

사다리꼴 상부 단면을 갖는 구리기둥 범프의 신뢰성 향상에 대한 연구

조일환^{1,a}

¹ 명지대학교 전자공학과

Studies on Copper Pillar Bump with Trapezoidal Cross Section on the Top Surface for Reliability Improvement

Il Hwan Cho^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Myong-Ji University, Yongin 449-728, Korea

(Received April 4, 2012; Revised June 8, 2012; Accepted June 21, 2012)

Abstract: Modified structure of copper pillar bump which has trapezoidal cross section on the top region is suggested with simulation results and concept of fabrication process. Due to the large surface area of joint region between bump and solder in suggested structure, electro-migration effect can be reduced. Reduction of electro-migration is related with current density and joule heating in bump and investigated with finite element methods with variation of dimensional parameters. Mechanical characteristics are also investigated with comparing modified copper pillar bump and conventional copper pillar bump.

Keywords: Copper pillar bump, Flip-chip interconnection

1. 서론

반도체 칩의 크기가 지속적으로 감소함에 따라 플립칩 기술은 많은 영역에서 기존의 와이어본딩 기술을 대체되고 있다. 이러한 플립칩 기술에서 기존의 솔더볼을 이용하는 방식에 비해서 집적도와 신뢰성을 높일 수 있는 구리 기둥을 사용하는 기술에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [1]. 구리 기둥을 이용한 플립칩 기술의 대표적인 장점으로는 고집적가능하다는 점과 높은 전도성으로 인한 칩의 성능 개선이 있다 [2]. 하지만 집적도의 증가와 함께 크기가 줄어든 구리기둥에 흐르는 전류의 밀도가 증가하게 되고, 이와 같은 높은 전류밀도에 의해 금속이온 이동현상 (electro migration)이 발생한다 [3]. 이와 같은 금

속이온 이동현상은 구리기둥과 솔더 사이의 전류밀도에 의해서 결정된다 [3]. 높은 전류밀도의 경우 구리기둥과 솔더 사이의 표면적을 증가시킬 경우 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 금속이온 이동현상을 줄이기 위하여 볼록한 윗면을 갖는 구리기둥 (trapezoidal cross section copper pillar bump, TCCPB)의 구조 및 공정 방법에 대하여 제안하고, 유한요소 해석법을 통하여 제안된 소자의 신뢰성 개선 효과에 대하여 분석한다.

2. 실험 방법

2.1 제안된 구조 및 공정

기존의 구리기둥 범프 (그림 1(a))와 이번 논문에서 제안된 사다리꼴 상부 단면을 갖는 구리기둥 범프

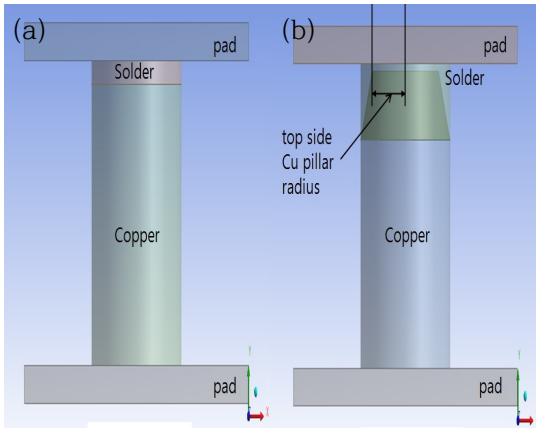


Fig. 1. (a) Conventional copper pillar bump structure and (b) trapezoidal cross section top surface copper pillar bump structure.

(TCCPB)의 구조 (그림 1(b))가 그림 1에 나타나 있다. 기본적으로 패키징에서 전기적 신호를 전달하는 구리기둥과 기판과 연결하는 솔더 부분의 구조는 동일하지만 제안된 구조의 경우 기판과의 연결부분이 추가적인 공정을 통하여 임의적으로 형성된 둥근 부분을 갖고 있다는 것이 가장 큰 차이점이다. 제안된 구조를 형성하기 위해 필요한 공정은 그림 2에 소개된 것과 같다. 먼저 기판이 되는 알루미늄 패드 위에 사진공정을 통하여 구리범프가 형성될 공간을 제작한다. 그 이후 구리기둥 형성을 위한 구리 입자를 증착한다. (그림 2(ii)) 증착된 구리 입자를 이용하여 일반적인 구리기둥 범프 공정과 같이 전기도금 공정을 통하여 구리기둥을 형성하게 되는데, 이때는 윗부분의 둥근 영역을 제외하고 나머지 부분을 먼저 형성하게 된다.

