

Cu pad 위에 무전해 도금된 플립칩 UBM과 비솔더 범프에 관한 연구

나재웅, 백경욱
한국과학기술원 재료공학과

Abstract

Cu is considered as a promising alternative interconnection material to Al-based interconnection materials in Si-based integrated circuits due to its low resistivity and superior resistance to the electromigration. New bumping and UBM material systems for solder flip chip interconnection of Cu pads were investigated using electroless-plated copper (E-Cu) and electroless-plated nickel (E-Ni) plating methods as low cost alternatives. Optimally designed E-Ni/E-Cu UBM bilayer material system can be used not only as UBMs for solder bumps but also as bump itself. Electroless-plated E-Ni/E-Cu bumps assembled using anisotropic conductive adhesives on an organic substrate is successfully demonstrated and characterized in this study.

1. Introduction

플립칩(flip-chip) 접속기술은 기존의 와이어 본딩이나 TAB (Tape Automated Bonding)과는 다르게 칩의 전 면적을 활용하여 접속하여 적은 면적에 많은 I/O를 가지며, 접속 길이를 감소시켜 전기적 성능이 향상된 고집적 패키징 기술이다. 플립칩 접속기술은 크게 두 가지로 분류하여 솔더를 이용한 접속 방법과 비솔더 접속 방법으로 분류할 수 있다.

최근에 반도체 기술이 끊임없이 고집적화, 복잡화 됨에 따라 소자의 집적도가 매우 빠른 속도로 증가하고 있어 고 집적도 반도체 칩의 스피드를 더욱 증가시키기 위하여 저항이 작은 interconnect 도선의 중요성이 커지고 있으며 이로 인해 기존의 알루미늄 ($2.66\mu\text{ohm-cm}$)에 비하여 비저항이 낮은 뿐만 아니라 ($1.67\mu\text{ohm-cm}$), electromigration에 대한 저항성이 우수한 동을 사용하는 기술이 각광을 받고 있다[1]. 그러나 아직까지 이러한 Cu electrode를 사용하는 칩에 플립칩 접속을 이용하기 위한 연구는 거의 미비해 Cu pad에 적용될 수 있는 솔더 접속용 UBM 및 비솔더 접속용 범프 system을 design 하는 연구가 매우 필요한 실정이다.

본 연구에서는 무전해 구리 및 무전해 니켈 도금 방법을 이용하여 Cu pad에 적용 가능한 저가형의 솔더 플립 칩 접속용 UBM 형성 공정 기술과 비 솔더 접속용 범프 구조를 제안하였고, 기계적 및 전기적 테스트를 수행하였다.

2. Experimental

그림 1에 본 연구에서 사용된 솔더 범프 및 비솔더 범프의 모식도를 나타내었다. 본 연구에서는 실제의 상용 칩을 사용하지는 않았지만, 상용 칩과 가까운 형태의 칩을 제조하여 솔더 및 비솔더 범프 형성을 수행하였다.

먼저 DC magnetron sputtering 법을 이용하여 Si wafer에 base pressure 2×10^{-6} torr 이하 및

working pressure 1.5×10^{-2} torr에서 Si wafer에 Ti 2000 Å을 증착한 후, Cu 1mm를 증착하였다. 일반적으로 Cu는 Si와 접착력이 나쁘다고 알려져 있기 때문에 Ti 층은 이들 사이의 접착력을 증가시키기 위한 목적으로 사용하였다. 이들 금속의 패턴은 리소그래피 (lithography)와 습식 식각 (wet etching)을 이용하여 형성하였다. Passivation 층은 Cyclotene 4026 이라는 상품명으로 개발된 감광성이 있는 유전성 폴리머인 BCB (Benzocyclobutene) [2]를 이용해 스핀 코팅 방법을 사용하여 약 6 mm 두께로 도포하여 사용하였다.

