

표면에너지 차이를 이용한 패키징용 솔더볼 자가정렬 및 솔더링 방법

홍장원, 장중현, 박정호
고려대학교 전자전기공학과

A Method of Self-Arranging Solderballs for Packaging by Using Surface Energy Difference and Soldering

Jangwon Hong, Jong-hyeon Chang and Jungho Pak
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - This paper presents a method of self-arranging solderballs by using surface energy difference. After evaporating Au which has high surface energy on Si substrates, Teflon passivation layer which has low surface energy was patterned by lift-off process. Droplets formed only on the hydrophilic Au solderball lands by the surface energy difference, not the hydrophobic Teflon surface. Scattered solderballs stuck by themselves to the wetted solderball lands on the tilted substrate. After setting preheating of 200°C and soldering of 245°C hot plates, the solderballs were soldered on the solderball lands and two substrates were soldered together completely. After measuring the mechanical shear strength of the soldered substrates with solderballs of 3×3, 4×4 and 5×5 arrays, the calculated shear strength per one solderball was 1.1~2.4kgf as high as the previous report.

비가 필요없어 패키징 공정 비용을 절감시키는 장점이 있을 뿐만 아니라, 기존의 솔더링(soldering)에서 사용되는 플럭스의 증발에 의한 환경 오염을 방지할 수 있다.

2. 본 론

2.1 기판 제작 및 접촉각 측정

실리콘 기판 위에 Ti/Au를 50/100nm 두께로 진공 증착하고, AZ1512 포토레지스트를 3.3um 두께로 스핀코팅한 후 300um의 지름을 갖는 솔더볼 랜드를 패터닝하였다. 그 후 0.6wt% Teflon(601S2-100-6, DuPont)을 스핀코팅한 후 아세톤에서 lift-off하여 포토레지스트를 제거하였다. 솔더볼 랜드로 노출된 Au는 높은 표면에너지(1280mJ/m²)를 가지며 Au 표면 위에서 물방울의 접촉각은 58°로 나타났고, 보호막으로 사용된 불화탄소 고분자(fluorocarbon polymer)인 Teflon은 낮은 표면에너지(20mJ/m²)를 가지며 물방울에 대해 115°의 접촉각을 갖는 것으로 나타났다(표 1).

1. 서 론

최근 전자제품의 개발은 다기능화, 소형화, 첨단화 추세에 있으며, 아울러 시장 경쟁력에 부합되는 낮은 가격도 요구되고 있다. 이에 따라 전자제품의 필수적이고 핵심적인 반도체 패키징(packaging) 기술도 한정된 영역 내에 많은 반도체를 집적할 수 있도록 삼입 실장 방식(thru-hole mount type)에서 표면 실장 방식(surface mount type)으로 전환되고 있다[1]. 표면 실장 방식에서 대표적인 BGA(ball grid array) 방식은 단자가 조밀하여 많은 입/출력을 설정할 수 있기 때문에 고밀도의 실장을 가능하게 한다[2]. BGA 공정 과정 중 솔더볼(solderball) 부착 공정은 진공흡입식 장치(vacuum head)를 가진 솔더볼 장착기(solderball mounter)를 사용하여 솔더볼을 정렬시켜 플럭스(flux)와 함께 부착하는 것이다. 그러나 솔더볼의 지름이 300um 이하인 경우 진공흡입식 솔더볼 장착기로는 부착하는데 한계가 있으며, 이를 해결하기 위해서는 고가의 정밀한 장비가 필요하다. 또한 기판과 솔더볼은 주로 스텐실 프린팅(stencil printing) 방법으로 도포된 플럭스에 의해 솔더볼 랜드(solderball land)에 고정되고 리플로우(reflow) 공정을 통해 접합되는데, 플럭스의 양 조절이 어렵고 솔더볼, 플럭스, 솔더볼 랜드의 정렬이 필요하다[3].

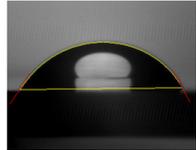
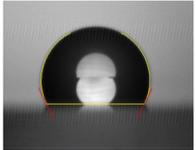
한편 고체 기판 위에 놓인 액적(droplet)은 고체-액체간 계면장력(interfacial tension, γ_{SL}), 액체의 표면장력(surface tension, γ_L) 및 고체의 표면에너지(surface energy, γ_S)의 영향을 받아 일정한 접촉각(contact angle, θ_c)을 갖는 반구형을 이룬다. 계면장력과 접촉각의 관계는 Young 식에 의해 다음과 같이 주어진다[4].

$$\cos\theta_c = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L}$$

고체 표면 위에 물방울을 떨어뜨렸을 때, 고체의 젖음성(wettability)에 따라 접촉각 90°를 기준으로 친수성(hydrophilic)/소수성(hydrophobic)을 구분하는데, 친수성 표면을 가지는 고체는 소수성 표면을 가지는 고체보다 더 높은 표면에너지를 갖는다[5]. 친수성 표면은 소수성 표면보다 물방울에 대해 더 높은 접착력을 가지는데, 친수성/소수성이 구분된 기판 위에 액체를 떨어뜨리고 기판을 기울이면 액체는 친수성 표면에만 선택적으로 남게 된다. 즉, 물방울이 친수성 표면에 자가정렬(self-arrangement)이 되는 것이다.

