

Ni-xCu 합금 UBM과 Sn-Ag계 솔더 간의 계면 반응 연구 (Interfacial Reactions of Sn-Ag-Cu solder on Ni-xCu alloy UBMs)

한훈, 유진, 이택영*

한국과학기술원 재료공학과 전자패키지연구센터 (CEPM)

*한밭대학교 재료공학과

Abstract

Since Pb-free solder alloys have been used extensively in microelectronic packaging industry, the interaction between UBM (Under Bump Metallurgy) and solder is a critical issue because IMC (Intermetallic Compound) at the interface is critical for the adhesion of mechanical and the electrical contact for flip chip bonding. IMC growth must be fast during the reflow process to form stable IMC. Too fast IMC growth, however, is undesirable because it causes the dewetting of UBM and the unstable mechanical stability of thick IMC. Up to now, Ni and Cu are the most popular UBMs because electroplating is lower cost process than thin film deposition in vacuum for Al/Ni(V)/Cu or phased Cr-Cu. The consumption rate and the growth rate of IMC on Ni are lower than those of Cu. In contrast, the wetting of solder bumps on Cu is better than Ni. In addition, the residual stress of Cu is lower than that of Ni. Therefore, the alloy of Cu and Ni could be used as optimum UBM with both advantages of Ni and Cu.

In this paper, the interfacial reactions of Sn-3.5Ag-0.7Cu solder on Ni-xCu alloy UBMs were investigated. The UBMs of Ni-Cu alloy were made on Si wafer. Thin Cr film and Cu film were used as adhesion layer and electroplating seed layer, respectively. And then, the solderable layer, Ni-Cu alloy, was deposited on the seed layer by electroplating. The UBM consumption rate and intermetallic growth on Ni-Cu alloy were studied as a function of time and Cu contents. And the IMCs between solder and UBM were analyzed with SEM, EDS, and TEM.

1. Introduction

반도체 집적 기술의 발달과 함께 고성능·고집적화 요구를 만족하는 전자패키징 기술 개발에 많은 연구자들의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 다양한 전자 패키징 기술 중 플립칩 패키징 기술은 상대적으로 높은 I/O 밀도를 가지고 우수한 전기적 성질 등의 장점을 갖춘 고집적 패키징 기술로서 가장 각광받고 있다. 플립칩 기술을 이루는 여러 가지 요소 기술 가운데 하부금속층 (UBM; Under Bump Metallurgy)의 형성 기술 및 구조는 패키지 신뢰성에 큰 영향을 미치는 부분이다[1]. 솔더를 칩의 패드 위에 접속시키기 위한 금속하부층에는 패드와의 접합을 위한 adhesion layer, 솔더와의 확산을 막아주는 diffusion barrier, 그리고 솔더에 대한 젖음성을 갖도록 하는 wetting layer로 구성되어 있다. 기존의 Pb-Sn에 사용되고 있는 Cu계 UBM은 다량의 Sn을 함유하는 무연솔더를 사용시 Cu가 Sn과 빠른 속도로 반응하여 취성이 강한 금속간 화합물을 형성하기 때문에 신뢰성을 급격히 감소시켜 사용에 제한이 있다[2-4]. 따라서 무연솔더용 UBM으로 적합하려면 솔더와의 젖음성이 우수하면서 솔더와의 반응성이 심각하지 않아야 한다. 이런 조건을 만족시키는 금속으로 Ni이 있으며, 현재 무전해 Ni-P/Au와 같은 Ni계 UBM에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[5]. 본 연구에서는 전해도금법을 이용하여 여러 가지 조성의 Ni-Cu 합금층을 wetting layer로 형성한 후 Sn-Ag-Cu 무연솔더를 리플로우하고, 계면 반응의 변화를 관찰

하였다.