무전해 도금 층은 도금액 속에 담금 (immersion)만으로도 선택적인 증착이 가능하기 때문에 추가적인 리소그래피 공정 없이 무전해 구리 (E-Cu), 무전해 니켈 (E-Ni) 및 immersion 금 (Au) 층을 차례로 증착하였다. 모든 도금은 온도 조절을 용이하게 하기 위하여 물 증탕 분위기에서 수행하였고 도금 층의 화학 반응에 의한 hydrogen bubbles의 형성을 억제하기 위하여 도금 용액 내에 질소 (N₂) 가스 bubbling을 수행하였다. 또한 도금 층의 용액 중의 이온 농도 변화를 억제하기 위해 도금 욕의 크기를 시편의 그것에 비해 상당히 크게 제작하였다. 솔더 UBM 목적으로는 전체 두께를 5 μm 이하로 하였고, 비솔더 범프 목적으로는 Passivation 층 위의 높이가 20 μm가 되도록 하였다.

솔더 범프는 Sn-36Pb-2Ag의 조성을 가지는 지름 500 μm의 볼을 사용하여 범프를 형성시켰다. 리플로 공정은 최고 온도 (peak temperature)는 $240 \pm 5^\circ\text{C}$, 녹는점 이상에서의 지속 시간 (dwell time)은 80 ± 5 초, 초기 가열 속도는 $1.5\text{--}2.5^\circ\text{C}/\text{sec}$ 로 하였다. 비솔더 범프가 형성된 칩 접속은 5 μm 크기의 구형 니켈 입자가 10 wt% 함유된 ACA (Aisotropic conductive adhesive)를 사용하였으며, 100 N의 힘을 가하면서 120°C 에서 5분 동안 접속하였다.

3. Results and Discussion

3-1. 솔더 플립칩

그림 2는 3.5 mm 두께의 E-Cu A (그림 2 (a)-(c))와 1.7/1.6 mm 두께의 E-Ni/E-Cu A (그림 2 (d)-(f)) UBM에 대하여 솔더 볼 형성 전과 솔더 볼 형성 후 각각 1, 4회 리플로 했을 때의 BS-SEM으로 관찰한 단면 사진을 나타낸다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 E-Cu UBM에서는 리플로를 1회 하였을 때 이미 UBM 층이 급격히 감소함을 알 수 있다.

그림 3에 E-Ni/E-Cu UBM에 대하여 따라 리플로 회수를 달리 한 솔더 범프의 ball shear test 후 솔더 접합부의 파단면을 나타내었다. 그림에서 보면 1회 리플로 경우에는 파단면이 솔더 내에서 나타나지만, 리플로 횟수가 증가하면서 솔더 내부 파단과 함께 솔더 접합 부위의 edge 부분에서 파단이 일어난 것을 볼 수 있다. 리플로 횟수 증가에 따라 솔더 edge 파단 양이 증가하였고, 특히 4회 리플로 후에는 파단면의 양상이 다르게 관찰되었다. EDS 분석결과 그림 9 (c)의 B 부분은 소량의 Sn 이 있는 E-Ni 층 이었고, 그림 9 (d)의 C 부분은 Ni이 없는 Cu 층 이었으며, 그림 9 (d)의 D 부분은 Cu 층이 없는 Ti 층으로 확인 되었다. 그림 9의 (b), (c)에서 IMC 층이 나타나지 않고 바로 Ni 층이 나타나는 이유는 monoclinic 구조인 Ni₃Sn₄ 상과 비정질인 무전해 Ni은 불일치가 매우 크기 때문에 그 계면이 쉽게 떨어져 나갈 가능성이 있고, Ni 층 위에 형성된 P 과포화 층에 의해 Ni 표면의 wettability가 감소하는 것도 영향을 미친다고 판단된다.

