

전해도금을 이용한 Ni계 UBM 및 Sn-Ag 솔더 범프 형성방법 (Fabrication Method of Ni Based Under Bump Metallurgy and Sn-Ag Solder Bump by Electroplating)

김종연, 김수현, 유진

한국과학기술원 재료공학과 전자패키지재료연구센터

Abstract

본 연구에서는 전해도금법을 이용하여 플립칩용 Ni, Ni-Cu 합금 UBM (Under Bump Metallurgy) 및 Sn-Ag 무연 솔더 범프를 형성하였다. 솔더 범프의 전해도금시 고속도금 방법으로 균일한 범프 높이를 갖도록 하는 도금 조건 및 도금 기판의 역할로서의 UBM의 영향을 조사하였다. Cu/Ni-Cu 합금/Cu UBM을 적용한 경우 음극시편의 전극 접점수를 증가시켰을 때 비교적 균일한 솔더 범프를 형성시킬 수 있었던 반면, Ni UBM의 경우는 접점수를 증가시키더라도 다소 불균일한 솔더 범프를 형성하였다. 리플로 시간을 변화하여 범프 전단 강도 및 파단 특성을 조사하였는데 Ni UBM의 경우 Cu/Ni-Cu 합금/Cu UBM에 비해 전단강도가 다소 낮은 값을 가졌고 금속막이 웨이퍼에서 분리되는 파괴 거동이 관찰되었다.

1. Introduction

플립칩 접속용 솔더 범프의 제조방법 중 하나인 전해도금법은 진공증착법 (Evaporation)에 비해서 공정이 단순하고 스텐실 프린팅에 비해서는 미세 피치를 구현할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나, 솔더 범프의 합금 조성이나 높이의 조절에 있어서는 진공증착법이나 스텐실 프린팅법에 비해 다소 어렵기 때문에 균일한 범프 형성과 용이한 조성조절 기술 확보가 전자패키지에 적용되고 있는 전해도금법이 해결해야할 과제이다 [1,2]. 또한 최근에는 전세계적으로 납을 전자부품에서 제외하려는 추세이기 때문에 납이 없는 무연솔더 재료의 개발이 진행되고 있으며, 무연솔더의 전해도금 공정의 개발에 대한 연구가 활발하다. 기존의 Pb-Sn 계 솔더를 대체할 가장 적합한 특성을 가진 무연솔더로 Sn-Ag-Cu 3원계가 거론되고 있는데 [3,4] 전해도금의 경우 3원계 이상의 무연솔더 도금 공정 개발이 쉽지 않아 아직까지는 Sn-Ag, Sn-Cu 등 2원계 솔더에 주로 적용되고 있다. 한편, 솔더를 칩의 패드 위에 접속시키기 위해서는 UBM (Under Bump Metallurgy)이 필요한데 패드와의 접합을 위한 adhesion layer, 솔더와의 확산을 막아주는 diffusion barrier, 그리고 솔더에 대한 젖음성을 갖도록 하는 wetting layer로 구성되어 있다. 기존 Pb-Sn에 사용되고 있는 Cr/Cr-Cu/Cu/Au, Ti-W/Cu/EP(전해도금) Cu 등과 같은 Cu계 UBM은 다량의 Sn을 함유하는 무연솔더와의 사용시 Cu가 Sn과 빠른 속도로 반응하여 취성이 강한 금속간 화합물을 형성하기 때문에 신뢰성을 급격히 감소시켜 사용에 제한이 있다 [5]. 따라서 무연 솔더용 UBM으로 적합하려면 솔더와의 젖음성이 우수하면서 솔더와의 반응성이 심각하지 않아야 한다. 이런 조건을 만족시키는 금속으로는 Ni이 있으며 현재 Al/Ni-V/Cu, Electroless(무전해) Ni-P/Au와 같은 Ni계 UBM에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 기존의 전해도금으로 Cu mini 범프를 형성하고 그 위에 Pb-Sn 솔더범프를 형성하던 시스템에 곧바로 적용이 가능하도록 전해도금법을 이용하여 Ni 또는 Cu/Ni-Cu 합금/Cu 형태의 UBM을 형성한 후 그 위에 Sn-Ag 무연 솔더를 전해도금하여 형성시키는 방법을 연구하였다. 이 방법은 한번의 패턴 형성으로 UBM과 솔더를 모두 형성시킬 수 있으므로 공정이 단순하다. 상기 UBM 중 Cu/Ni-Cu 합금/Cu는 한 도금조에서 전류밀도만을 변화시키는 방법을 적용하였으며 하부의 Cu는 adhesion/cushion layer, Ni-Cu는 diffusion barrier, 상부의 Cu