2. Experimental

실리콘 웨이퍼 위에 스퍼터 증착법을 이용하여 Cr 접착층 500Å과, 응력흡수 및 전해도금 씨앗층으로 Cu를 약 1 μ m 두께로 진공증착하였다. 그위에 솔더 젖음층으로 Ni-Cu 합금층을 전기도금하였다. 도금욕은 Ni sulfate, Cu sulfate, Na citrate 도금액을 제작하여 사용하였으며, 도금 온도는 50 $^{\circ}$ C를 유지하였다. Ni-Cu 합금 조성은 전류밀도를 조절함으로써 다양한 조성의 합금층을 형성시켰으며, 두께는 8~10 μ m로 하였다. 필요에 따라서 photo-lithography 법을 이용하여 패턴을 제작한 후 도금을 통한 합금 UBM층을 제작하였다. Ni-Cu 합금 조성 변화에 따른 솔더와의 계면 반응 변화를 관찰하기 위하여 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더를 리플로우 시켰다. 리플로우 온도는 240 $^{\circ}$ C로 설정하였으며, 플럭스는 알파메탈사의 수용성 BGA용 플럭스 WS-613을 사용하였다. 또한 리플로우 중에 일어날 수 있는 솔더의 산화를 최대한 방지하기 위하여 질소 가스를 흘려보내 질소 분위기를 유지하였다. 리플로우 시간을 2분부터 20분까지 변화시키면서 계면 변화를 분석하였다.

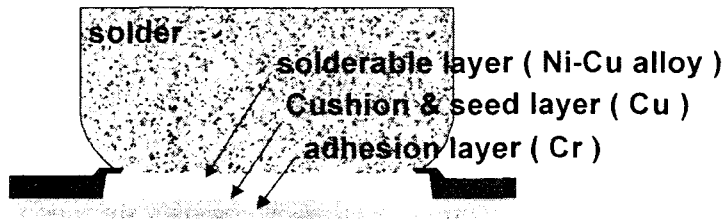


그림 1 UBM 구조

각 조성의 Ni-Cu 합금층과 솔더와의 젖음특성을 알아보기 위하여 리플로우 시간 변화에 따른 접촉각 변화를 측정하였다. 또한 접합부 계면을 관찰하기 위하여 시편의 단면을 grinding, polishing 및 etching을 하였으며, SEM, EDS 및 TEM 장비를 사용하여 단면 분석 및 IMC 구조 및 조성을 분석하였다.

3. Results and Discussion

1) 접촉각 측정

합금층과 솔더간의 젖음성을 비교하기 위하여 접촉각을 측정하였다. 접촉각 측정을 하기 위하여 각각의 조성을 가지는 합금 UBM을 제작하고 그 위에 솔더를 리플로우 시켰다.

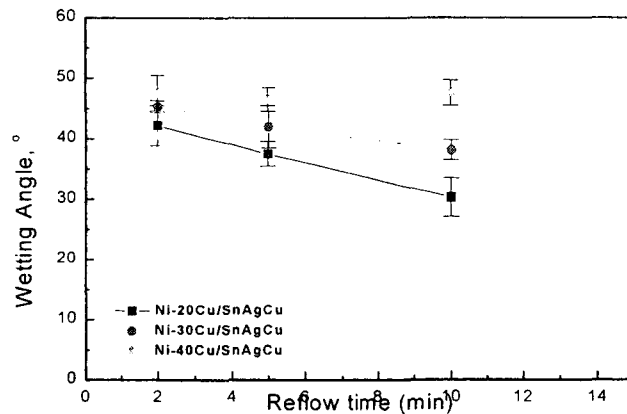


그림 2 Cu 조성 변화 및 리플로우 시간에 따른 접촉각 측정

리플로우 온도는 240°C로 하였으며, 시간을 변화시키면서 리플로우 한 후 냉각시킨 시편을 접촉각을 측정하였다. 접촉각 측정은 Kruss사의 DSA-10 모델을 사용하였다. 리플로우 시간이 증가함에 따라 계면에서의 반응이 점차 진행되어 접촉각은 전체적으로 감소하는 경향을 보였으나, 조성에 따른 영향은 Sn과의 반응성이 높은 Cu 함량의 증가에 따라 감소하리라는 예상과 달리 Cu 조성이 20wt%에서 40wt%로 증가함에 따라 접촉각은 증가하였다.

2) 계면 반응

그림 3은 Cu 조성을 변화시킨 시편 위에 솔더를 240°C에서 10분간 리플로우 한 후 단면분석을 실시한 사진이다. 각각의 조성에서 계면 반응은 전혀 다른 구조를 보인다. 20wt% Cu 조성의 경우 리플로우 시간이 5분 이상에서부터 금속간화합물이 두 층으로 분리되기 시작하였다. 솔더에 가까운 층은 $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ 이며, UBM에 가까운 층은 $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$ 이었다. 이것은 그림 4에 보인 TEM 분석 결과에서 확인할 수 있다. 각각의 금속간화합물은 Cu_6Sn_5 또는 Ni_3Sn_4 의 조성비를 유지하면서 삼원계 화합물로 성장하였다. 두 층으로 분리되기 시작한 IMC는 리플로우 시간이 20분이 경과한 시편에서는 완전히 분리된 두 층을 이루고 있었다.