결국 E-Ni/E-Cu UBM에서 솔더 범프의 파단면은 리플로 횟수 증가에 따라 솔더 내부 -> 솔더/Ni 계면 -> Ni/Cu 및 Cu/Ti 계면으로 파괴 단면이 바뀌면서 강도 값의 변화를 나타내는 것으

로 볼 수 있다. 초기에 연한 솔더 내부 파단이 발생해 낮은 강도 값을 보이다가 리플로 횟수 증가에 따라 Sn과 Ni의 반응으로 인해 솔더/Ni 계면에서 파단이 일어나 강도값이 증가하게 된다. 그러나, Si와 Ni 및 Cu의 열팽창 계수 차이가 크기 때문에 리플로 횟수가 증가하게 되면 열응력이 커져서 파괴 단면이 Ni/Cu 및 Cu/Ti 계면으로 바뀌게 되어 적은 힘에도 파괴가 일어나 강도 값이 감소된다.

E-Cu UBM의 두께 변화에 따른 솔더 범프의 ball shear test 후 솔더 접합부의 파단면은 그림 4에 나타내었다. E-Cu UBM 경우 강도 값의 변화는 Sn과 반응하여 IMC가 형성된 층의 두께와 남아있는 E-Cu 층의 두께 비가 영향을 미친다고 생각된다. 먼저 UBM으로 E-Cu를 사용하였을 경우에는 E-Ni/E-Cu UBM과는 다르게 솔더 내부에서의 파단은 관찰되지 않았는데, E-Cu의 경우에 1회 리플로 후부터 상당량의 IMC가 형성되어 그림 4 (a), (c)와 같이 파단면이 취성이 큰 Cu_6Sn_5 상에서 발생하면서 강도값이 감소함을 알 수 있었다. 3회 리플로까지 대부분 이러한 형태의 파단면이 관찰되었지만 4회 리플로 후에는 E-Cu 두께에 따라 파괴 양상이 크게 달라지면서 강도 값도 큰 차이를 나타내었다. E-Cu 5mm의 경우에는 UBM의 두께가 충분하여 4회 리플로 후에도 IMC가 형성된 층의 두께와 E-Cu가 남아있는 층의 두께비가 3.5mm에서 1회 리플로 한 경우가 유사하여 파단면이 Cu_6Sn_5 상에서 발생하여 강도값도 두 조건의 경우가 유사하였으나 (그림 4(d)), E-Cu 3.5mm 경우에는 4회 리플로 후 IMC가 형성된 층의 두께가 E-Cu가 남아있는 층보다 상당히 크기 때문에 Cu_6Sn_5 상 내부에서의 파단 이외에도 대부분 그림 4의 (b)에서와 같이 Si cratering이 발생하면서 강도값이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 E-Cu를 UBM으로 사용할 경우에는 pad를 보호하기 위한 솔더와의 반응 양 외에도 사용목적에 따라 리플로 횟수 증가에 의한 IMC 층의 두께 증가에 따른 응력을 견딜 수 있는 충분한 두께를 이용하여야 함을 알 수 있다.

3-2. 비솔더 플립칩

비솔더 플립칩 패키지의 범프로써 응용하기 위해서는 균일한 높이와 모든 I/O 패드마다 재연성 있는 범프 형성이 매우 중요하다. 본 연구에서 수행한 무전해 Cu/Ni/Au 범프는 각 I/O 패드마다 균일한 모양과 높이를 갖는 무전해 범프가 형성되었으며 평평한 범프의 표면도 이상적이다. Organic 기판에 ACA를 이용한 플립칩 접속을 수행한 후 전기적 테스트에서도 모든 I/O 패드와의 접속을 확인하였다. 한편 두 가지 경우의 플립칩 접속에 있어서 고전류 실험 결과, 솔더 범프와 비교하여 ACA 접속을 한 경우의 current handing capability가 보다 우수한 것으로 나타났다.