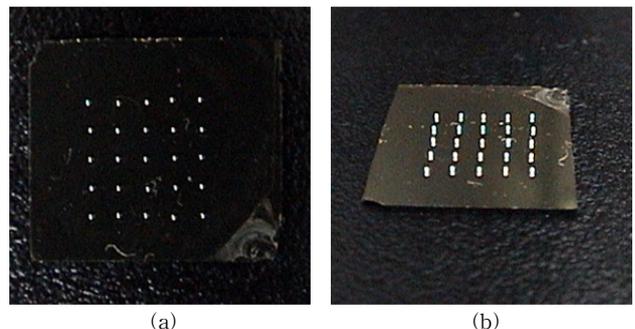
본 논문에서는 기판의 선택적 표면처리를 통해 소수성 보호막이 형성된 기판에서 친수성 솔더볼 랜드에 솔더볼을 자가정렬하는 방법을 소개한다. 이 방법은 물질의 표면에너지 차이를 이용하여 친수성 표면에 부착된 액적이 솔더볼을 정렬시키는 방법으로 공정이 간단하고 복잡한 설

<표 1> Au와 Teflon의 표면 에너지 및 물방울의 접촉각 비교

Material	Au	Teflon
Surface energy [mJ/m ²]	1280	20
Contact angle[°]	58	115
Water drop on the surface		

2.2 자가정렬식 솔더볼 부착

Lift-off 공정으로 패터닝이 완료된 기판을 메탄올과 증류수에 차례로 담갔다 꺼내어 솔더볼 랜드로 노출된 Au 표면에만 액적이 형성되도록 하였다. 그 후, 액적이 형성된 기판을 10° 이상으로 기울인 후 기판 위에 상용 솔더볼(Sn3.0Ag0.5Cu, $\phi=300\mu\text{m}$, Duksan Hi-Metal)을 흘려려 액적이 형성된 부분에 솔더볼이 부착되게 하였다. 그림 1은 2.0mm의 간격을 갖는 5×5 배열의 솔더볼 랜드에 25개의 솔더볼이 부착된 기판을 찍은 사진이다.



<그림 1> 기판에 솔더볼이 부착된 모습; (a) 위에서 찍은 사진, (b)대각선 방향에서 찍은 사진

2.3 리플로우 솔더링 공정

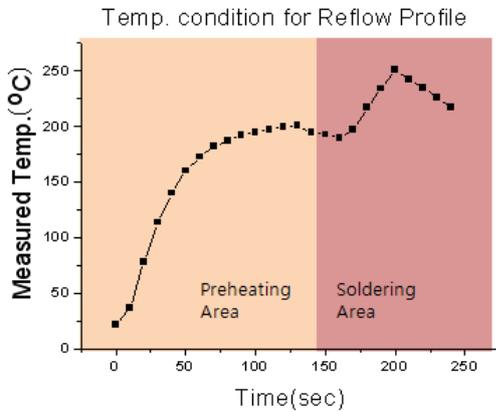
리플로우 오븐 대신 두 개의 핫플레이트를 사용하여 예열 구간과 솔더링 구간을 가지는 리플로우 프로파일을 설정하였고[6] 기판에 부착된 Pt100 온도 센서로 기판의 온도를 측정하면서 리플로우 솔더링을 진행하였다.

(1) 예열

솔더링 시 솔더볼과 기판의 온도차이로 인한 맨하탄 현상(Manhattan phenomenon)을 방지하기 위해서는 예열 구간이 필요한데, 이를 위하여 솔더볼이 자가정렬된 기판을 200℃ 핫플레이트에서 150초 동안 가열하였다.

(2) 리플로우 솔더링

솔더링용 핫플레이트의 온도는 Sn3.0Ag0.5Cu 솔더볼의 녹는점보다 높은 245℃로 설정하였다. 예열용 핫플레이트에서 가열된 기판을 솔더링용 핫플레이트로 옮겨 1차 솔더링을 진행하였다. 기판의 온도가 솔더볼의 녹는점 217℃에서 최고 온도 245℃까지 도달한 후 다시 217℃까지 내려오는데 걸리는 시간(dwell time)을 약 60초로 설정하였다. 그림 2는 리플로우 솔더링 공정 중 측정된 기판의 온도 프로파일을 나타낸다.



〈그림 2〉 리플로우 솔더링 공정의 온도 프로파일

(3) 기판 부착

솔더볼 패키징을 위해 솔더볼이 부착되지 않은 기판을 예열용 핫플레이트에 올리고 그 위에 리플로우 솔더링된 실장 기판을 올려 다시 200℃의 예열 구간을 약 150초 동안 가진 후, 솔더링용 핫플레이트로 옮겨 약 60초 동안 2차 리플로우 솔더링한 후 꺼내어 두 개의 기판을 접합하였다(그림 3).



