

전해도금에 의한 플립칩용 Sn-Cu 솔더범프의 특성에 관한 연구

(A Study on the Characteristics of Sn-Cu Solder Bump for Flip Chip by Electroplating)

정석원, 황 현*, 정재필, 강춘식**

서울시립대학교 재료공학과, *삼성전자, **서울대학교 재료공학부

Abstract

The Sn-Cu eutectic solder bump formation (140 μ m diameter, 250 μ m pitch) by electroplating was studied for flip chip package fabrication. The effect of current density and plating time on Sn-Cu deposit was investigated. The morphology and composition of plated solder surface was examined by scanning electron microscopy. The plating thickness increased with increasing time. The plating rate increased generally according to current density. After the characteristics of Sn-Cu plating were investigated, Sn-Cu solder bumps were fabricated on optimal condition of 5A/dm², 2hrs. Ball shear test after reflow was performed to measure adhesion strength between solder bump and UBM (Under Bump Metallization). The shear strength of Sn-Cu bump after reflow was higher than that of before reflow.

1. Introduction

최근 전반적인 산업분야에서 환경에 대한 관심이 높아지면서 환경오염 물질에 대한 규제가 강화되고 있는 실정이다. 특히, 전자산업 분야에서 납을 함유한 솔더를 무연솔더(lead-free solder)로 대체하기 위한 노력이 진행중이다[1]. 또한, 고집적, 다단자화에 의해 전자부품의 고밀도 실장을 만족시킬 수 있는 플립칩(flip chip)[2]이 현재 연구의 주류가 되어 무연솔더를 이용한 플립칩 패키지 제작을 위한 범프 형성 기술로서, 전해도금에 의한 범핑 기술은 저가의 공정이며, 효율면에서 우수하므로 플립칩 솔더 범핑 공정에 많이 응용되고 있다. 플립칩에 적용 가능한 무연 솔더 범프를 개발함에 있어서, Sn-Ag 솔더나 Sn-Ag-Cu 솔더 등을 이용한 범프 제작에 관한 연구는 보고된 바 있지만, Sn-Cu 솔더를 이용한 범프 제작에 관한 보고는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Si 웨이퍼 위에 Al/Cu/Ni/Au를 UBM(under bump metallization)으로 사용하여 전해도금에 의해 직경 120 μ m, 피치 250 μ m의 Sn-Cu 솔더 범프를 제작하였으며, 제작 공정에 있어서 이들의 특성을 분석하고 응용 가능성을 알아보았다. 솔더 범프를 형성하기에 앞서 전해도금 최적조건을 구하기 위한 예비 실험을 통해 전류밀도 및 시간에 따른 조성과 두께의 변화를 관찰하였고 이를 바탕으로 최적조건에서 솔더범프를 형성하였다. 형성된 솔더범프를 리플로 솔더링하여 구형의 범프를 형성할 수 있었고, 기계적 성질을 평가하기 위하여 전단강도 시험을 행하였다.

2. Experimental

(1) 도금특성

솔더 범프의 전해도금조건을 알아보기 위한 예비실험으로 15mm×10mm의 p-type Si웨이퍼 위에 UBM(under bump metallization)를 증착하였다. UBM으로는 Al/Cu/Ni/Au(400nm/300nm/400nm/20nm) 박막을 전자빔증착기를 이용하여 증착하였다.

실험에 사용한 Sn-Cu 전해도금액으로는 Sn²⁺(30g/l), Cu²⁺(0.3g/l)를 함유하고 있는 상용의 NF-448, NF-141 제품을 사용하였다.

도금에 사용한 셀(cell)의 음극과 양극사이의 거리는 27mm이고, 도금온도는 20~21℃에서 행하였다. 그리고 마그네틱 스테러(stirrer)를 이용하여 교반하였다. 도금에 사용된 음극은 백금이 도금된 타이타늄 망을 사용하였다. 도금 전처리는 시편을 아세톤에서 초음파 세척하고 탈 이온수로 3회 세척하여 도금액에 20분간 적셨다. 이 시편으로 도금액 조성 후 전류밀도와 도금시간을 변화시키면서 도금층의 두께와 조성변화를 관찰하였다.