References

- [1] G. M. Adema, C. J. Berry, N. G. Koopman, G. A. Rinne, E. K. Yung, and I. Turlik, International Journal of Microcircuits and Electronic packaing, IJMEP, 17(4), 352 (1994)
- [2] E. W. Rutter Jr., E. S. Moyer, R. F. Harris, D. C. Frye, V. L. St. Joer, and F. L. Oaks, Proceedings of 1st International Conference on Multichip Module, ISHM/IEPS, Denver, Colorado, April 1-2, 394 (1992)

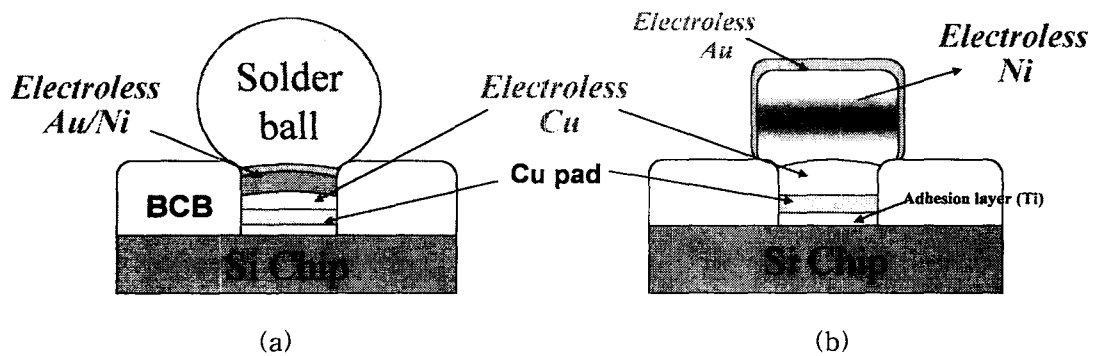


Fig. 1 Schematic diagram of flip chip bump for Cu pads
 (a) solder bump (b) non-solder bump

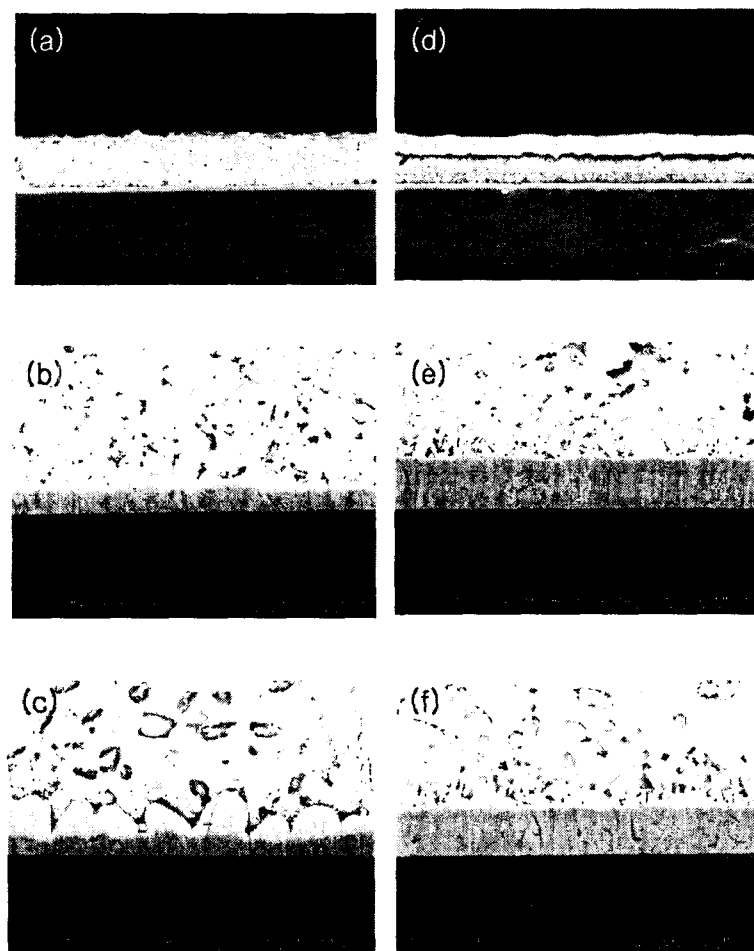


Fig. 2. Cross-section BS-SEM images of electroless UBM/Pb-Sn-Ag solder interface.
 (a) E-Cu UBM, (b) solder/E-Cu after 1 reflow, (c) solder/E-Cu after 4 reflow,
 (d) E-Ni/E-Cu UBM, (e) solder/E-Ni/E-Cu after 1 reflow, (f) solder/E-Ni/E-Cu after 4 reflow

