

용융 솔더를 이용한 초고속, 저단가 TSV 충전

고영기 · 한민규 · 유세훈 · 이창우

High Speed and Low Cost TSV Filling Technology by Using Molten Solder

Young-Ki Ko, Min-Kuy Han, Sehoon Yoo and Chang-Woo Lee

1. 서 론

전자기기의 소형화, 다기능화, 고성능화 추세로 인해 3D 적층 전자패키징 기술은 전자산업의 가장 중요한 기술 중 하나로 부각되고 있다. 특히 3D 적층 전자접합을 위하여 사용되던 와이어 본딩과 비교해서 Through Silicon Via(TSV)는 실리콘 웨이퍼를 관통하는 미세 비아(via) 홀 내에 도전성 재료를 충전하여 직접적으로 연결하는 방법으로서 높은 집적도와 짧은 통전거리에 의한 대역폭, 전력 효율 향상 등의 전기적 특성 향상 및 직접 적층에 의한 우수한 공간 절약성 등의 장점을 가지고 있다^{1,2)}. 이러한 장점은 지금까지 개발되어 온 3D 적층기술 중에서 TSV가 차세대 전자산업의 다양한 요구를 충족할 수 있는 기술로 부각되는 이유이다.

그러나 TSV의 높은 종횡비와 초미세 직경 등 구조적인 문제로 도전성 물질의 충전에는 높은 제조 공정비용이 소요되고 이는 상업화에 대한 가장 큰 저해 요소이다. TSV의 제조공정은 비아(via)형성, 절연층 및 확산방지층 형성, 비아 충전(via filling), 칩 접합(bonding)으로 나눌 수 있는데 각 세부공정 중 비아 충전 공정은 전체 TSV 제조 공정 중 약 40%이상의 가장 높은 비용을 차지하고 있다^{3,4)}. 일반적으로 TSV의 충전방법에는 Cu 전해도금방법과 Chemical Vapor Deposition (CVD)방법이 적용되고 있으며^{5,6)} 이러한 방법에서 충전 비용에 영향을 주는 인자는 첫째, 기공과 균열 등 결함으로 인한 수율 저하, 둘째, 비아 주위의 불필요한 부분에 도전성 재료가 형성되어 이것을 제거하기 위한 CMP 공정 추가, 셋째, 충전에 필요한 공정 시간, 넷째, 도전성 재료 및 첨가되는 소모재 관리 등이 있다³⁾. 특히 충전 시간은 충전 비용과 가장 밀접한 관계를 가지고 있어⁴⁾ 짧은 충전 시간은 곧 충전 비용을 크게 낮출 수 있게 된다. 따라서 간단한 방법으로 빠른 시간 내에 결함이 없는 비아 충전은 제조비용 절감에 매우 필요하다. 기존의 충전 방법에 비교하여 용융솔더 충전

방법은 매우 짧은 충전 시간동안 결함이 없는 비아 충진을 달성할 수 있는 방법이다. 기존의 용융 솔더 충전 연구에서는 비아가 형성된 웨이퍼를 용융 솔더 내에 침전시키고 N₂ 가스를 이용하여 챔버의 압력을 상승시켜 용융 솔더를 비아 내에 충전하였다⁷⁾. 본 침전방법은 솔더의 용융온도이상에서 일정시간을 유지하여야 하기 때문에 공정 중, chip이 열적 영향을 받을 수 있을 뿐 아니라 충전 공정 후의 다단의 후처리 공정이 요구될 수 있다.

본 연구에서는 열적 영향이 작고, 저단가, 초고속 TSV 충진을 위하여 진공압을 사용, 관통 비아 내에 용융 솔더를 직접 충전하는 새로운 방법을 제안하고 이에 대한 진공압력의 차이, 온도, 시간 등 신 공정에 영향을 주는 공정인자 대하여 평가를 하였다.

