

나재웅, 백경욱
한국과학기술원 재료공학과
(E-mail; jaewoong@cais.kaist.ac.kr)

Investigation of low cost flip chip under bump metallization (UBM) systems and non solder bumps on Cu pads

J. W. Nah and K. W. Paik
Dept. of Materials Science and Engineering,
Korea Advanced Institute of Science and Technology

1. 서론

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 있다¹⁾. 그러나 아직까지 이러한 Cu electrode를 사용하는 칩에 솔더 플립칩 접속을 이용하기 위한 UBM 층과 LCD 패키징에 응용되고 있는 Anisotropic Conductive Adhesive (ACA) 플립칩 접속기술에 사용되는 범프에 대한 연구는 거의 미비해 Cu pad에 적용될 수 있는 UBM system 및 범프를 design 하는 연구가 매우 필요한 실정이다.

본 연구에서는 무전해 도금 방법을 이용하여 Cu pad에 적용 가능한 솔더 플립 칩 접속용 UBM 형성 공정 기술을 제안하고, 각 종류의 UBM과 Sn-36Pb-2Ag 솔더 사이에서 리플로 공정 중 형성되는 금속간 화합물 (Inter Metallic Compound, IMC) 성장 거동이 솔더 joint의 기계적 안정성에 미치는 영향을 고찰해 보고자 한다. 또한, 무전해 도금법을 이용하여 Cu pad 위에 비솔더 범프를 형성하고 FR-4 기판에 ACA로 접속하여 전자 패키징에서의 실용가능성을 알아본다.

2. 실험방법

Si 웨이퍼 위에 스퍼터로 Cu/Ti 층을 증착한 후 패터닝 하여 Cu pads를 형성하였다. Ti 층은 Si와 Cu 사이의 접착력을 증가시키기 위한 목적으로 사용하였다. Passivation 층은 BCB (Benzocyclobutene)²⁾를 이용해 스펀 코팅 방법을 사용하여 약 $6\mu\text{m}$ 두께로 도포하여 사용하였다.

무전해 도금 층은 도금액 속에 담금 (immersion)만으로도 선택적인 증착이 가능하기 때문에 추가적인 리소그래피 공정 없이 UBM으로 이용한 무전해 구리 (E-Cu), 무전해 니켈 (E-Ni) 및 immersion 금 (Au) 층을 차례로 도금하였다. E-Cu 도금은 상용 용액을 이용하여 $46\pm 0.5^\circ\text{C}$ 온도에서 E-Ni 도금은 $90\pm 0.5^\circ\text{C}$ 온도에서 수행하였다. 금 도금은 $80\pm 0.5^\circ\text{C}$ 온도에서 약 15분간 담금으로써 1000A 두께로 도금하였다.

솔더 범프는 Sn-36Pb-2Ag의 조성을 가지는 지름 $500\mu\text{m}$ 의 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 $1.5\sim 2.5^\circ\text{C}/\text{sec}$ 로 하였다. 본 연구에서 사용된 시편에 대해 최대 4회 리플로를 수행하였다. 기계적 접속강도의 측정을 위하여 형성된 솔더 범프를 각 UBM system에 대해 ball shear test를 수행하였다. 테스트 높이는 Passivation 층 위 $5\mu\text{m}$, 테스트 속도 $500\mu\text{m}/\text{s}$ 의 조건하에서 각각 30개의 볼에 대한 측정값의 평균 및 오차를 구하였다. 솔더와 UBM 사이의 계면에서 반응 양상 및 조성은 시편의 단면을 Backscattered SEM으로 관찰하고 EDX로

분석하였다. IMC의 형태는 Sn만 선택적으로 에칭한 후 평면 형상을 SEM으로 관찰하였다. 리플로 후 생성된 IMC의 종류는 에칭된 시편을 micro-area X-ray Diffractometer (Rigaku, Rint 2000)의 지름 $100\mu\text{m}$ 의 Focus beam을 이용하여 상 분석을 수행하였다.

비슬더 접속용 범프는 Passivation 층위에 $20\mu\text{m}$ 높이로 형성하였다. ACA로는 $5\mu\text{m}$ 크기의 구형 니켈 입자가 10 wt% 함유된 epoxy를 사용하였으며, 100N의 힘을 가하면서 120°C 에서 5분 동안 접속하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 솔더와 UBM 사이의 계면 현상

본 연구에서 사용된 무전해 도금법을 이용하여 제작한 UBM 층 및 솔더 범프의 사진을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 추가적인 lithography 공정 없이 Cu pad가 open 된 영역에만 일정한 두께의 매끄러운 UBM 층이 형성되는 것을 알 수 있다.