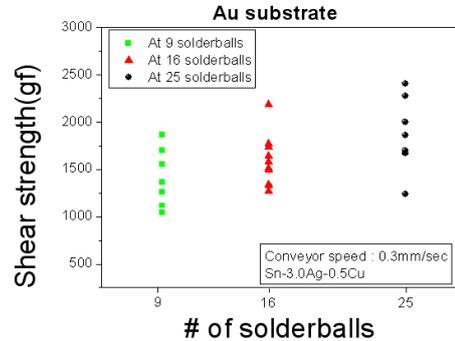
〈그림 3〉 리플로우 솔더링 후 접합된 기판의 측면 사진

2.4 접합 강도 측정

3×3, 4×4, 5×5 개의 솔더볼로 접합된 두 개의 기판의 기계적 전단 강도를 측정하기 위해 만능 측정기(Instron 3366, Instron)를 사용하여 두 기판이 파단되는 순간의 강도를 측정하였다. 이 때, 만능 측정기의 load 축 지그(jig)의 이동 속도는 0.3mm/sec로 설정하였다. 9개의 솔더볼로 부착된 기판의 솔더볼 접합 강도는 평균 12.7kgf, 16개의 솔더볼이 부착된 경우는 평균 25.8kgf, 25개의 솔더볼이 부착된 경우는 약 46.8kgf로

나타났다. 그림 4는 측정된 전단 강도를 부착되어 있는 솔더볼의 수를 고려하여 솔더볼 하나의 경우로 환산한 결과를 나타낸다. 이 결과는 기존 연구논문의 무연 솔더볼당 전단 강도(1.2~1.8kgf)[7]와 비슷한 1.1~2.4kgf의 강도를 보였다.

Shear strength with # of solderballs



〈그림 4〉 솔더볼당 전단 강도 측정 결과

3. 결 론

본 논문에서는 기판의 선택적 표면처리를 통해 소수성 보호막을 형성하고, 친수성 솔더볼 렌드에 솔더볼을 자가정렬하는 방법을 제시하였다. 높은 표면에너지를 갖는 Au를 실리콘 웨이퍼 위에 증착한 후 lift-off 공정으로 낮은 표면에너지를 갖는 Teflon 보호막을 형성하였다. Au와 Teflon의 표면에너지 차이를 이용하여 친수성 Au 솔더볼 렌드에 맺힌 물방울이 땀하게 하고, 기판을 기울인 후 솔더볼을 흘려 솔더볼이 물방울에 스스로 고정되도록 하였다. 두 개의 핫플레이트를 이용하여 200℃의 예열구간과 245℃의 솔더링 구간을 설정한 후 1차 리플로우 솔더링하고, 같은 순서로 선택적 표면처리된 기판과 2차 리플로우 솔더링하여 두 기판을 완전히 접합시켰다. 3×3, 4×4, 5×5 개의 솔더볼로 접합된 두 개의 기판의 기계적 전단 강도를 측정하고 솔더볼당 전단 강도를 분석한 결과 기존의 무연 솔더볼이 가지는 전단 강도와 비슷한 1.1~2.4kgf의 결과를 얻을 수 있었다. 물질의 표면에너지 차이를 이용한 솔더볼 자가정렬 방법은 공정이 간단하고 복잡한 설비가 필요없어 패키징 공정 비용을 절감시키는 장점이 있을 뿐만 아니라, 기존의 솔더링에서 사용되는 플럭스의 증발에 의한 환경 오염을 방지할 수 있는 장점이 있기 때문에 기존의 패키징용 솔더볼 부착 방법을 대체하는 효과가 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090075886)

[참 고 문 헌]

- [1] S. Houston, "Surface Mount Technology Market Forecasting," Journal of Industrial Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 1-7, 2000.
- [2] G. Pascariu, P. Cronin, and D. Crowley, "Next-generation Electronics Packaging Using Flip Chip Technology," Advanced Packaging, Vol. 11, pp. 2-5, 2003.
- [3] J. Sitek, Z. Drozd and K. Bukat, "Recent Advances in Mechatronics," Springer Berlin Heidelberg, pp. 340-344, 2007.
- [4] H. Y. Erbil, *Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces: Contact Angle of Liquid Drops on Solids*, New York:Blackwell Publishing, pp. 308-321, 2006.
- [5] J. J. Rha, Y. S. Jeong and W. D. Kim, "Fabrication of Super Water Repellent Surfaces by Vacuum Plasma," Proceedings of KSM E, Vol. 32, No. 2, pp. 143-147, 2008.
- [6] "Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices," IPC/JEDEC J-STD-020D.1, IPC/JEDEC, pp. 1-14, 2008.
- [7] J. H. Park, "Reliability Test Methods of Lead Free Solder Ball Joints," RIST Research paper, Vol. 19, No. 2, pp. 101-108, 2005.