는 wetting layer의 역할을 하도록 고안되었다 [6.7].

2. Experimental Procedure

Fig. 1은 UBM 및 솔더 범프 형성 공정을 보여준다. 먼저 실리콘 웨이퍼 위에 스퍼터법으로 adhesion layer인 Cr과 패드 금속층인 Cu를 각각 1000 Å, 1µm 형성하고 그 위에 adhesion layer와 solder dam으로 사용하기 위한 Cr을 1000 Å, 전해도금을 위한 씨앗층으로 Cu를 3000 Å 형성하였다. Photoresist (PR)의 경우 Clariant사의 AZ9260 (Thick PR)을 사용하여 한번의 스핀 코팅으로 약 45µm 정도의 두께를 형성시킨 후 패드 지름이 100µm이고 피치가 200µm인 PR Mask를 사용하여 패턴 하였다. UBM은 Ni과 Cu/Ni-Cu/Cu 두 종류를 PR 패턴 위에 전해도금 하였다. 형성된 UBM층 위에 Sn-Ag 솔더범프를 전해도금하였는데 도금액은 상용제품인 Dipsol사의 TS3000 Series를 사용하여, 6 µm/분의 도금 속도를 갖는 고속도금을 수행하였다. 범프의 균일성을 증가시키기 위하여 다수의 음극 점접 수를 확보하였으며, PR 높이 이상으로 과도도금하여 버섯모양(mushroom shape)으로 형성시켰다. 솔더 범프 도금 후 스트리퍼(stripper)인 아세톤을 이용하여 PR을 제거하였고 남아있는 Cu 씨앗층은 황산과 과산화수소수의 혼합액으로 에칭하였다. 수용성 플럭스를 솔더 범프에 균일하게 도포한 후 250°C에서 리플로하고 공냉시킨 후 플럭스를 제거하였다. 리플로 시간을 변화시키면서 솔더 접합부의 신뢰성을 보기 위하여 범프 전단 시험을 하였다.

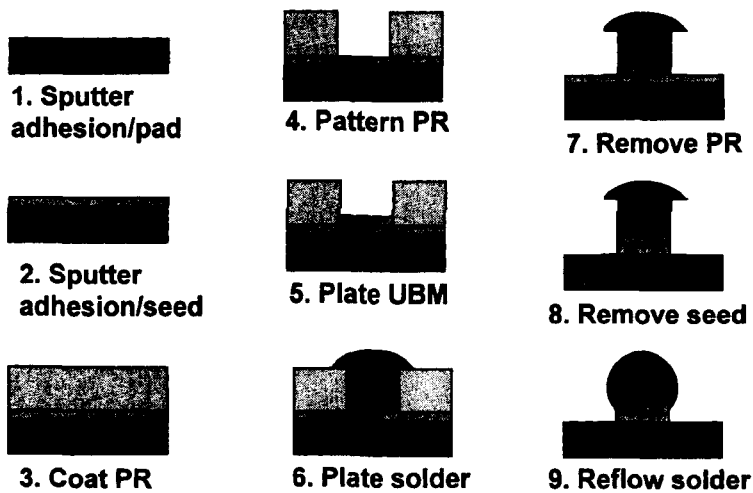
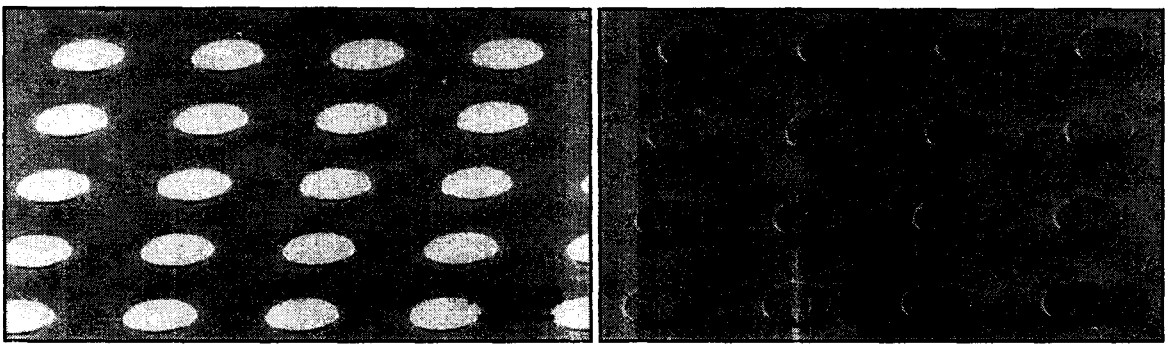