그림 2는 $3.5\mu\text{m}$ 두께의 E-Cu와 $1.7/1.6\mu\text{m}$ 두께의 E-Ni/E-Cu UBM에 대하여 솔더 불 형성 전과 솔더 불 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. 4회 리플로 후에는 IMC 상이 더욱 크게 성장하였지만 UBM으로 사용된 E-Cu 층이 모두 소모되지 않아 솔더와 패드 Cu가 직접 만나는 부분은 존재하지 않는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 E-Cu의 경우에는 PbSnAg 솔더 불에 대하여 $3\mu\text{m}$ 정도의 두께로도 4회 리플로까지 barrier로서 충분한 역할을 하는 것을 알 수 있다. 이에 반해, E-Ni/E-Cu UBM에서는 리플로를 4회 하였을 때도 UBM 층의 두께 변화가 거의 없이 안정적인 형태를 유지하고 있는 것을 볼 수 있다. 무전해로 증착한 니켈 층은 비정질을 나타내기 때문에 솔더의 확산 경로가 감소해 Cu에 비해 솔더에 dissolution 되는 정도가 감소한다고 알려져 있다. 본 실험에서 사용된 Solder/Au/E-Ni/E-Cu/Cu/Ti/Si 구조에서 E-Ni $1.7\mu\text{m}$ 경우의 네 번 리플로 후 단면을 EDS Line-Scan 을 한 결과 네 번 리플로 후에도 E-Cu의 E-Ni 층을 통한 확산은 거의 관찰되지 않았고, E-Ni 층이 솔더 확산의 충분한 barrier 역할을 하고 있는 것을 알 수 있었다. 그림 3는 두 가지 형태의 UBM에 대해 각각 1회, 4회 리플로 후 Sn을 선택적으로 에칭한 시편의 사진을 나타내었다. E-Cu와 Sn 간의 계면 IMC 성장을 살펴보면 조가비 모양으로 성장하는데 비해 E-Ni과 Sn 간에는 IMC가 다각형과 침상으로 성장하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 리플로 횟수가 증가할수록 E-Cu 및 E-Ni 모두 IMC의 형태가 점차 커지는 것도 관찰되었는데, Ni-Sn IMC의 경우에는 다각형의 금속간 화합물의 크기 증가에 따라 침상 금속간 화합물의 분율이 감소함을 볼 수 있다. UBM으로 사용된 E-Cu는 fcc 구조이고 E-Ni은 비정질을 나타내며 솔더와 반응하여 형성된 IMC는 각각 Cu_6Sn_5 상 및 Ni_3Sn_4 상인 것을 XRD 결과에서 확인할 수 있었다.

3-2. UBM 구조 및 두께에 따른 솔더의 기계적 안정성

각각의 UBM 구조에 대해 리플로 횟수에 따른 솔더 범프의 접합강도 값의 변화를 살펴 보면 E-Ni/E-Cu UBM이 E-Cu UBM에 비하여 대략 100~150g-force 정도 큰 shear strength를 나타내었고, 3회 리플로까지는 리플로 회수 증가에 따라 강도 값의 변화 폭이 크지 않다가 4회 리플로 후 E-Cu $5\mu\text{m}$ UBM을 제외하고는 모두 강도 값이 상당히 감소하였다. E-Ni/E-Cu와 E-Cu UBM 사이에 강도 값이 차이가 나는 이유는 다음의 두 가지 원인으로 생각할 수 있다. 첫째, E-Cu UBM의 경우 앞의 그림 2에서 보인 바와 같이 1회 리플로 후에도 IMC가 상당량 생성되기 때문에 취성이 강해져 접속 강도가 감소하는 것으로 판단되며, 둘째, 앞의 그림 3에서 보이는 바와 같이 솔더와의 계면에 E-Ni이 존재하게 되면 다각형 모양의 IMC가 형성되므로 E-Cu와 계면에서 형성되는 조가비 모양의 IMC에 비해 interface roughness가 증가하게 되어 접합력이 커져서 강도 값이 증가되는 것이라고 생각된다. E-Ni/E-Cu UBM에 대하여 리플로 회수를 달리 한 솔더 범프