2. 용융 솔더 TSV 충전 방법

2.1 실험 절차

그림 1은 본 연구에서 사용된 비아 충전 공정의 개념도이다. 650 μ m 두께의 (110)방향 실리콘 웨이퍼에 Deep Reaction Ion Etching (DRIE)를 이용하여 깊이 220 μ m에 직경이 20 μ m와 30 μ m의 2종류 비아를 각각 형성하였다. 이후 관통비아를 만들기 위하여 웨이퍼를 200 μ m 두께로 thinning 공정을 실시하였고, 이 공정을 통하여 초기 블라인드 비아를 관통비아로 만들었다. 이후 비아 내부의 단면에 전기적 절연을 위하여 절연층(SiO₂)을 형성하였고 비아내의 충전 금속과 웨이퍼 사이의 접합력을 증진시키고 충전 금속의 실리콘에 대한 확산을 방지하기 위하여 Ti를 증착하였다. 또한 기존의 전해도금 방법에서는 전해도금을 위해 전기 통전의 시드층을 형성하였지만 본 연구에서는 Ti층 위에 용융솔더의 젖음성을 향상시키기 위하여 Au층을 형성하였다. Au는 표면 산화를 방지하여 비아 내에서 용융솔더의

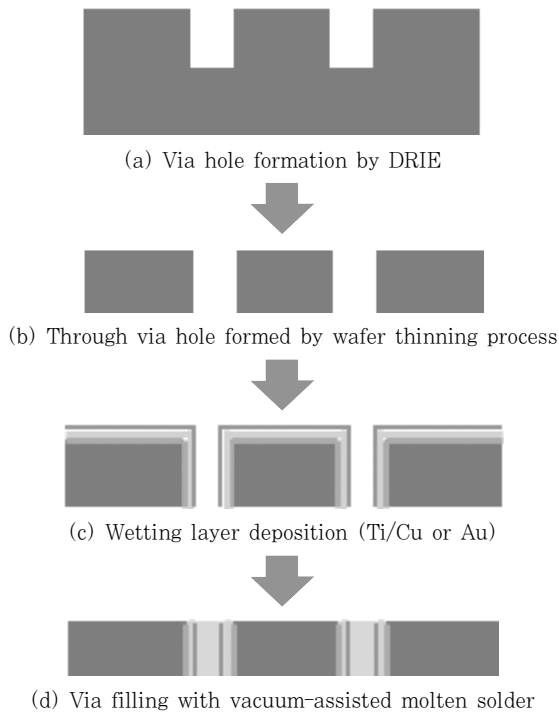


Fig. 1 Schematic illustration of via filling process with molten solder used in this study

젖음성을 높여 충진을 용이하게 한다. Ti 및 Au층은 각각 200nm와 100nm 두께로 스퍼터링을 이용하여 형성되었다. 관통비아가 형성된 웨이퍼를 챔버내에 장입하고 웨이퍼를 중심으로 상부와 하부에 기압차를 형성하여 용융솔더를 충전하였다. 이후 주사전자현미경 (FE-SEM)을 이용하여 단면 및 계면을 관찰하였으며 X-ray를 사용하여 비아내의 결함(void)을 평가하였다.

2.2 진공압에 의한 비아 홀 충전 방법

그림 2는 웨이퍼 충진을 위한 실험 방법의 모식도이다. 납조내의 용융솔더는 납조의 하부에 장착된 임펠러에 의하여 위쪽으로 유동하고, 유동되는 용융솔더 윗면에 관통 비아 홀이 형성된 웨이퍼를 장착하였으며, 용

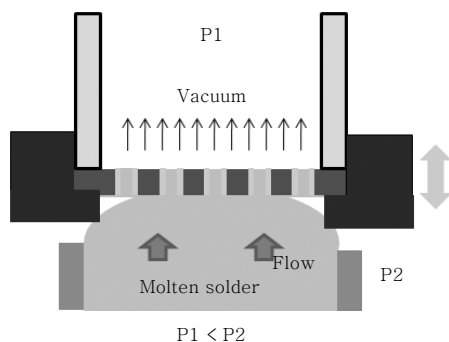


Fig. 2 Schematic illustration of via-filling used in this study

융솔더와 접촉되는 반대면에 진공을 형성하여 웨이퍼 양단의 압력차를 이용, 용융솔더를 비아 홀 내로 충전 하였다.