Fig. 1. Bumping Process

3. Result and Discussion

1) UBM 및 솔더 범프 형성

본 실험에서는 Ni UBM의 전해도금을 위하여 Ni sulfamate 도금액 사용하였으며 이 도금액은 도금층의 잔류응력이 낮다는 장점을 가진다. 또한 도금시 패턴된 패드부분에 원활한 도금을 위하여 계면활성제인 Na lauryl sulfate를 소량 첨가하였으며 모든 패드부분이 Fig. 2(a)와 같이 고르게 도금되었다. Ni-Cu 의 경우 Ni sulfate, Cu sulfate, Na citrate 도금액을 사용하였으며 Fig. 2(b)은 형성한 Cu/Ni-Cu/Cu UBM을 보여주고 있다.



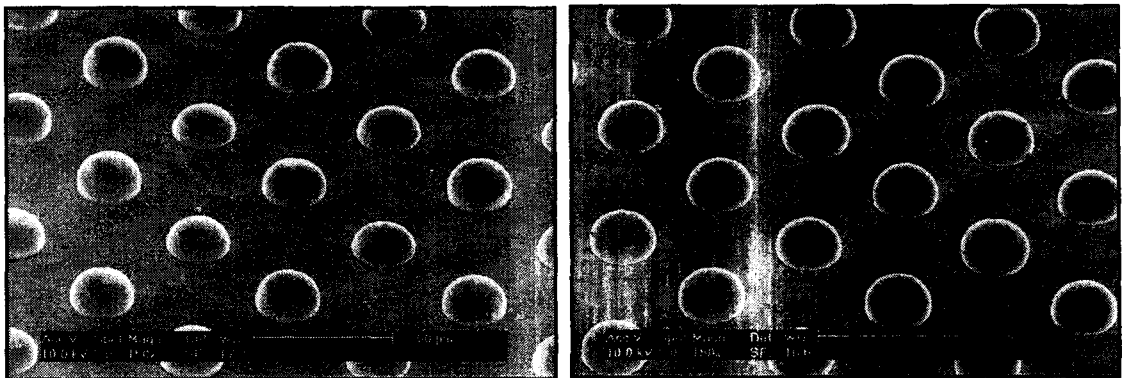
(a)

(b)

**Fig. 2. SEM image for electroplated UBM with 100/200 μ m in diameter/pitch.
(a) Ni UBM (b) Cu/Ni-Cu/Cu multi-layered UBM**

한편, Ni 전해도금의 경우 도금 온도가 낮을수록, 전류밀도가 클수록 잔류응력이 증가하게 되는데 패턴된 패드위에서 도금이 균일하게 되고 잔류응력을 최소화할 수 있는 도금조건이 필요하다. 본 실험의 경우 도금욕의 온도를 50 $^{\circ}$ C로, 전류밀도는 1A/dm², 도금속도는 0.2 μ m/min로 설정하여 잔류응력을 최소화하여 균일하게 도금하였다. Cu/Ni-Cu/Cu 다층구조 UBM의 경우 Cu는 전류밀도 0.2A/dm², 도금속도 0.05 μ m/min로 Ni-Cu는 전류밀도가 2A/dm², 도금속도는 0.35 μ m/min로 설정하여 균일한 UBM을 형성할 수 있었다.