의 ball shear test 후 솔더 접합부의 파단면을 살펴 보면 1회 리플로 경우에는 파단면이 솔더 내에서 나타나지만, 리플로 횟수가 증가하면서 솔더 내부 파단과 함께 솔더 접합 부위의 edge 부분에서 파단이 일어난 것을 알 수 있다. 리플로 횟수 증가에 따라 솔더 edge 파단 양이 증가하였고, 특히 4회 리플로 후에는 파단면의 양상이 다르게 관찰되었다. E-Cu UBM 경우에는 강도 값의 변화에 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 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 $5\mu m$ 의 경우에는 UBM의 두께가 충분하여 4회 리플로 후에도 IMC가 형성된 층의 두께와 E-Cu가 남아있는 층의 두께비가 $3.5\mu m$ 에서 1회 리플로 한 경우가 유사하여 파단면이 Cu_6Sn_5 상에서 발생하여 강도값도 두 조건의 경우가 유사하였으나, E-Cu $3.5\mu m$ 경우에는 4회 리플로 후 IMC가 형성된 층의 두께가 E-Cu가 남아있는 층 보다 상당히 크기 때문에 Cu_6Sn_5 상 내부에서의 파단 이외에도 Si cratering이 발생하면서 강도값이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

3-3. 무전해 Au/Ni/Cu 범프를 이용한 ACA Flip chip Application

ACA 플립칩 패키지의 범프로써 응용하기 위해서는 균일한 높이와 모든 I/O 패드마다 재연성 있는 범프 형성이 매우 중요하다. 그림 4에 본 연구에서 수행한 무전해 Au/Ni/Cu 범프를 나타내었다. 각 I/O 패드마다 균일한 모양과 높이를 갖는 무전해 Ni 범프가 형성되었으며 평평한 범프의 표면도 이상적이다. Organic 기판에 ACA 플립칩 접속된 테스트 칩의 단면 사진에서 무전해 Au/Ni/Cu 범프와 기판과의 도전 입자를 통한 전기적 연결을 볼 수 있고, 전기적 테스트에서도 모든 I/O 패드와의 접속을 확인하였다.

4. 결론

Cu 및 Ni 무전해 도금법을 이용하여 Cu pad에 대한 솔더 플립칩 접속용 UBM 및 ACA 접속용 범프를 제안 하였다. 무전해 Ni 층은 무전해 Cu 층에 비해 얇은 두께로도 Sn과 Cu pad 사이 반응에 대한 확산 방지 층 역할을 충분히 할 수 있음을 확인하였다. 리플로 횟수에 따른 솔더 볼의 접속 강도에 대한 실험에서는 E-Ni/E-Cu UBM을 사용한 경우가 E-Cu UBM의 경우에 비해 접속강도가 대략 100~150g-force 정도 큰 값을 나타내었다. E-Cu UBM의 경우 짧은 리플로 회수에서도 취성이 큰 IMC 형성 양이 많아 접속 강도가 감소한 것으로 판단된다. E-Ni/E-Cu UBM에서 솔더 범프의 파단면은 리플로 횟수 증가에 따라 파괴 단면이 바뀌면서 강도 값의 변화를 나타내는 것을 확인하였다. E-Cu UBM의 경우 취성이 큰 IMC 형성 양이 많아 대부분 Cu_6Sn_5 상에서 파단이 발생하였으나, UBM 층이 얇은 경우에는 높은 응력으로 인해 4회 리플로 만으로도 Si cratering 현상이 나타나 경도 값이 급격히 감소하였다. 한편, 무전해 도금법을 이용하여 테스트 칩에 균일한 높이와 이상적인 모양의 Au/Ni/Cu 범프를 형성한 후 ACA 플립칩 패키지를 통해 전기적 연결을 확인하여 Cu pad 위에 ACA 플립칩용 범프 응용을 위한 가능성을 제시하였다.

참고문헌

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, 394 (1992)