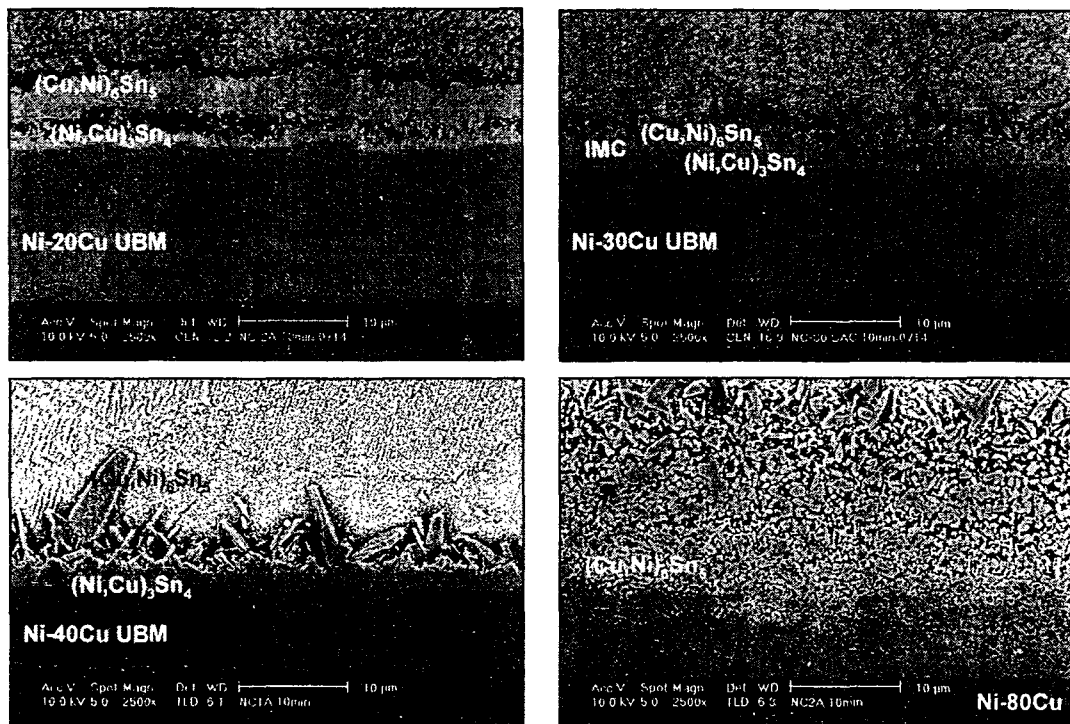


그림 3 Cu 조성 변화에 따른 IMC 성장 거동 변화 (240°C, 10min reflow)

상대적으로 Ni에 비해 낮은 Cu 함량을 가지는 UBM 구조에서 Cu_6Sn_5 구조의 IMC가 솔더쪽에 성장하는 것은 Ni_3Sn_4 구조의 IMC보다 열역학적으로 안정적이기 때문에 형성되는 것이라 여겨지며, 풍부한 Ni의 영향에 의해 Ni_3Sn_4 구조의 IMC가 UBM에 가까운 쪽에 함께 성장하는 것으로 보인다. 특히 20wt% Cu의 경우 솔더와 접한 부분에서 먼저 Cu_6Sn_5 구조의 IMC가 성장한 후 더 이상의 Cu_6Sn_5 구조의 IMC가 성장하지 못하고 Ni_3Sn_4 구조의 IMC가 성장하면서 두 IMC간의 접착 특성 및 응력의 영향으로 분리되는 것으로 보인다. 또한 분리되어 솔더쪽으로 이동되는 IMC는 분리되어 나올때와 거의 같은 두께를 유지한다.

Cu 조성이 30wt%, 40wt%일 때 IMC는 두 층으로 분리되지는 않았으나 두가지 종류의 IMC는 모두 분석되었다. Cu 조성이 40wt%인 시편에서 $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ 의 성장이 30wt%인 경우보다 더 두드러지게 성장하였으며, 반대로 $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$ 의 두께는 감소하였다. 20wt%Cu 구조에서보다 더 높

은 Cu 함량이 계속적으로 Cu_6Sn_5 구조의 IMC 성장을 돕고 있기 때문에, 더 이상 성장하지 못하고 분리되어지는 경우와 달리 Ni_3Sn_4 구조의 IMC 위에서 계속 성장하는 것으로 여겨진다.