충진되는 솔더는 Sn-3.0Ag-0.5Cu(SAC305)이며 용융 솔더의 온도는 300°C와 350°C의 두가지 조건에서 각각 실시하였다. 진공 압력은 각각 0.06MPa, 0.02MPa로 실시하였고 충전 시간은 0.5초, 10초로 각각 실시하였다. 각각의 조건에 따른 결과를 비교 평가하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 30 μ m 직경 비아 홀의 충전 결과

그림 3은 30 μ m 직경 비아홀에 대하여 각각의 진공압에 따른 단면 SEM 이미지이다. 그림 3(a)는 진공이 형성되지 않았을 때의 단면 SEM 이미지로서 용융 솔

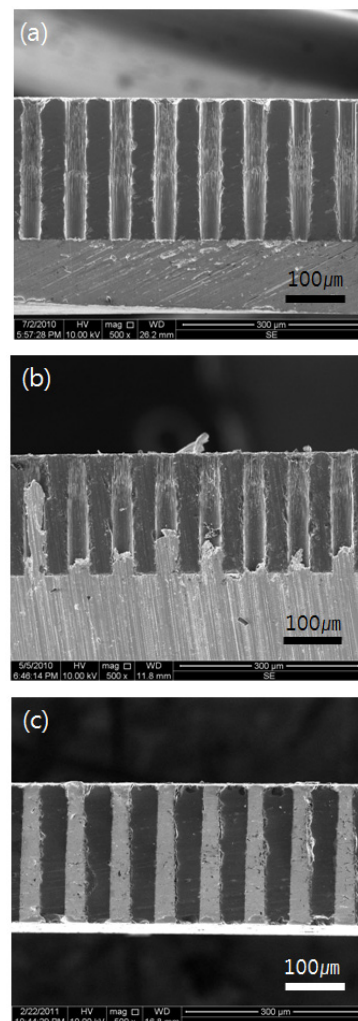


Fig. 3 Cross sectional SEM images of filled via which has 30 μ m diameter under various vacuum condition. (a) No vacuum, (b) 0.06MPa, and (c) 0.02MPa

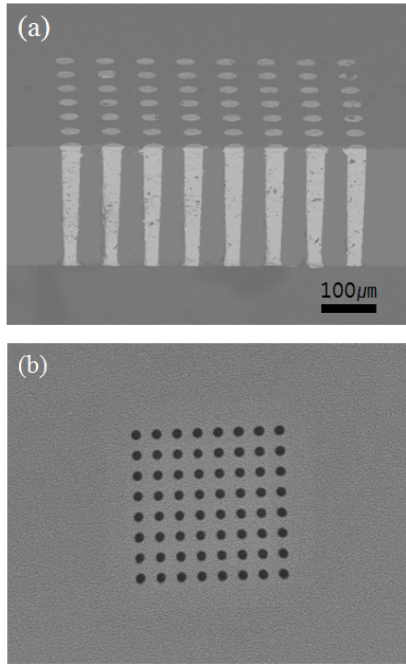


Fig. 4 Cross sectional BSE image of filled via (a) and x-ray image of solder-filled via (b)

더는 용융 솔더 표면의 표면장력에 의해서 접촉면의 일부에만 용융솔더가 존재하고 비아내로 충전 되지 않았다. 그림 3(b)의 0.06MPa 진공압을 사용하였을 경우에는 200 μm 높이의 비아에 대해 평균 40 μm만이 충전되어 전체 비아영역 대비 약 20%가 충전 되었다. 그림 3(c)의 0.02MPa의 진공압이 작용 하였을 때 비아는 기공없이 상부까지 충전되었다. 상하부 기압의 차이에 따라 비아내 용융솔더 충전율의 확연한 차이가 나타나서 충전율에 대해 진공압이 절대적 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