Sn-Ag 솔더 범프 도금의 경우 고속도금용액을 사용하여 전류밀도 30A/dm², 도금속도 6 μ m/min로 설정하였다. 솔더 범프 도금시 가장 중요한 인자는 범프 높이의 균일성과 조성 조절인데 본 실험에서는 솔더 높이의 균일성을 향상시키기 위하여 음극 시편의 전극 접점수를 증가시켜 도금함으로써 범프의 균일성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. (Fig. 3 (b)) 범프 높이의 균일성이 증가했다는 사실은 패턴된 각각의 패드 전극 (microelectrode)에 걸리는 전류밀도도 균일해진다는 것을 의미하며 따라서 각각의 범프내의 Ag의 조성도 균일해질 것이다. 한편, UBM이 Cu/Ni-Cu/Cu 일때는 비교적 균일한 솔더 범프를 형성하였지만 Ni UBM 일때는 음극시편의 접점수를 증가시켜도 다소 불균일한 형태를 가졌다. (Fig. 3 (a))



(a)

(b)

Fig. 3. Electroplated Solder bumps on (a) Ni UBM (b) Cu/Ni-30Cu/Ni UBM

2) 범프 전단 시험

솔더 범프와 UBM의 종류에 따른 전단 강도 및 파단 양상을 조사하기 위하여 Dage 4000 shear tester를 사용하여 리플로 시간을 변화시켜 형성한 솔더 범프의 전단 시험을 행하였다. 본 실험에서는 Ni, Cu/Ni-30wt%Cu/Cu, Cu/Ni-wt%60Cu/Cu 3가지 UBM을 사용하였고, 리플로는 250°C Hot plate에서 30sec, 60sec, 120sec, 180sec, 300sec로 시간을 증가시키면서 수행하였다. Fig. 4에서 보듯이 Ni UBM의 경우 Cu/Ni-Cu/Cu 다층구조 UBM에 비해 약 10g-force정도 낮음을 알 수 있었다. 300sec 리플로 후 각 솔더 범프에 대한 파단 양상은 Fig. 5(a), (b)와 같이 대부분이 솔더 내 전단 파괴와 금속간 화합물에서의 파괴가 혼합된 파괴 형태를 보였다. 하지만 Ni (4 μ m) UBM의 경우 Fig. 5(c), (d)와 같은 두가지 형태를 보였고 특히 (d)는 금속막이 떨어져서 실리콘 웨이퍼가 드러난 것으로서 이는 응력에 의해 발생한 것으로 생각된다.

