Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 14, No. 3, p. 43-49. 2007

Under Bump Metallurgy의 종류와 리플로우 시간에 따른 Sn 솔더 계면반응

박선희 · 오태성* · G. Englemann[1]
홍익대학교 신소재공학과
[1]High Density Interconnect and Wafer Level Packaging, Fraunhofer IZM

Interfacial Reactions of Sn Solder with Variations of Under-Bump-Metallurgy and Reflow Time

Sun-Hee Park, Tae-Sung Oh* and G. Englemann[1]
Department of Materials Science and Engineering, Hongik University
[1]High Density Interconnect and Wafer Level Packaging, Fraunhofer IZM

초 록: 웨이퍼 레벨 솔더범핑시 under bump metallurgy (UBM)의 종류와 리플로우 시간에 따른 Sn 솔더범프의 평균 금속간화합물 층의 두께와 UBM의 소모속도를 분석하였다. Cu UBM의 경우에는 리플로우 이전에 0.6 μm 두께의 금속간화합물 층이 형성되어 있었으며, 250°C에서 450초 동안 리플로우함에 따라 금속간화합물 층의 두께가 4 μm으로 급격히 증가하였다. 이에 반해 Ni UBM에서는 리플로우 이전에 0.2 μm 두께의 금속간화합물 층이 형성되었으며, 450초 리플로우에 의해 금속간화합물의 두께가 1.7 μm으로 증가하였다. Cu UBM의 소모속도는 15초 리플로우시에는 100 nm/sec, 450초 리플로우시에는 4.5 nm/sec이었으나, Ni UBM에서는 소모속도가 15초 리플로우시에는 28.7 nm/sec, 450초 리플로우시에는 1.82 nm/sec로 감소하였다.

Abstract: Thickness of intermetallic compounds and consumption rates of under bump metallurgies (UBMs) were investigated in wafer-level solder bumping with variations of UBM materials and reflow times. In the case of Cu UBM, 0.6 μm-thick intermetallic compound layer was formed before reflow of Sn solder, and the average thickness of the intermetallic compound layer increased to 4 μm by reflowing at 250°C for 450 sec. On the contrary, the intermetallic layer had a thickness of 0.2 μm on Ni UBM before reflow and it grew to 1.7 μm thickness with reflowing for 450 sec. While the consumption rates of Cu UBM were 100 nm/sec for 15-sec reflow and 4.5nm/sec for 450-sec reflow, those of Ni UBM decreased to 28.7 nm/sec for 15-sec reflow and 1.82 nm/sec for 450-sec reflow.

Keywords: flip chip, Cu UBM, Ni UBM, reflow, intermetallic compound

1. 서 론

최근 노트북 컴퓨터, 휴대전화 등과 같은 각종 휴대형 정보통신기기와 전자제품들이 경량화, 슬림화 되고, 고기능화 됨에 따라 소자의 집적도가 매우 빠른 속도로 증가하고 있으며, 기존의 칩 접속방법인 와이어 본딩이나 TAB(Tape Automated Bonding) 기술로는 이와 같은 요구를 충족시키는 데에 한계가 있다. 이에 따라 반도체 칩을 볼 형태의 솔더나 금속범프를 사용하여 기판에 직접 접속

*Corresponding author
E-mail: ohts@hongik.ac.kr

함으로써 칩과 기판 사이의 접속 길이를 획기적으로 감소시킨 플립칩 기술의 필요성이 점차 증대하고 있다.[1-3]

플립칩 패키지는 칩과 기판간의 접속부 길이가 최소화되어 전기적인 성능이 우수하며, 가장자리만을 접속경로로 활용하는 peripheral array가 아니라 area array 형태이기 때문에 입출력 단자의 집적도를 높일 수 있다. 또한, 패키징 면적을 25% 이상 감소시키는 효과를 얻을 수 있어 패키징 밀도를 증가시킬 수 있으며, 열 방출의 경로를 분산시켜 내부의 열을 보다 빠르게 외부로 방출시킬 수 있다.[4]

플립칩 본딩시 여러 단계의 리플로우 솔더링 공정을 거치게 되는데, 이와 같은 공정 중에 액상의 솔더와 UBM(Under Bump Metallurgy)이 반응하여 금속간 화합물이 생성된다. 솔더의 신뢰성에 가장 큰 영향을 미치는 것이 금속간 화합물의 형태와 두께이며, 금속간 화합물은 기본적으로 솔더의 조성에 따라 각기 다른 종류의 화합물을 형성한다. 솔더링 초기에 형성되는 금속간 화합물은 젖음 특성과 솔더링 특성에 많은 영향을 미치며, 솔더링 시 생성된 금속간 화합물의 과도한 성장은 솔더 접합부의 수명을 단축시킬 수 있다.[5,6]

본 연구에서는 플립칩 공정에 적용하기 위해 Sn 솔더범프를 리플로우시 UBM의 종류와 리플로우 시간에 따른 솔더/UBM 계면에서의 금속간화합물 성장거동을 분석하였다.