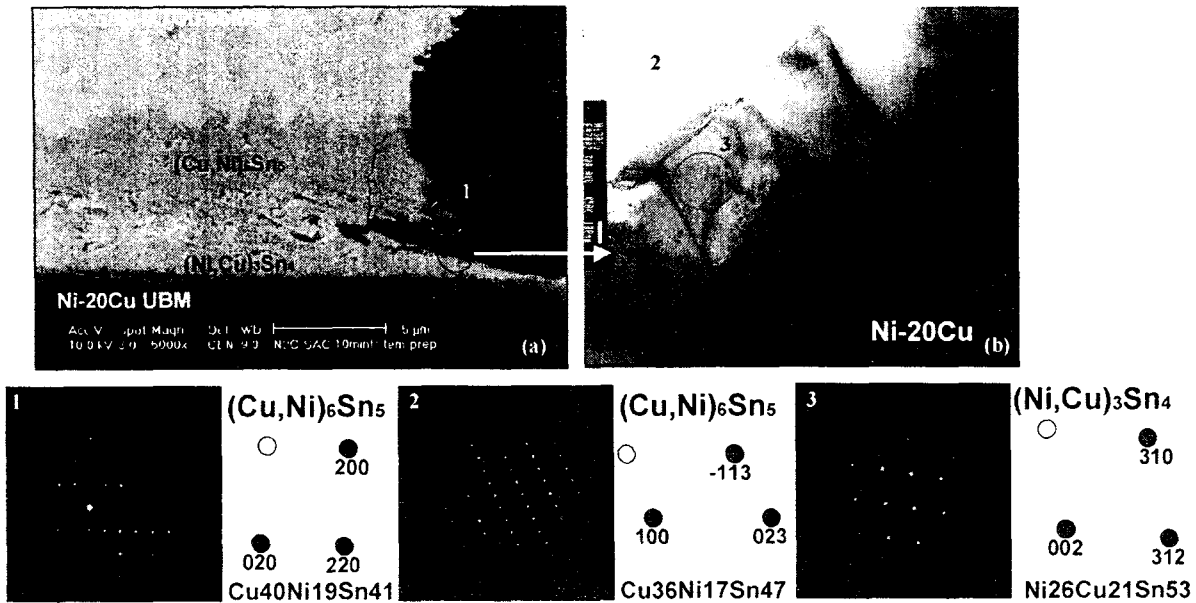


그림 4 (a) Ni-20wt% Cu UBM과 솔더 계면 SEM 사진, (b) (a)의 TEM 사진

80wt% Cu 조성의 경우 금속간화합물은 리플로우 시간이 증가함에 따라 급격히 성장하였으며, 20분간 리플로우 한 경우 $10\mu\text{m}$ 두께의 Ni-Cu 합금층은 모두 소모되어 $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ 로 반응하여 변화하였다.

4. Conclusion

Ni-Cu 합금 UBM과 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더와의 계면 반응을 분석하였다. Ni-Cu 합금과 솔더와의 접촉각은 리플로우 시간이 증가할수록 감소하였고, Cu 함량이 증가할수록 증가하였다. 리플로우 시간의 변화에 따른 계면 분석 결과 두 종류의 IMC가 성장함을 알 수 있었다. 성장한 두 종류의 IMC는 삼원계 금속간화합물로서 솔더에 가까운 쪽에 $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ 이며, UBM에 가까운 층은 $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$ 이었다. 20wt% Cu UBM에서는 두 IMC가 성장하다가 분리되었으며, 30, 40wt% Cu 구조에서는 분리되지 않고 두 종류의 IMC가 서로 접하여 성장하고 있었다.

References

- [1] John H. Lau, Low Cost Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, 2000
- [2] D.R.Frear, F.M.Hosking, P.T.Vianco, Proc. Materials Develop. in Microelectronic Packaging Conf. (Materials Park, OH: ASM, 1991), p229
- [3] H.K.Kim, H.K.Liou, and K.N.Tu, Appl. Phys. Lett. 66, p2337(1995)
- [4] T.M.Korhonen, P.Su, S.J.Hong, M.A.Korhonen, and C.-Y.Li, J.Electronic Materials, V25, 11, 1999
- [5] J.W.Jang, D.R.Frear, T.Y.Lee and K.N.Tu, J. Appl. Phys. 88, 11. p6359(2000)