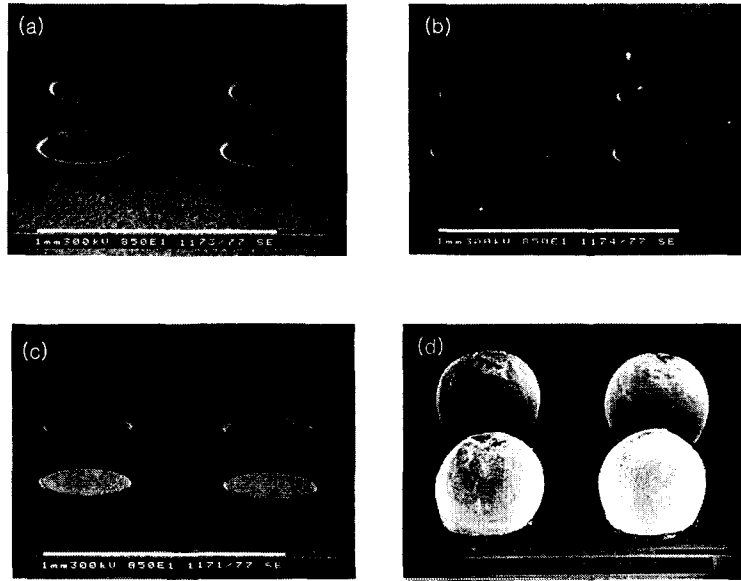


Fig. 1. SEM images of electroless UBM and Pb-Sn-Ag solder bumps
 (a) Cu pad and BCB pattern (b) E-Cu plating (c) E-Ni plating (d) Solder ball attach

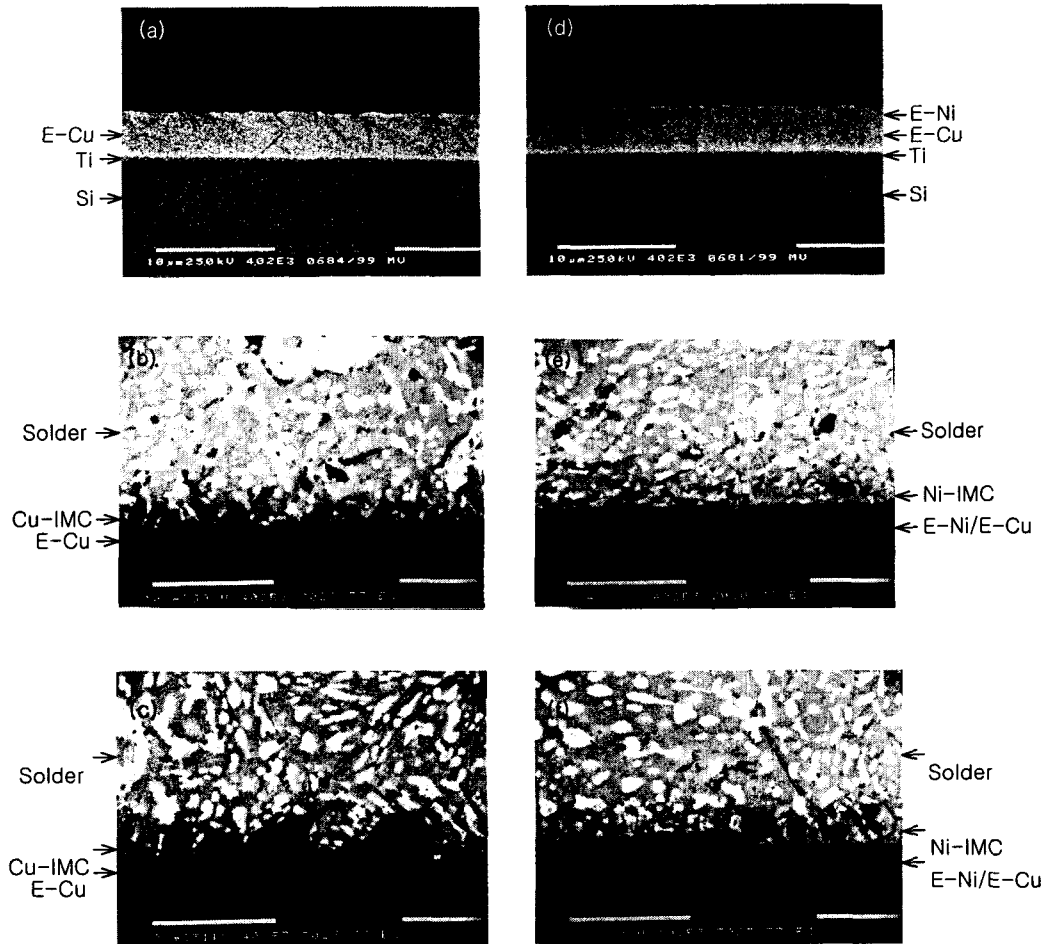


Fig. 2. Cross-section backscattered electron SEM images of electroless UBM/Pb-Sn-Ag solder interface.
 (a) E-Cu UBM, (b) solder/E-Cu after 1 reflow, (c) solder/E-Cu after 4 reflow,
 (d) E-Ni/E-Cu UBM, (e) solder/E-Ni/E-Cu after 1 reflow, (f) solder/E-Ni/E-Cu after 4 reflow