그 이후 포토레지스트 위에 회전을 하면서 분리가 가능한 추가적인 금속막을 증착하게 된다. 이때 입사되는 각도를 조절하게 되면, 그림 2(iv)와 같은 형태를 갖는 막이 형성된다. 그 이후 구리 증착공정을 회전을 하면서 수행하게 될 경우 그림 2(v)와 같은 형태의 구리기둥 상부가 완성되며 이는 기존의 전계방출소자 (field emission display)의 공정에서도 소개된 바 있다. [4] 이후의 공정은 기존의 구리기둥 범프공정과 동일하게 진행된다.

본 연구에서는 솔더 물질로 Sn-Ag 계열의 물질을 가정하였다. 그 이유로는 최근 환경문제로 인하여 사용이 자제되고 있는 Pb free solder에 대한 연구가 활성화

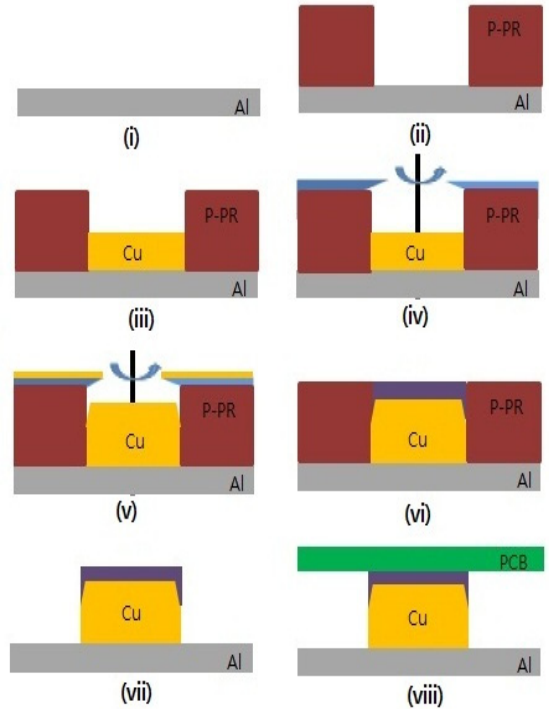


Fig. 2. Fabrication process of TCCPB.

화되었기 때문이다 [5]. 또한 기존의 구리기둥 범프를 이용한 연구 중 상당수가 Sn-Ag 계열을 사용하였다 [6].

3. 결과 및 고찰

제안된 구조의 범프가 갖는 특성을 확인하기 위하여 유한요소 해석법 시뮬레이터를 사용하였다. 먼저 제안된 구조의 전기적인 특성과 기계적인 특성을 확인하기 위해서 사용된 각각의 물질에 대한 주요 변수는 표 1에 정리되어 있다.

전체 범프의 구조에서 구리기둥이 차지하는 영향을 중점적으로 보기 위해서 제안된 TCCPB의 구조를 변경하여 특성을 비교할 경우에 전체에 사용된 솔더의 양은 일정하도록 구조를 생성하였다. 먼저 그림 3에는 기존의 구리기둥 범프(CPB)와 제안된 구리기둥범프(TCCPB)의 윗면 반지름에 따른 전류 밀도의 비교 결과가 나타나 있다. 그림 3의 결과에서는 기본적으로 제안된 TCCPB의 단면을 사다리꼴로 가정하고 사다리꼴의 위쪽 면의 길이에 따른 특성을 나타낸다. 우선 CPB에서 윗면 반지름에 따라서 전류밀도가 변

Table 1. Material properties of simulation.