2. 실험방법

Sn 솔더의 리플로우시 UBM의 종류와 리플로우 시간에 따른 계면 반응을 관찰하기 위해, 100nm의 SiO_2가 증착된 550 μm 두께의 Si 웨이퍼 위에 접착층으로 100nm 두께의 TiW를 스퍼터링으로 형성한 후, 그 위에 도금 씨앗층으로 300nm 두께의 Cu를 스퍼터링으로 형성하였다. Clariant사의 AZ4562 photoresist (PR)를 이용하여 30 μm 두께의 PR 층을 형성한 후, 리소그파리 공정을 통해 Fig. 1과 같은 배열의 100 μm와 10 μm 크기의 정사각형 범프 패턴을 형성하였다.

PR 공정을 통해 형성된 정사각형 범프 패턴에 6 μm 높이의 Cu UBM을 전기도금으로 형성한 후, 그 위에 23 μm 높이의 Sn을 전기도금하였다. 금속간화합물의 성장거동에 있어서 UBM 종류에 기인한 차이를 보기 위해 PR 공정으로 형성된 범프 패턴에 Ni UBM을 3.4 μm 높이로 전기도금하였고, 그 위에 23 μm 높이의 Sn을 전기도금으로 형성하였다. 도금장비로는 Cu rack plater, Ni rack plater, RENA rack/fountain plater를 각각 사용하였다. Cu UBM은 상온에서 8.5L/min의 속도로 교반하면서 2.0A/dm^{2}의 전류밀도를 인가하여 형성하였고, Ni UBM은 50°C의 온도에서 3.5L/min의 속도로 교반하면서 1.5A/dm^{2}의 전류밀도를 인가하며 전기도금하였다. Sn은 상온에서 4L/min의 속도로 교반하면서 0.7A/dm^{2}로 전기도금하여 형성하였다.

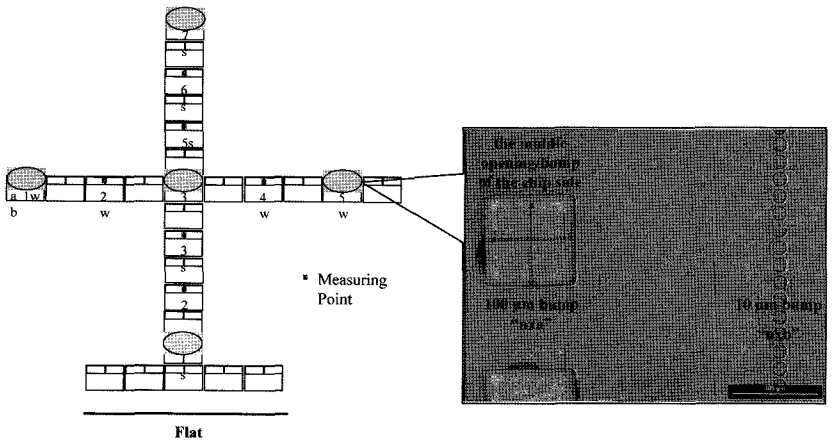

Fig. 1. Schematic illustration for the bump array positions on a wafer.

Sn/UBM 반응을 용이하게 관찰하기 위해, Sn 전기도금 솔더를 리플로우 하기 전에 Sn 솔더가 전기도금된 부위를 제외한 다른 부위의 도금 씨앗층인 Cu 층과 접착층인 TiW 층을 에칭하여 제거하였다. Cu와 TiW의 에칭 용액이 잘 wetting 되도록 하기 위해 우선 O_2 plasma 에칭 공정을 실시하였으며, 이후 상온에서 10% $CuCl_2$ solution을 사용하여 Cu 층을 에칭하였으며, 35°C에서 alkalic H_2O_2 용액을 사용하여 TiW 층을 에칭하여 제거하였다.