(2) 솔더범프 제작공정

도금특성 기초실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 2cm×2cm Si웨이퍼 위에 UBM으로 Al/Cu/N/Au 박막을 400nm/300nm/400nm/20nm로 전자빔증착기를 이용하여 증착하였고, 솔더와 젖음성이 없는 Ti을 솔더 탬으로 50nm 증착하였다. 이 위에 도금될 범프의 패턴을 제작하기 위해 45μm 두께의 양성감광제(positive-photoresist)를 2500rpm으로 스펀코팅(spin coating)하였고, 열판(hot plate)을 이용하여 100℃에서 베이킹(baking)하였다. 이것을 노광(exposure), 현상(development)공정을 거치고 마지막으로 솔더 탬으로 사용한 Ti를 BOE(bufferd oxide etcher)로 에칭(etching)하여 110μm 직경, 250μm 피치의 범프 도금몰드를 형성하였다. 형성된 이 시편 위에 예비실험에서 얻은 최적조건 하에서 Sn-Cu 솔더범프를 전해도금하였다. 이 과정을 통해 만들어진 솔더 범프에 VOC(volatile organic compound)-free 플럭스를 도포한 후, 대기 분위기의 열판에서 리플로 솔더링하였다. 리플로우 솔더링은 Sn-Cu 공정 솔더의 용점인 227℃보다 약 30℃ 정도 높은 260℃에서 행하였다. 리플로 시간은 5초, 10초, 30초로 하였다. 이 결과 구형의 솔더범프를 얻을 수 있었으며, 기계적 성질을 평가하기 위하여 전단강도 시험을 행하였다.

3. Results and Discussion

(1) 전해도금특성

먼저, 전류밀도와 시간에 따른 도금 두께를 측정하였다. Fig 1은 전류밀도에 따른 Sn-Cu 솔더의 도금두께를 측정한 결과이다. 도금 속도는 대체적으로 전류밀도 증가에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. Fig 2는 솔더의 도금시간에 따른 도금두께를 알아보기 위하여 임의의 전류밀도(2A/dm²) 조건하에서 실험한 결과이다. 도금두께와 시간은 비례함을 알 수 있었으며, 이를 바탕으로 다른 전류밀도에서도 이 도금속도를 기준으로 원하는 높이의 솔더 범프를 형성하기 위해 필요로 하는 대략적인 소요시간을 예측할 수 있었다.

전류밀도에 따른 Sn-Cu 솔더의 조성변화를 Fig 3에 나타내었다. 정상형 합금전해도금에서는 전류밀도의 증가에 따라 보다 비한 금속의 무게 비율이 증가하며 한계전류밀도 이상이 되면 합금층의 조성비는 거의 일정하다[3]. 대체로 모든 전류밀도 범위에서 0.9~1.4 wt%의 Cu를 함유하는 균

로 관찰하였다. 결정립의 크기는 전류밀도가 증가함에 따라 미세화되는 경향이 있다. 이러한 현상은 일반적인 도금에서도 관찰되는 것으로 전류밀도가 높은 수록 전착속도는 빨라지고 전착되는 입자의 크기는 작아지기 때문이다[4].

(2) 솔더 범프의 제작

전해 도금을 이용한 솔더 범프의 제작에 있어서, 도금되는 전류밀도는 도금층의 조성이 최대한 공정 조성을 유지하는 조건 하에 최대한 높은 값은 가지는 것이 도금 속도면에서 매우 유리하며 또한 생산성을 높일 수 있다.

