximum height and minimum height of solder bumps.

력에 의한 응집 효과가 나타나지 않았다.

Surface profiler를 이용하여 두 경우의 인듐 솔더 범프의 높이 profile을 측정해보았다. Fig. 12 (a)에 나타난 바와 같이, RS 공정의 경우가 SR 공정의 경우에 비해 인듐 솔더 범프의 평균 높이가 높으며, 각 높이 평균값에서의 표준편차 (error bar)가 작은 것으로 볼 때 높이의 균일도도 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 배열된 인듐 솔더 범프들에 대한 높이 측정값에서 최고치와 최저치의 차이를 Fig. 12 (b)에 나타내었다. 마찬가지로, RS 공정의 경우가 높이 차이값이 작다는 결과를 얻었다. Fig. 13에 SR 공정과 RS 공정 두 경우의 인듐 솔더 범프에 대한 Ball Shear Test 결과를 나타내었다. RS 공정을 거친 인듐 솔더 범프의 전단강도가 SR 공정

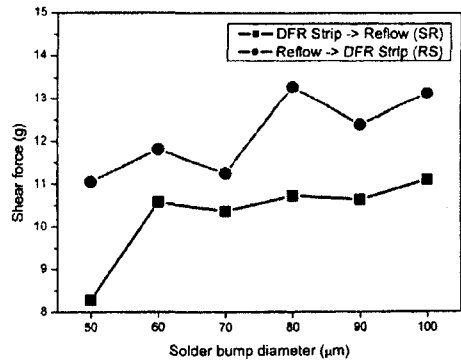


Fig. 13. Results of ball shear test.

의 경우보다 모든 범프 사이즈에 대하여 높은 결과를 얻었다.

지금까지의 결과에서 보듯이, reflow 온도 profile과 사용한 flux가 동일했음에도 불구하고 SR 공정과 RS 공정에 의한 인듐 솔더 범프의 형상이 매우 다르게 나타난 원인을 밝혀보고자 하였다.

SR 공정과 RS 공정에서의 유일한 차이점은 reflow 공정중 DFR의 존재 유무이다. SR 공정의 경우 reflow 전에 DFR을 박리해내기 때문에 초기에 opening 부분에 증착된 인듐만으로 reflow를 수행하게 된다. 반면, RS 공정의 경우에는 인듐이 opening 부분뿐만 아니라 DFR 위쪽에도 증착되어 있는 상태를 그대로 reflow 하게 된다. 따라서 RS 공정에서 reflow 시 DFR 위쪽의 인듐이 용융되어 opening 부분쪽으로 추가 유입되는 것을 예상해 볼 수 있다. 이를 증명하기 위해 두 경우의 인듐 솔더 범프의 부피 비교를 해보았다. RS 공정으로 형성한 인듐 솔더 범프는 구의 일부분이라고 가정하고, SR 공정으로 형성한 인듐 솔더 범프는 초기 증착된 양과 동일한 양을 가지므로 납작한 원기둥으로 가정하였다. Fig. 14는 RS 공정으로 형성한 인듐 솔더 범프의 단면 SEM 사진을 이용하여 인듐 솔더 범프의 치수를 측정하는 방법을 나타낸 그림이다. SEM 사진의 scale bar를 이용하여 사진의 인듐 솔더 범프의 반지름, 높이 그리고 가상의 전체 구의 반지름을 계산하였다. 그 결과  $R_0$ 는  $55 \mu\text{m}$ , 인듐 솔더 범프의 반지름은  $35 \mu\text{m}$ , 높이는  $13.8 \mu\text{m}$ 이었다. 구분구적법에 의한 다음의 식을 사용하면 사진의 인듐 솔더 범프의 부피를 구할 수 있다.

$$V = \pi R_0 h^2 - \frac{\pi h^3}{3} \quad (1)$$

위 식으로 계산하여 얻은 RS공정의 인듐 솔더 범프의 부피는  $30153 \mu\text{m}^3$  이었다. 동일한 반지름을 갖는 SR공정의 인듐 솔더 범프의 부피는 증착된 인듐의 높이가 약  $6.5 \mu\text{m}$ 이었으므로  $25015 \mu\text{m}^3$  이 된다. 두 인듐 솔더 범프의 부피 차이는  $5138 \mu\text{m}^3$ 이다. 즉, RS 공정으로 형성한 인듐 솔더 범프는 SR 공정으로 형성한 인듐 솔더 범프의 부피에 대해 약 20% 정도 부피가 증가했음을 확인할 수 있었다. 이러한 부피증가는 앞서 예상해왔던 DFR 위쪽의 인듐의 추가적인 유입을 증명해준다. 이러한 추가적인 인듐의 유입으로 용융된 인듐의 양이 SR 공정보다 상대적으로 많아지기 때문에 표면장

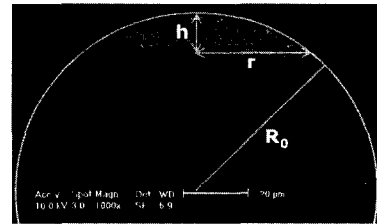


Fig. 14. Geometry measurement of indium solder bump by RS process.

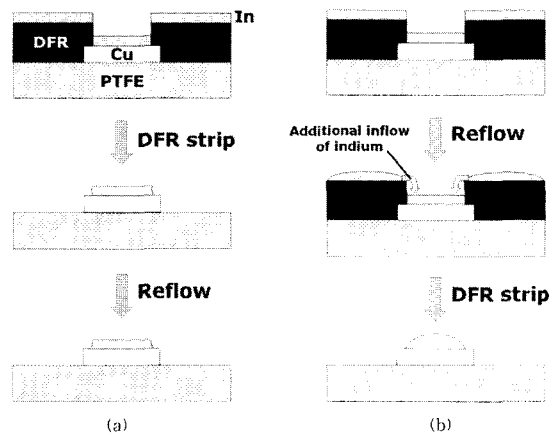


Fig. 15. Schematic diagrams of formation of indium solder bump by (a) SR process and (b) RS process.

력에 의한 응집 효과가 확실히 나타난 것으로 판단된다. Fig. 15는 이러한 SR 공정과 RS 공정에서의 인듐 솔더 범프 형성 과정의 차이를 개략적으로 나타낸 그림이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PTFE test board에 DFR을 lamination한 후 photolithography 공정을 거쳐 인듐 솔더 범프를 형성하였다. DFR lamination의 최적 조건은 lamination 온도  $150^\circ\text{C}$ , 속도  $0.63 \text{ cm/s}$ 이었다. Lamination 온도가 증가할수록 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 reflow 공정 전 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. 이러한 원인은 RS 공정 시 DFR 위쪽에 증착되어 있던 인듐이 용융되어 추가적으로 유입되는 것으로 밝혀졌다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 전자패키지재료연구센

터 (Center for Electronic Packaging Materials)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 백경옥, “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).
5. J. H. Lau, “Flip Chip Technologies”, McGraw-Hill (1996).