그림 4의 (a)와 (b)는 각각 용융솔더가 충전된 샘플의 단면과 윗면을 동시에 보여주는 BSE 이미지와 윗면에서의 x-ray 이미지를 나타내고 있다. BSE 이미지에서 모든 비아 홀은 완벽하게 솔더가 충전된 것을 나타내고 있다. 또한 충전 비아의 x-ray 관찰을 통하여 비아내에 공공(void)등의 결함이 발견되지 않아 용융솔더가 충분히 비아내에 충전되어 있음을 알 수 있다. 본 진공에 의한 용융 솔더 충전 방법은 0.5초의 매우 짧은 시간 내에 비아 충진을 구현하였다. 기존의 비아 충전 방법과 비교하여 높은 수율과 공정시간의 단축을 통해 TSV 제조 공정단계가 저감을 실현할 수 있어 시장의 요구를 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 20 μm 직경 비아 홀의 충전 결과

그림 5는 20 μm 직경의 비아홀에 대한 각각의 진공압

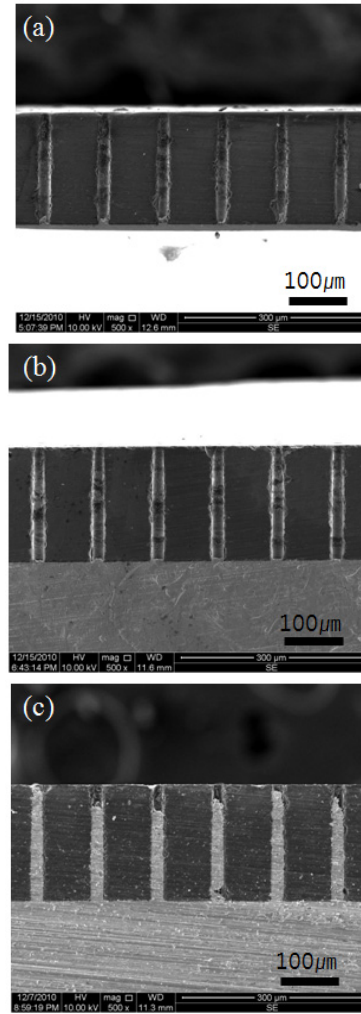


Fig. 5 Cross sectional SEM images of filled via which has 20 μm diameter under various vacuum condition. (a) No vacuum, (b) 0.06MPa, and (c) 0.02MPa

차이에 의한 솔더 충전 결과를 나타내고 있다. 그림 5(a)는 진공이 작용하지 않은 경우, 20 μm 직경 비아에서도 30 μm 직경 비아 홀의 충전 결과와 같이 솔더는 비아내에 충전 되지 않았다. 0.06MPa의 진공압에서 20 μm 직경 비아 홀은 충전이 전혀 되지 않은 모습을 그림 5(b)에 나타나 있다. 이는 30 μm 직경의 비아 홀에서는 동일 압력차의 실험에서 약 20%의 충전이 되었으나 20 μm 크기의 직경에서는 압력차가 전혀 영향을 미치지 못하였다. 그림 5(c)의 진공압 0.02MPa에서는 약 150 ~ 200 μm의 높이까지 솔더가 충전 되어, 이는 비아 직경이 작아짐에 따라 비아 내에 작용하는 힘의 크기가 작아져 더욱 큰 압력차가 작용되어야 용융 솔더 충진이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6은 비아의 직경이 20 μm인 경우에 충전 시간 및 용융솔더 온도의 변화가 충전에 미치는 영향을 관찰