선행실험의 최적조건이라 판단한 $5A/dm^2$, 2hrs, 240rpm, $20^\circ C$ 에서 전해 도금하고 PR몰드를 제거하여 형성된 기둥 직경 $120\mu m$, 높이 $75\mu m$ 의 머쉬룸형태의 Sn-Cu 솔더 범프를 Fig 4에 나타내었다. 원하는 높이의 솔더 범프를 얻기 위해서는 전류 밀도와 도금 시간과의 관계를 충분히 고려해 주어야 한다. 이를 VOC-free 플렉스를 도포하고 열판에서 $260^\circ C$ 에서 리플로 솔더링한 솔더 범프 형상을 Fig 5에 나타내었다. 리플로 솔더링한 볼 모양의 솔더 범프의 직경은 약 $140\mu m$ 이고, 피치는 약 $250\mu m$ 를 나타내었다.

Fig. 6은 Sn-Cu 솔더 범프를 열판으로 $260^\circ C$ 에서 솔더링한 전단시험 결과를 보인 것이다. 리플로 시간을 5초, 10초, 30초로 변화시켜 실험하였다. 처음 10초동안에는 리플로시 강도가 증가하다가 그 이후에는 다시 감소하였다. 이는 솔더와 패드간의 금속간 화합물의 두께와 관련지어, 계면의 금속간 화합물 층이 일정 두께까지는 두께가 증가할수록 솔더 범프와 UBM간의 접합력을 향상시키지만 취성이 강한 금속간 화합물의 과성장은 결국 취약한 부분으로 작용하여 접합력을 감소시키는 것으로 보고되어 왔다[5]. 따라서, 리플로 시간을 30초 정도로 길게 해 주었을 경우 강도가 급격히 감소하는 이유는 이들의 금속간 화합물 층이 최대 강도값을 나타내는 임계 두께 이상으로 두껍게 성장하여 상대적으로 취약해지기 때문이라고 판단된다.

4. Conclusion

- 1) Sn-Cu 솔더의 도금 두께는 도금 시간에 비례하며, 전류 밀도의 증가에 따라 증가하였다.
- 2) 전류밀도의 증가에 따라 Cu의 조성도 거의 일정한 조성을 유지하였다.
- 3) 240rpm, $20^\circ C$, $5A/dm^2$, 2hrs의 조건에서 도금하였을 때, 머쉬룸(mushroom) 형태의 Sn-Cu 범프를 형성할 수 있었으며, 이것을 리플로 하여 볼 형태의 $140\mu m$ 직경과 $250\mu m$ 피치를 갖는 범프를 제조할 수 있었다.
- 4) 범프의 전단강도는 리플로 시간에 따라 증가하다가 감소하였다. 이는 솔더와 패드간의 금속간 화합물의 두께와 관련되며, 계면의 금속간 화합물 층이 일정 두께까지는 두께가 증가할수록 솔더 범프와 UBM간의 접합력을 향상시키지만 취성이 강한 금속간 화합물의 과성장은 결국 취약한 부분으로 작용하여 접합력을 감소시키는 것으로 판단된다.

References

- [1] S. K. Kang, Sarkhel: J. Electron Mater., 23, 1994, 701
- [2] Lau, H. ed., 1995, *Flip Chip Technologies*, McGraw-Hill, New York, pp.123
- [3] A. Brenner: Electrodeposition of Alloy, Academic press, New York, 1963
- [4] Kwang-Lune Lin: Plating & surface finishing, 83, 1996, 58
- [5] J. N. Heo, J. H. Lee, D. J. Park, S. Y. Kim, D. H. Shin and Y. S. Kim: J. Kor. Inst. Met. & Mater., 37, 1999, 1122