리플로우 공정은 250°C에서 진행되었는데, 450초까지의 유지 시간에 대해 실시하였다. UBM과 Sn 솔더 사이의 계면반응에 대한 관찰을 용이하게 하기 위해 Fig. 1에 있는 시편 배열의 10 μm 크기 솔더범프와 100 μm 크기 솔더범프 중에서 100 μm 크기의 솔더를 Vecco Instruments사의 Dektak 3030 장비를 사용하여 리플로우 전과 후에 솔더의 높이를 측정하였다.

각 시간별로 리플로우된 시편을 에폭시 레진을 사용하여 마운팅하고 연마하였다. 금속간화합물의 형성 거동을 살펴보기 위해 주사현미경(Scanning Electron Microscopy: SEM)의 back-scattered electron image(BEI) 모드를 사용하여 솔더/UBM 계면에서 금속간화합물을 관찰하고 image analyzer를 이용하여 금속간화합물 층의 평균 두께를 측정하였다. 본 연구에서는 또한 UBM과 리플로우 시간이 동일한 경우에도 시편 위치에 따른 금속간화합물의 두께 편차를 분석하기 위해 Fig. 1에 있는 시편 배열에서 중심에 위치한 범프와 가장자리에 위치한 범프에 대해 금속간 화합물의 두께를 측정하였다. 금속간 화합물 층의 평균 두께는 Fig. 2에 나타낸 방법을 사용하여 분석하였다. 리플로우 공정 후 단면을 연마하고 주사전자현미경으로 Fig. 2와 같은 단면 미세구조 사진을 찍은 후, 이 미세구조 사진에서 image analyzer를 이용하여 금속간화합물 층의 면적을 구하였다. 이를 금속간화합물 층의 가로 길이로 나누어 줌으로써 금속간화

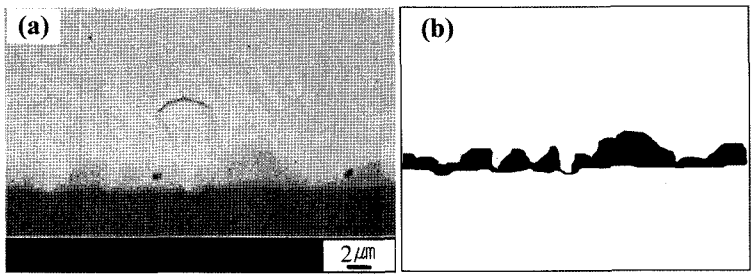

Fig. 2. (a) Cross-sectional SEM micrograph of the Sn/UBM interface and (b) its image to process measurement of the intermetallic compound thickness.

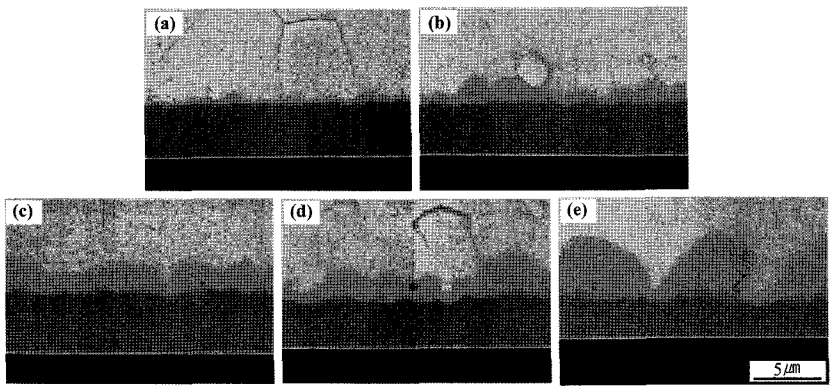

Fig. 3. Cross-sectional SEM micrographs of the Sn solder bumps reflowed on the Cu UBM in the edge position of the wafer: (a) as-electrodeposited, and reflowed for (b) 15 sec, (c)30 sec, (d) 90 sec, and (e) 450 sec.