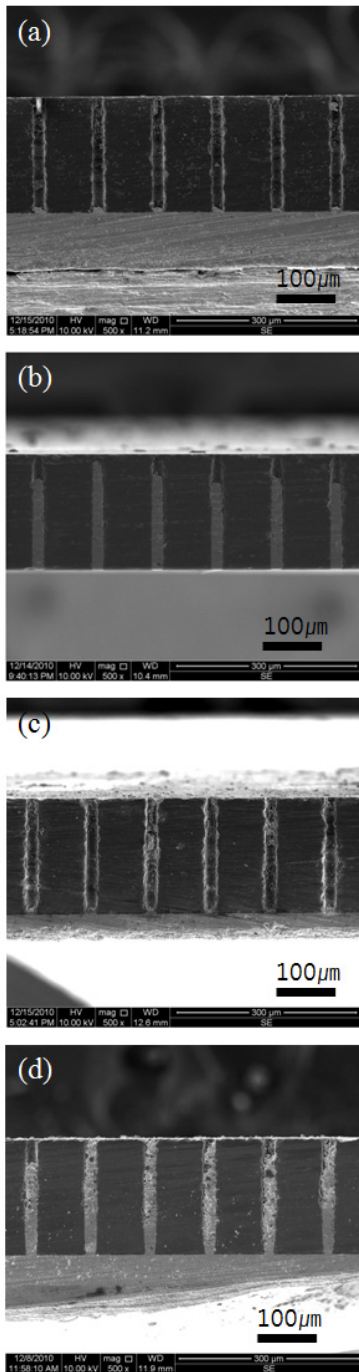


Fig. 6 Cross sectional SEM images of filled via, which have 20 μ m via diameter, under various condition. (a) 300 $^{\circ}$ C, 10s, 0.06MPa, (b) 300 $^{\circ}$ C, 10s, 0.02MPa, (c) 350 $^{\circ}$ C, 0.5s, 0.06MPa, and (d) 350 $^{\circ}$ C, 0.5s, 0.02MPa

한 결과이다. 그림 6(a)와 (b)는 진공압력이 각각 0.06MPa, 0.02MPa에서 공정시간을 10초간 증가하여 충전된 결과이다. 충전 공정시간이 0.5초인 경우의 결과(그림 5(b)와 (c))와 비교하여 진공 작용 시간을 증가 시켜도 충전율은 큰 변화가 나타나지 않았다. 따

라서 진공 작용 시간은 솔더 충전에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그림 6(c)와 (d)는 용융 솔더의 온도에 따른 충전율에 대한 영향을 나타내는 이미지이다. 온도변화에 따른 실험은 솔더의 표면장력 변화가 충전율에 미치는 영향을 고찰하기 위해서이다. 일반적으로 온도가 상승하면 솔더 표면의 표면장력이 낮아지게 되어⁸⁾ 고온에서의 공정이 보다 충전율에 긍정적 영향을 미치리라 사료되기 때문이다.

그림 6의 (c)는 진공압 0.06MPa의 압력에서 350 $^{\circ}$ C의 용융 솔더를 이용하여 충전한 결과이다. 그림 5(b)의 300 $^{\circ}$ C 충전결과와 비교하여 온도가 증가하여도 비아내에 솔더 충전의 변화는 미비하였다. 그림 6(d)에서 나타내는 바와 같이 0.02MPa의 압력차에서도 350 $^{\circ}$ C의 용융 솔더를 이용하여 충전한 결과 약 80%의 충전율을 나타내었다. 상기의 결과, 동일 압력차에서 용융 솔더의 온도 상승으로 인한 솔더 표면장력 변화가 충전에 미치는 효과는 미비한 것으로 판단된다.

솔더 충전 시 비아 내면에 작용하는 힘은 진공압에 의해 솔더를 비아내로 끌어올리는 힘과 비아 내면의 젖음성에 의한 젖음력, 용융솔더가 내부적으로 응집하려고 하는 표면장력 및 중력에 의한 하부방향의 힘이 형성되게 된다. 즉, 진공압의 힘이 솔더의 응집 표면장력과 중력보다 크게 되면 충전 되는 것이다. 진공압에 의한 힘에 대해 표면장력은 비교할 수 없이 작은 힘이고 이에 온도상승에 따른 충전율의 영향은 거의 없다고 사료된다. 본 방법에 의해 솔더 충전시 충전에 영향을 미치는 주요 요인은 진공압력 즉, 웨이퍼 양단의 압력차이인 것으로 판단된다.