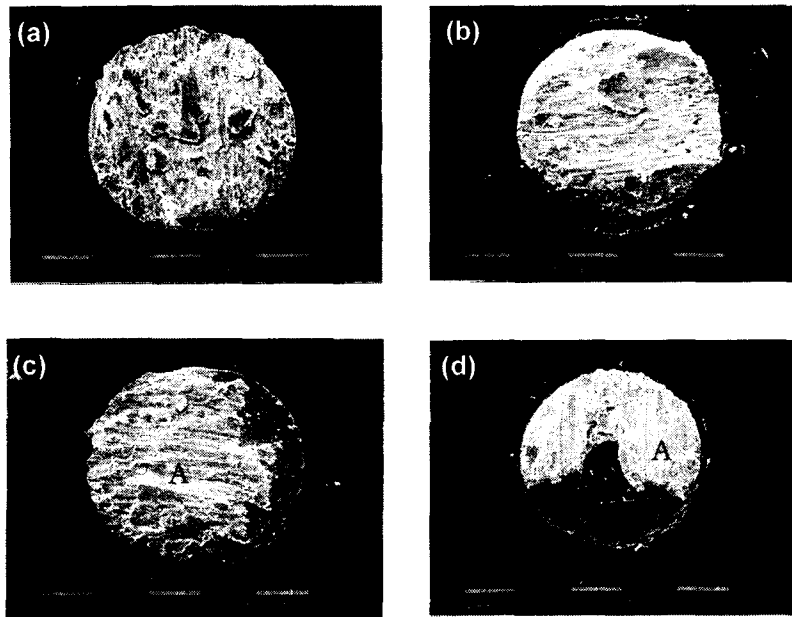


Fig. 3. Top view of PbSnAg Solder Bump on an E-Ni/E-Cu A UBM after Ball Shear test. (a) reflow 1, (b) reflow 2, (c) reflow 3, (d) reflow 4

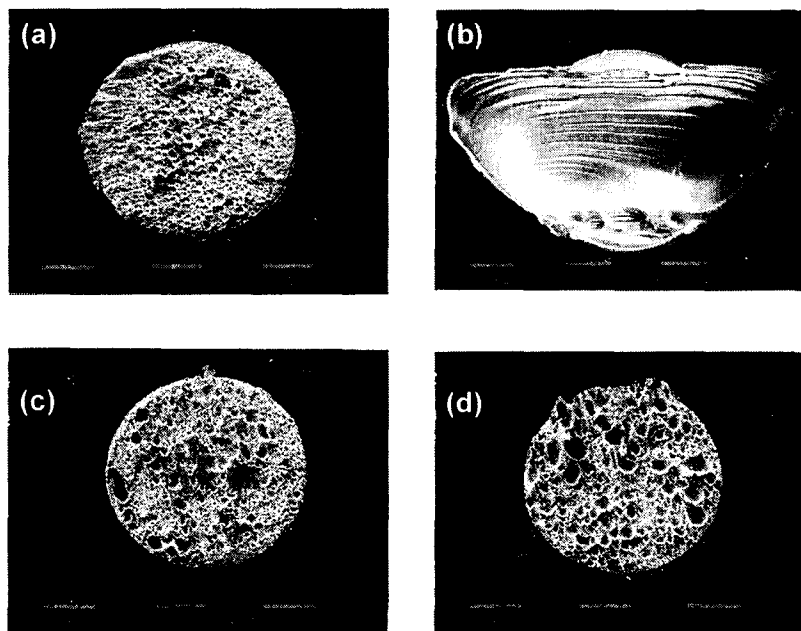


Fig. 4. Top view of PbSnAg Solder Bump on E-Cu UBM after Ball Shear test (a) 3.5 mm E-Cu A after reflow 1, (b) 3.5 mm E-Cu A after reflow 4, (c) 5 mm E-Cu B after reflow 1, (d) 5 mm E-Cu B after reflow 4