Properties	Al	Cu	Sn ₅ Ag
Density (kgm ⁻³)	2,700	8,940	7,500
Coefficient of Thermal Expansion(C ⁻¹)	2.4e-5	1.7e-5	5.4e-6
Young's Modulus (Gpa)	68	110	42
Poisson's Ratio	0.36	0.34	0.35
Shear Modulus (Gpa)	81	177	46
Bulk Modulus (Gpa)	25	41	15
Yield Strength (Mpa)	95	120	35
Resistivity (ohm m)	2.7e-8	1.7e-8	1.2e-7
Tensile Yield Strength (MPa)	20	33	34

하는 이유는 앞서 설명한 바와 같이 TCCPB에서 솔더의 양을 동일하게 맞추는 기준으로 소자를 제작하였기 때문에, 그에 대응되는 CPB에 사용되는 각각의 솔더 양이 변한다. 이 차이로 인해서 각각의 경우에 CPB가 갖는 전류밀도가 변화하게 되는 것이다. TCCPB의 경우 윗단면의 반지름이 0인 경우 완벽한 원추형 구조를 갖게 되고 뾰족한 윗면에 전류가 집중되어 전체 전류밀도가 큰 값을 갖게 된다. 이후에 윗면의 반지름이 증가하게 되면 전류가 큰 폭으로 감소하다고 증가하게 되는데, 이때에도 CPB와 마찬가지로의 이유로 솔더 양에 따라서 전류밀도가 증가하게 된다. 하지만 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 솔더와 구리기둥과의 접촉면적 증가에 따른 전류밀도 감소 효과를 확인할 수 있다.

이와 같은 전류밀도의 경우 금속이온 이동현상에서 중요한 결정요소로 작용하는데 수식 (1)의 Black's equation에 금속이온 이동현상에 의한 신뢰도와 전류밀도의 관계가 나타나 있다.

$$t_{50} = A j^{-n} \exp\left(\frac{Q_{eff}}{k_B T}\right) \quad (1)$$

위의 수식에서 t50은 전기 이동현상에 의해서 불량 이 발생할 때까지 걸리는 시간 (mean time to failure), A는 상수, j는 전류밀도, n은 모델링 변수, Q_{eff}는 활성화에너지, k는 볼츠만 상수, T는 온도이다.

그림 4는 사다리꼴로 가정했던 TCCPB의 윗면의 형태를 변화시켜가면서 발생하는 전류밀도 변화 결과이다.

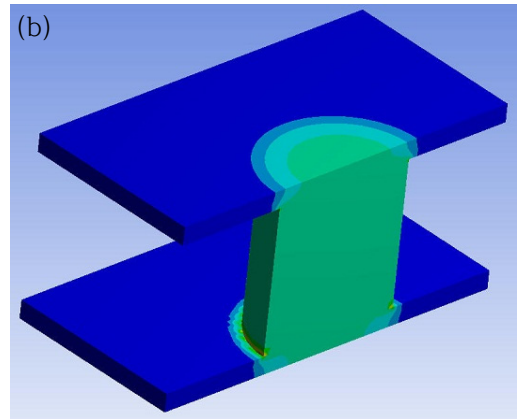
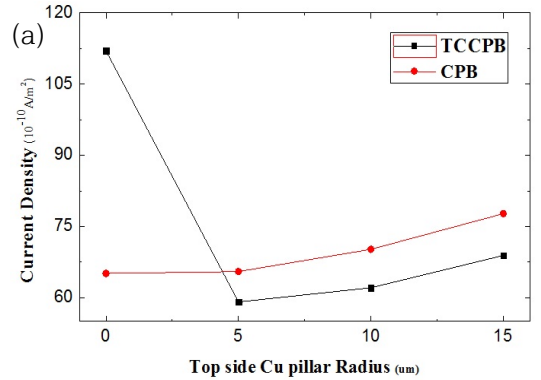


Fig. 3. (a) FEM simulation image of copper pillar bump, (b) current density variation with top side Cu pillar radius.

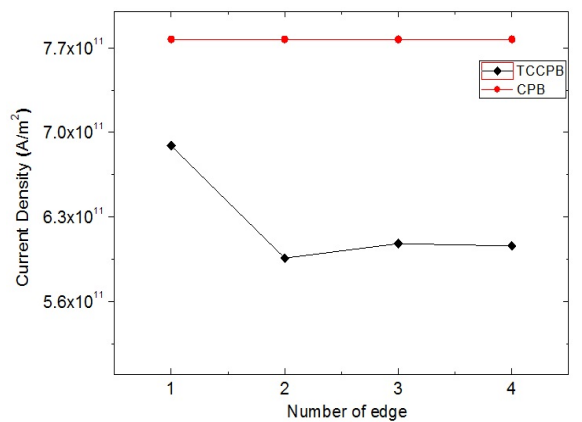


Fig. 4. Current density of TCCPB with number of edge variation.