3.3 Thinning 공정에 의한 Thin wafer 제작

그림 7은 솔더 충전 후 웨이퍼 표면에 남아있는 솔더

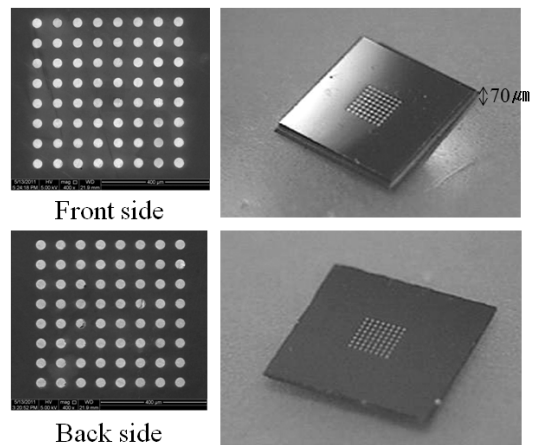


Fig. 7 Sample image after thinning process

를 제거하고 동시에 thin wafer 제작을 위해 200 μ m 두께의 샘플을 70 μ m 두께로 thinning 공정을 실시 한 결과이다. 웨이퍼의 상부면과 하부면을 관찰 한 결과 비아 이외의 부분의 솔더는 완벽하게 제거되었고 비아 내에 솔더가 결함없이 충전되어 있는 것을 관찰하였다. 향후 적층을 위해 솔더 충전된 비아 위에 범프를 형성 하고 플립칩 본딩 방법을 이용한 본딩공정을 실시하여 TSV를 활용한 다단 적층 고밀도 칩의 제작이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

향후 TSV를 응용하기 위해 높은 종횡비의 비아 및 다양한 크기의 TSV를 충전하기 위한 저단가, 고생산성의 비아 충전법의 연구가 요구되고 있는 상황에서 진공압에 의한 빠른 충전속도를 갖는 용융 솔더 충전 방법을 개발 하였다. 비아 충전은 직경이 20 ~ 30 μ m, 두께가 200 μ m 의 비아에 0.02MPa의 진공압에서 성공적으로 충전되었다. 이 때, 충전에 필요한 공정시간은 0.5초로 진공에 의한 용융 솔더 충전법은 기존의 전해도금법이나 화학기상증착법과 비교하여 극히 짧은 시간내에 충전이 되었다. 짧은 충전시간은 TSV의 가격 경쟁력을 확보하여 상용화에 크게 기여하게 될 것으로 기대된다. 또한, 비아 충전에 영향을 미치는 주요 요인은 진공압이며 용융솔더의 온도와 공정시간의 영향은 극히 미비하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 국가연구개발사업인 "협동연구사업"에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. T. Jiang, S. Luo, Proc. of 10th Electronics Packaging Technology Conferences, 2008, 373
2. B. Curran, I. Ndip, S. Guttofski, H. Reichl, Proc. of 10th Electronics Packaging Technology Conferences, 2008, 206
3. Y. Zhang, T. Richardson, S. Chung, C. Wang, B. Kim, C. Rietmann, Proc. of International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, 2007, 219-222
4. Yole Development., 3D IC&TSV Report, Electronics Industry Market Research and Knowledge Network, November 2007
5. C. H. Seah, S. Mridha, L. H. Chan, Journal of Mater. Proc. Tech., 114 (2001) 233-239
6. C. Marcadal, E. Richard, J. Torres, J. Palleau, and R. Madar, Journal of Microelectro. Eng., **37/38** (1997) 97-103
7. Y. Lee, J. Yu, K. Park and T. Oh, Journal of Electron. Mater. **38** (2009) 685-690
8. I. Kaban, S. Gruner, W. Hoyer, Journal of Non-Crystalline Solids **353** (2007) 3717 - 3721



- 고영기
- 1981년생
- 한국생산기술연구원 연구원
- TSV형성 및 비아충진 연구
- e-mail : yk21c@kitech.re.kr



- 유세훈
- 1972년생
- 한국생산기술연구원 수석연구원
- 3차원 적층 전자접합, 무연솔더
- e-mail : yoos@kitech.re.kr



- 한민규
- 1983년생
- 한국생산기술연구원 연구원
- 범프 형성 및 접합연구
- e-mail : mk-han@kitech.re.kr



- 이창우
- 1967년생
- 한국생산기술연구원 수석연구원
- 고집적flexible전자패키징, SMT공정
- e-mail : cwlee@kitech.re.kr