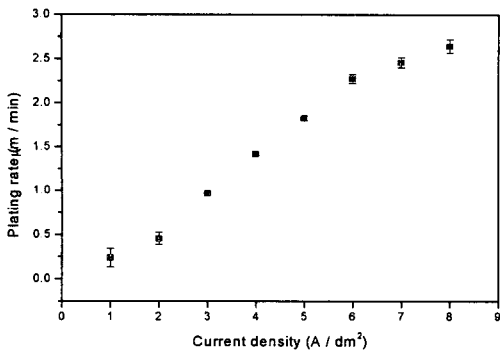


Fig 1 Relation between plating rate and current density in Sn-Cu plating

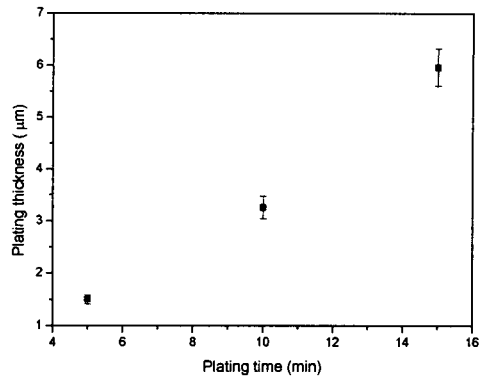


Fig 2 Relation between plating thickness and plating time in Sn-Cu plating

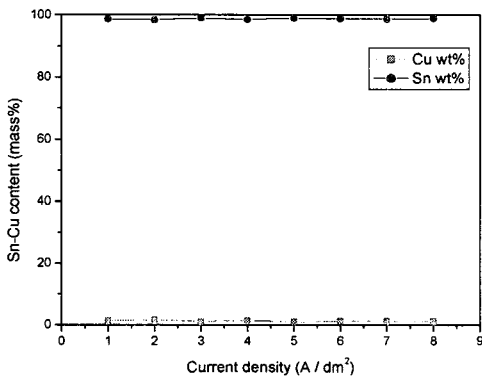


Fig 3 Composition of Sn-Cu solder with respect to current density

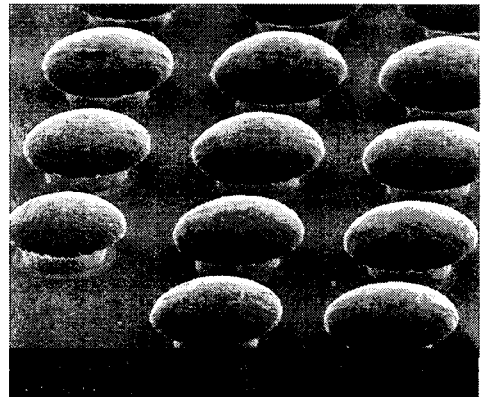


Fig 4 Morphologies of Sn-Cu solder bump after PR strip

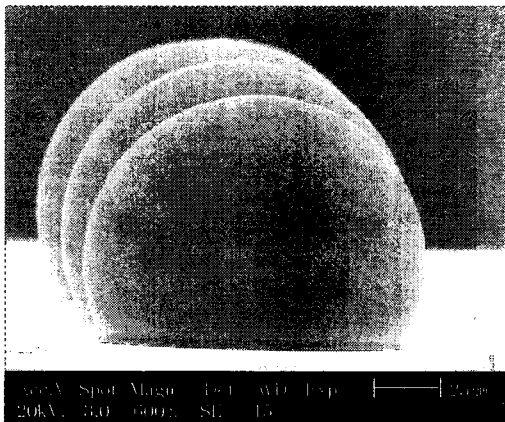


Fig 5 Morphologies for Sn-Cu solder bumps after reflow with VOC-free flux

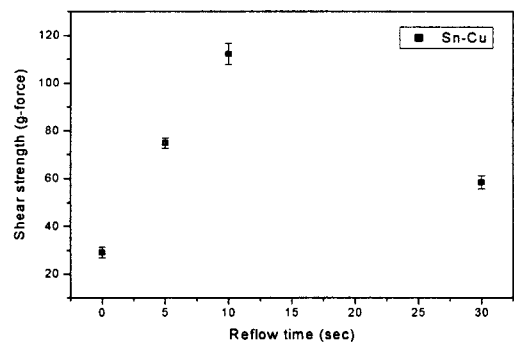


Fig 6 Shear strength of Sn-Cu bumps with respect to reflow time