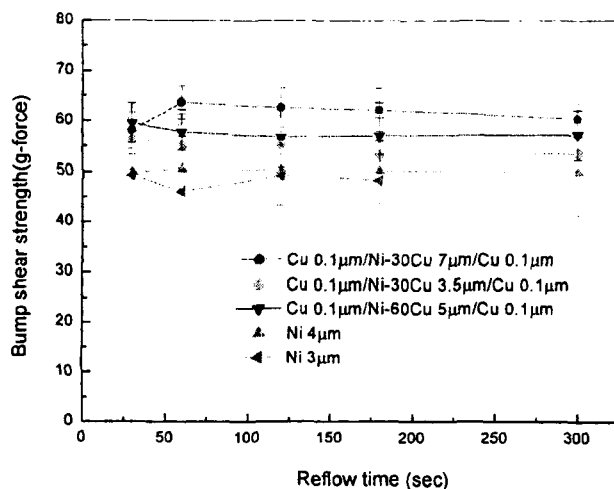


Fig. 4. Bump shear strength

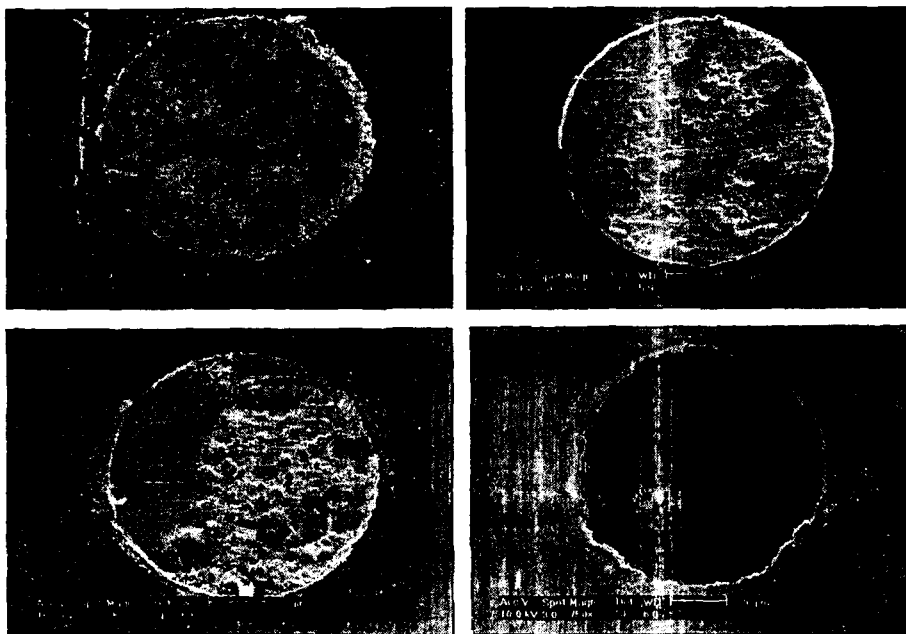


Fig. 5. Bump shear fracture shape (a) Cu/Ni-30Cu/Cu (b) Cu/Ni-60Cu/Cu (c),(d) Ni (4 μ m)

4. Conclusion

본 연구에서는 전해도금법을 이용하여 플립칩용 Ni, Cu/Ni-Cu 합금/Cu UBM 및 Sn-Ag 무연 솔더 범프를 형성하였다. Cu/Ni-Cu/Cu UBM을 적용한 경우 음극 시편의 전극 접점수를 증가시켰을 때 고속 도금 방법으로 비교적 균일한 솔더 범프를 형성하였지만, Ni UBM의 경우에는 솔더 범프의 크기가 다소 불균일하였다. 범프 전단 시험시 Ni UBM의 경우 Cu/Ni-30wt%Cu/Cu, Cu/Ni-60wt%Cu/Cu UBM에 비하여 전단강도가 대략 10g-force정도 낮은 값을 가졌고 두께가 4 μ m인 Ni UBM은 리플로우 시간이 증가될수록 실리콘 웨이퍼에서 금속막이 분리되는 솔더 범프들이 발생했다.

Acknowledgments

본 연구는 한국과학재단 전자패키지재료연구센터의 지원으로 수행하였습니다.

Reference

- [1] John H. Lau, *Low Cost Flip Chip Technologies*, McGraw-Hill, p43~55, 2000.
- [2] Kwang-Lung Lin, Shih-Yuan Chang, *IEEE Part B*, vol.19, No.4, November 1996.
- [3] C.M.Miller, I.E.Anderson, J.F.Smith, A viable SnPb solder substitute: Sn-Ag-Cu, *J. Electr. Mater.* 23(7), 1994.
- [4] Website: www.nemi.org/PbFreePUBLIC.
- [5] D.R.Frear, F.M.Hosking, P.T.Vianco, *Proc. Materials Developments in Microelectronic Packaging Conf.* (Materials Park, OH: ASM, 1991), p229.
- [6] Su-Hyeon Kim, Jong-Yeon Kim, and Jin Yu, *Proc. 2002 Int'l Symp. Microel. (IMAPS 2002)*, Denver, USA, Sep. 4-6 2002, p.251.
- [7] 김수현, 김종연, 유진, "전기도금법에 의한 반도체 소자의 플립칩 접속용 UBM의 형성 방법", 대한민국 특허 출원중, 2002.7.26.