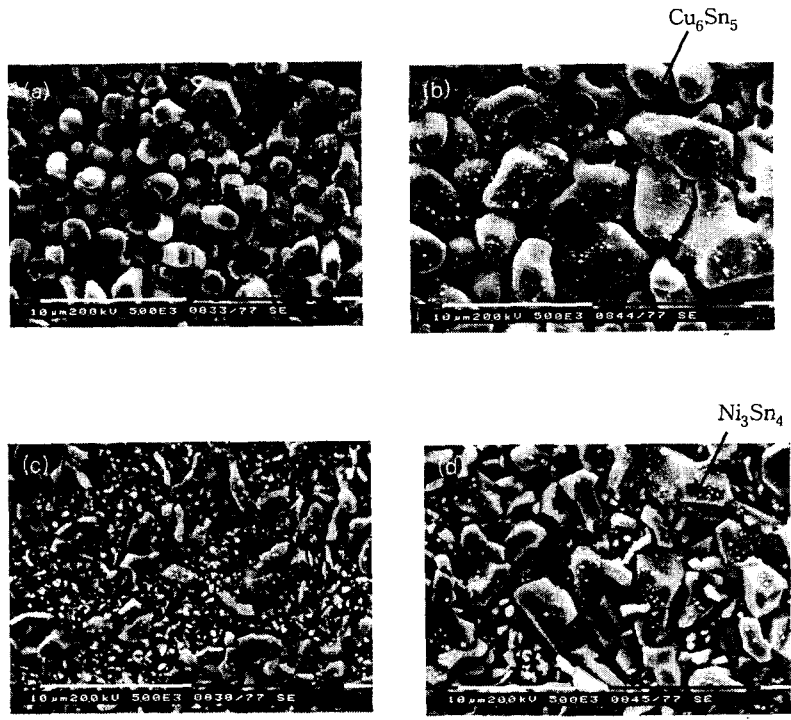


Fig. 3. Top view of the Intermetallic Compounds
 (a) E-Cu UBM after reflow 1, (b) E-Cu UBM after reflow 4,
 (c) E-Ni/E-Cu UBM after reflow 1, (d) E-Ni/E-Cu UBM after reflow 4

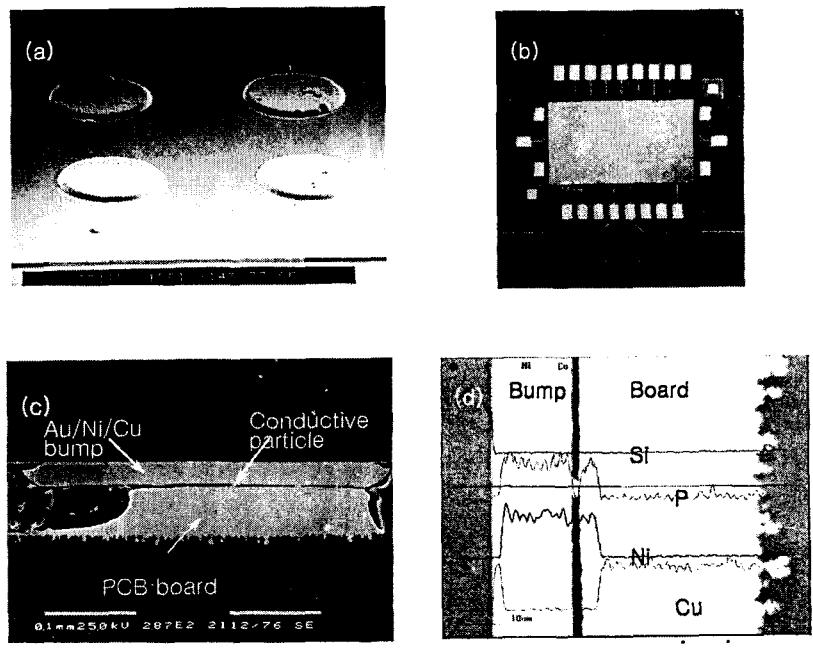


Fig. 4. ACA flip-chip interconnection on PCB using electroless Au/Ni/Cu bumps
 (a) Electroless Au/Ni/Cu bumps on Cu pads, (b) Flip chip on PCB using ACA's
 (c) SEM image of ACA interconnection, (d) EDS Line scan analysis