합물 층의 평균 두께를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

Cu UBM과 Sn 솔더의 반응을 관찰하기 위해 Sn 솔더를 Cu UBM 상에서 250°C의 온도로 0, 15, 30, 90 및 450초의 시간별로 리플로우한 미세구조를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 이때 Fig. 1에 나타낸 시편 위치에 따른 금속간 화합물의 성장거동의 차이를 관찰하기 위해 Fig. 3에는 가장자리 부분의 범프를 관찰한 미세구조를 나타내었으며, Fig. 4에는 중심에 위치한 범프의 미세구조를 나타내었다. 또한 웨이퍼의 가장자리와 중심부위에서 Ni UBM과 Sn 솔더와의 계면 반응을 관찰한 미세구조를 각기 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 3에서 Fig. 6까지의 결과에서 알 수 있는 것과 같이 Cu 및 Ni UBM에서 모두 리플로우 시간이 증가할수록 금속간화합물의 두께가 두꺼워지는 것을 관찰할 수 있다. 또한 리플로우 시간이 증가할수록 금속간화합물의 두께 증가가 둔화되는 것을 관찰할 수 있다. 동일한 리플로우 시간에서는 Ni UBM 보다는 Cu UBM에서 더 두꺼운 금속간화합물 층이 형성되었으며 이는 Sn과 Ni과의 반응보다 Sn과 Cu와의 반응이 훨씬 용이하게 진행되는데 기인한다.

Fig. 7에 Sn 솔더에서 Cu UBM 까지의 line 스캔을 이용한 EDS 조성분석 결과를 나타내었다. Fig. 7(b)는 15초 동안 리플로우한 시편의 계면에 대한 line 스캔 결과이며, (c)는 450초 리플로우한 시편

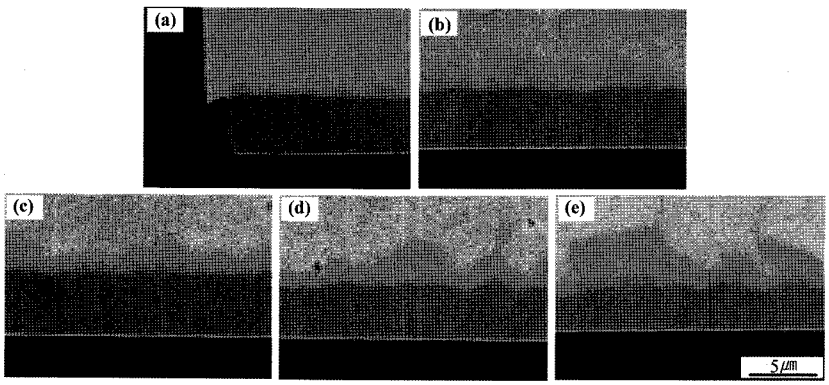

Fig. 4. Cross-sectional SEM micrographs of the Sn solder bumps reflowed on the Cu UBM in the center position of the wafer: (a) as-electrodeposited, and reflowed for (b) 15 sec, (c)30 sec, (d) 90 sec, and (e) 450 sec.

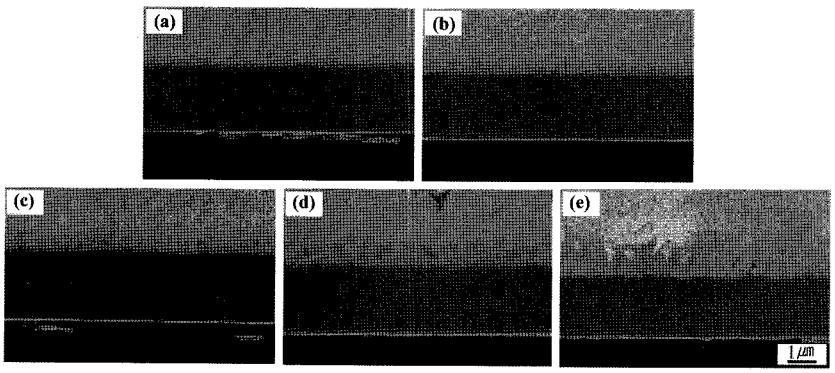

Fig. 5. Cross-sectional SEM micrographs of the Sn solder bumps reflowed on the Ni UBM in the edge position of the wafer: (a) as-electrodeposited, and reflowed for (b) 15 sec, (c) 30 sec, (d) 90 sec, and (e) 450 sec.