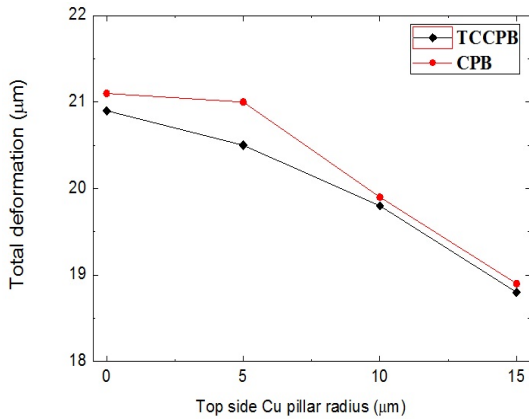


Fig. 5. Shear strength with top side Cu pillar radius variation.

윗면과 옆면 사이의 모서리 부분의 개수를 증가시킬 경우 전류의 집중 현상이 약화되어 솔더와 TCCPB 사이의 최대 전류밀도가 감소하게 된다. 이 결과 또한 앞의 수식 (1)과 연관 지어 생각할 경우 신뢰성 향상에 기여할 수 있다는 사실을 알 수 있다. 하지만, 이 경우 모서리 개수의 증가에 따른 효과는 일정 수준 이상에서 포화됨을 확인할 수 있었다. 실제 공정에서도 sharp한 형태의 사다리꼴 보다는 모서리가 부드러운 공정이 수행될 가능성이 높다.

마지막으로 측면으로 가해지는 압력에 대해서 구리기둥 범프가 받는 스트레스에 대한 결과가 그림 5에 표시되어 있다. 측면에서 가해지는 힘이 솔더와 구리기둥 사이의 계면에 접촉력에 영향을 주게 되어 좌우로 밀림 현상이 발생하게 되는데, TCCPB의 경우에는 상대적으로 증가한 표면적에 따라서 측면에서 가해지는 힘에 대하여 발생하는 변화가 CPB에 비해서 감소하게 된다. 이 결과에서도 CPB에서 발생하는 결과값의 변화는 솔더양의 변화에서 기인하며, 모든 조건에 대해서 TCCPB가 측면에서 가해지는 힘에 대해서 적은 변화를 보임을 알 수 있다.

4. 결론

고집적 패키징 기술에 사용되는 구리기둥 범프의 신뢰성 개선을 위하여 사다리꼴 상부 단면을 갖는 구리기둥 범프 기술을 소개하였다. 제안된 구조와 기존의 구리기둥 범프의 전기적, 기계적 시뮬레이션을 통하여 제안된 TCCPB 구조의 우수성을 확인할 수 있었으며, TCCPB 가 갖는 다양한 구조 변수에 따른 특성 변화에 대해서도 살펴보았다. 제안된 TCCPB의 구조를 통하여 구리기둥 범프기술의 신뢰성 향상을 이룰 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0027471).

REFERENCES

- [1] M. T. Lee, J. P. Huang, G. T. Lin, Y. H. Lin, Y. J. Jiang, S. Chiu, and C. M. Huang, *4th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference* (Taipei, Taiwan, 2009) p. 128.
- [2] Y. S. Lai, Y. T. Chiu, C. W. Lee, Y. H. Shao, and J. Chen, *Proc. 58th Electronic Component and Technology Conference* (Lake Buena Vista, USA, 2008) p. 330.
- [3] S. Lee, Y. X. Guo, and C. K. Ong, *Proc. 6th Electronics Packaging Technology Conference* (ShenZhen, China, 2005) p. 135.
- [4] C. G. Lee, B. G. Park, and J. D. Lee, *IEEE, Elec. Dev. Lett.*, **17**, 115 (1996).
- [5] Y. D. Jeon, K. W. Paik, A. Ostmann, and H. Reichl, *J. Electron. Mater.*, **34**, 80 (2005).
- [6] B. Ebersberger and C. Lee, *Electronic Components and Technology Conference* (2008) p.59.