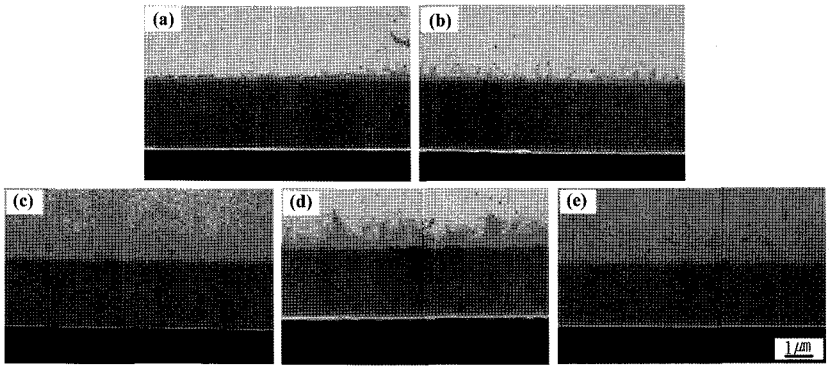

Fig. 6. Cross-sectional SEM micrographs of the Sn solder bumps reflowed on the Ni UBM in the center position of the wafer: (a) as-electrodeposited, and reflowed for (b) 15 sec, (c) 30 sec, (d) 90 sec, and (e) 450 sec.

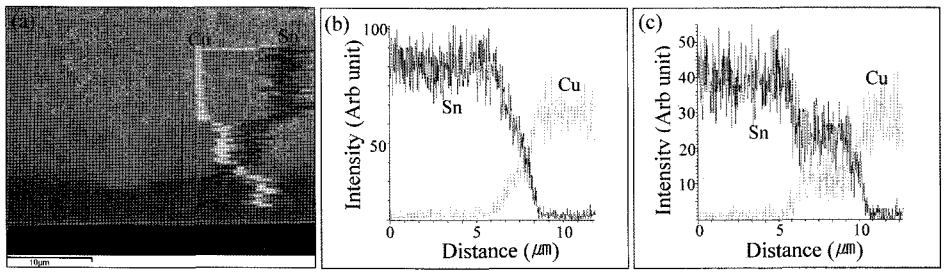

Fig. 7. (a) SEM micrograph showing the EDS line scan image, and the line scan results on the specimens reflowed on Cu UBM for (b) 15 sec and (c) 450 sec.

에 대한 결과이다. 15초 동안 리플로우한 시편의 Sn 및 Cu의 EDS 검출강도들이 모두 450초 동안 리플로우한 시편에서의 검출 강도보다 훨씬 높게 나타났다. 그러나 EDS 검출 강도는 임의적인 값임으로 15초와 450초 리플로우한 시편에 대해 Sn의 EDS 검출강도들을 비교하거나 Cu의 검출강도들을 비교하는 것은 의미가 없으며, 각 리플로우 시편에서 거리에 따른 EDS 검출 강도의 변화거동을 살펴보아야 한다. 15초 동안 리플로우한 시편에서는 계면 부위에서 Sn과 Cu의 농도가 직선적으로 감소하여, 계면에서 Cu-Sn 금속간화합물의 형성 초기단계라는 것을 판단할 수 있다. 반면에 450초 동안 리플로우 한 시편에서는 Sn 솔더와 Cu UBM 사이의 계면에 Sn과 Cu의 조성이 거리에 따라 변하지 않고 일정한 부위가 존재하는데, 이 부분을 금속간화합물이 완전히 형성된 부위로 볼 수 있다.

Fig. 3에서 Fig. 6까지에 있는 주사전자현미경으로 관찰한 미세구조 사진을 이용하여 분석한 Sn/Cu UBM 및 Sn/NI UBM 반응에 의한 금속간화합물 층의 평균 두께를 Fig. 8에 나타내었다. 웨이퍼 레벨 도금에서 중심에 위치한 범프의 최종 높이가 가장자리에 위치한 범프보다 1~2 μm 정도로 약간 높게 형성되는 경향을 보였으나, 위치별로 UBM의 높이 차이가 거의 없었기 때문에 Fig. 8(a)와 (b)의 비교에서와 같이 금속간화합물의 두께 또한 위치에 상관없이 유사하게 나타났다. Fig. 8에서와 같이 Cu UBM과 Ni UBM에서 모두 리플로우 시간이 증가함에 따라 Sn 솔더와의 반응에 의한 금속간화합물 층의 두께가 증가함을 확인할 수 있었다. Cu UBM에서는 리플로우 공정 이전에는 금속간화합물 층이 0.6 μm 두께로 형성되어 있었으며, 450초 동안 리플로우된 시편에서는 4 μm으로 성장하였다. 반면에 Ni UBM은 리플로우 공정 이전인 초기에는 금속간화합물 층의 두께가 0.2 μm 이었으나, 450초 동안의 리플로우에 의해 1.7 μm 두

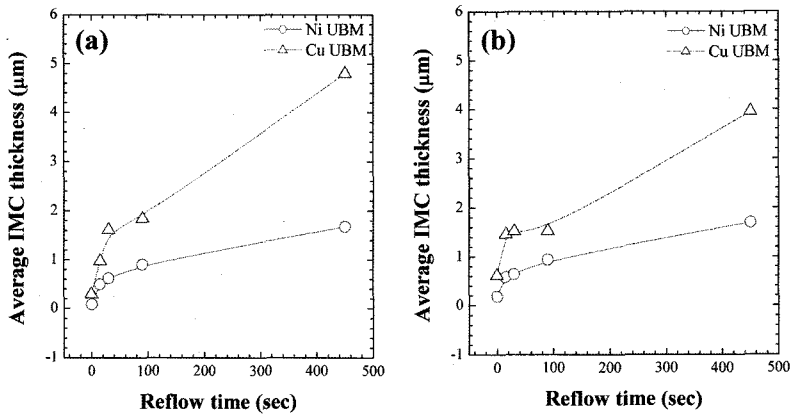

Fig. 8. Average thickness of intermetallic compound layers with variations of the reflow time: The position of the sample was taken (a) at the edge part and (b) in the center part of wafers.

께로 성장하였다. Sn 솔더 내에서 Cu의 용해 및 확산속도가 Ni 보다 더 빠르기 때문에, 동일한 유지시간으로 리플로우시 Ni-Sn 금속간화합물에 비해 Cu-Sn 금속간화합물이 훨씬 더 두껍게 형성된다.

솔더와 UBM 사이의 반응에 의해 형성된 금속간화합물의 형상은 Fig. 3과 Fig. 4에서처럼 복잡한 형상을 나타내기 때문에, 그 두께를 정확히 측정하는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 금속간화합물의 성장속도가 UBM의 소모속도에 비례한다는 가정[7]하에 웨이퍼 가장자리와 중앙 부위에서 리플로우 시간에 따른 Cu UBM과 Ni UBM의 소모속도를 분석하여 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 8에서 Sn 솔더와 Cu UBM 및 Ni UBM과의 반응에 의해 형성되는 금속간화합물의 두께가 웨이퍼에서 시편의 위치에 거의 의존하지 않는 것과 마찬가지로, UBM의 소모속도 또한 Fig. 9(a)와 (b)의 비교에서와 같이 웨이퍼 내 솔더범프의 위치에 상관없이 유사하게 나타났다. Fig. 9에서 Sn 솔더와의 반응에 의한 Cu UBM의 소모속도는 15초 리플로우시 100 nm/sec였으나, 450초 리플로우시에는 4.5 nm/sec로 감소하였다. 63Sn-37Pb 솔더를 240°C에서 1분동안 리플로우 했을 경우 Cu의 소모속도는 3.84 nm/sec로 보고[8]되고 있어, 63Sn-37Pb 솔더에 비해 Sn 솔더에서의 Cu 소모속도가

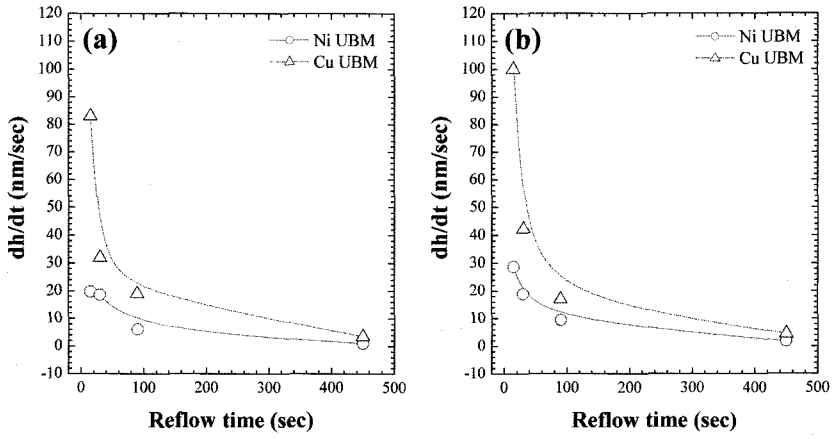

Fig. 9. Average consumption rates of Cu and Ni UBMs with variations of the reflow time: The position of the sample was taken (a) at the edge part and (b) in the center part of wafers.

매우 높음을 알 수 있다. 이는 63Sn-37Pb 솔더의 리플로우시 Pb는 Cu와 반응하지 않는데 기인한다. Fig. 8에서 Ni UBM의 소모속도는 15초 리플로우 시에는 28.7 nm/sec 이었으나, 450초 리플로우 했을 경우에는 1.82 nm/sec로 소모속도가 감소하였다.

4. 결 론

(1) SEM 사진과 EDS 조성 분석을 통해, 250°C에서 450초까지 Sn 솔더의 리플로우 시간을 증가시켜 가면서 리플로우를 실시했을 경우, 리플로우 시간에 비례하여 금속간화합물 층의 두께가 증가함을 확인하였으며, 동일한 리플로우 시간에서 Cu UBM의 경우 Ni UBM에 비해 금속간화합물이 더 두껍게 형성되었다.

(2) Sn 솔더를 250°C에서 450초까지 리플로우를 한 경우, Cu UBM과의 반응에 의해서는 4 μm 두께의 금속간화합물 층이 형성되는데 반해, Ni UBM과의 반응에 의해서는 1.7 μm 두께의 금속간화합물 층이 형성되었다. 이로부터 솔더 반응성의 관점에서 Ni UBM이 Cu UBM에 비해 더 안정적이라 판단된다.

(3) Sn 솔더의 리플로우 시간에 따른 Cu UBM과 Ni UBM의 소모 속도를 분석하였다. 초기 15초 동안 리플로우를 실시한 경우에는 Cu UBM의 소모속도가 Ni UBM에 비해 약 3.5배 빠르고, 450초 동안 리플로우를 한 경우에는 Cu UBM의 소모속도가 Ni UBM에 비해 약 2.5배 빠른 것으로 분석되었다.

(4) Sn 솔더와의 반응에 의한 Cu UBM의 소모속도는 450초 리플로우시에 4.5 nm/sec이었다. 이와 같은 Sn 솔더와의 반응에 의한 Cu UBM의 소모속도는 63Sn-37Pb 솔더에서 보고된 Cu UBM의 소모 속도보다 매우 높은 것으로 나타났으며, 이는 63Sn-37Pb 솔더의 리플로우시 Pb는 Cu와 반응하지 않고 Sn만 반응하는데 기인한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 전자패키지재료연구센터(우수연구센터) 지원 (세부과제번호: R11-2000-085-08003-0) 및 CEPM-Fraunhofer IZM 해외 현지연구실과제의 지원(세부과제번호: R11-2000-085-00001-0)으로 수행되었음.

참고문헌

1. K. N. Tu and K. Zeng, "Tin-lead (SnPb) solder reaction in flip chip technology", Mater. Sci. Eng., 34, 1 (2001)
2. C. A. Harper, "Electronic Packaging and Interconnection Handbook", McGraw-Hill, New York, p.124 (2000)
3. D. R. Frear, S. N. Burchett, H. S. Morgan, and J. H. Lau, "The Mechanics of Solder Alloy Interconnects", Van Nostrand Reinhold, New York, p.74 (1994)
4. P. S. Ho, G. Wang, M. Ding, J. H. Zhao, and X. Dai, "Reliability issues for flip-chip packages", Microelectron. Reliab., 44, 719 (2004)
5. C. B. Lee, S. B. Jung, Y. E. Shin, and C. C. Shur, "Effect of isothermal aging on ball shear strength in BGA joints with Sn-3.5Ag-0.75Cu solder", Mater. Trans., 43, 1858 (2002)
6. J. H. L. Pang, D. Y. R. Chong, and T. H. Low, "Thermal cycling analysis of flip-chip solder joint reliability", IEEE Trans. on Comp. Packag. Technol., 24, 705 (2001)
7. J. W. Jang, P. G. Kim, K. M. Tu, D. R. Frear, and P. Thomson, "Solder reaction-assisted crystallization of electroless Ni (P) under-bump metallization in low cost flip chip technology", J. Appl. Phys., 85, 8456 (1999)
8. H. K. Kim and K. N. Tu, "Kinetic analysis of the soldering reaction between eutectic SnPb alloy and Cu accompanied by ripening", Phys. Rev., 53, 16027 (1996)