

## 플립 칩 본딩을 위한 솔더 범핑

정재필·이희열·전지헌

### Solder Bumping for Flip Chip Bonding

Jae Pil Jung, Hee Yul Lee and Ji Hun Cheon

#### 1. 서 론

최근 전자제품들의 경박단소화, 고성능화가 추구됨에 따라, 패키징 분야에서도 I/O 단자 수의 증가에 따른 고집적화가 진행되고 있다. 여기서 전자 패키지(electronics package)란 전자 회로 소자를 싸고 있는 보호 구조물과 전기적 상호 연결에 관련된 기술을 말한다<sup>1)</sup>.

현재 LSI, IC 반도체 칩 전극과 외부 회로 전극과의 상호 전기적 연결에 많이 사용되고 있는 방법은 와이어 본딩(wire-bonding)과 범프(bump)를 이용한 접합이라고 할 수 있다. 와이어 본딩 방식은 I/O 단자 수의 제한, 전기적 신호 전달속도의 감소, 고주파 영역에서의 손실을 증가 등의 단점으로 인하여, 고집적 패키지의 적용에는 어려운 점이 많다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 범프를 이용하여 I/O 단자를 접속하는 플립 칩(flip chip) 본딩 기술이 적용되고 있다. 특히, 최근 칩 간의 적층을 이용한 MCM(Multi Chip Module)이나 하나의 반도체 패키지 내에 시스템을 구축하는 SiP(System in Package), 하나의 칩에 모든 시스템을 구성하는 SoC(System on Chip)와 같은 형태의 고집적화가 진행되면서 플립 칩 본딩 기술에 대하여 관심이 증가되고 있다<sup>2)</sup> 플립 칩 기술이란 칩을 뒤집어서 칩의 패드 부분이 기판과 마주보게 한 후 칩과 기판을 전기적, 기계적으로 연결하는 방법이라는 것은 주지의 사실이다.

플립 칩 본딩에는 Au 범프, 솔더 범프가 주로 사용되고 있다. 이 외에도 ACF(Anisotropic Conductive Film), ACP(Anisotropic Conductive Paste), NCF(Non Conductive Film), NCP(Non Conductive Paste) 등의 접합 매체를 사용하여 범프와 전극 사이를 접합하기도 한다. 솔더는 1960년대 IBM에서 플립 칩 본딩에 사용된 이래로 많은 데이터가 축적되고 신뢰성이 높으며, Delco Delphi에서는 솔더 범프를 형성한 칩을 자동차 산업에 대량으로 공급해 왔다. 솔더 범프

를 이용한 플립 칩 공정은 4단계로 구성될 수 있는데, 솔더 범핑을 위한 웨이퍼 준비 공정, 솔더 범프의 형성 공정, 범핑된 다이의 기판에의 접합 공정, 언더 필 공정이다.

본 고에서는 플립 칩 본딩을 위해 여러가지 범프를 형성하는 방법 즉, 스크린 프린팅법, 볼 범핑 방법, 전해 도금 방법과 이들에 관한 최근의 연구 결과들을 소개하고자 한다. 솔더 범핑법에는 이외에도 메탈 마스크 증착방식, 침지방식, 기타 특수한 방식들이 개발되고 있기도 하다

#### 2. 실험 방법

솔더 페이스트로 범프를 제조하기 위해 Si 기판 위에 Al/Ni/Cu/Au UBM층을 형성하였다. 솔더 페이스트는 Sn-1.8Bi-0.8Cu-0.6In, Sn-3.5Ag, Sn-37Pb, Sn-37Pb-2Ag 이며, 스텐실 개구부의 크기는 직경 400 $\mu$ m, 스텐실두께 150 $\mu$ m이다. 솔더 페이스트는 상용의 리플로 솔더링 장비를 사용하여 대기 중에서 리플로 하였으며, 솔더링 온도는 230-250 $^{\circ}$ C로 하였다.

범프 제조용으로 불을 사용한 경우, 직경 100 $\mu$ m인 Sn계 무연 솔더 불인 Sn-3.5%Ag, Sn-3.5%Ag-0.7%Cu와 비교기준 값으로 Sn-37%Pb 유연 솔더 불을 준비하였다. 솔더 불은 Si 기판의 UBM층 위에 고정하였으며, UBM 은 Al/Cu/Ni/Au층으로 구성하였다. 솔더 불은 플럭스를 사용하여 대기 중 리플로하기도 하고, 플럭스를 사용하지 않고 Ar-H<sub>2</sub> 플라즈마 중에서 리플로하기도 하였다.

전기 도금으로 범프를 제조하기 위하여, PR(photoresist)을 웨이퍼 상의 UBM 위에 코팅하였다. PR상에 범프를 전기도금하기 위해 몰드를 제조하였다. 몰드가 준비된 웨이퍼를 도금액 중에 담겨 음극에 연결하였으며, 도금액은 Sn-Cu, Sn-Ag, Sn-Pb계이다.

전기도금을 위하여 DC(Direct Current) 전류를

사용하였으며, 도금액은 교반자를 사용하여 교반하였다. 전기도금된 범프는 RMA플럭스를 도포한 후 230-250°C 온도에서 대기 중에서 리플로하였다.

제조된 반구형의 범프는 마이크로 전단 시험기로 전단 강도를 측정하였다. 전단 팁과 기판 사이의 거리는 5 $\mu$ m, 전단 속도는 200 $\mu$ m/sec로 하였다.

### 3. 결과 및 검토

#### 3.1 스크린 프린팅에 의한 범프 형성

스크린 프린팅법은 금속 마스크 상에 페이스트 솔더를 도포한 후, 스퀴지로 UBM 위에 인쇄하는 방법으로 전기도금법이나 증착법에 의한 범프 형성법의 단점을 보완하기 위해 개발되었다. 이 방법은 UBM상에 인쇄된 솔더를 리플로 하여 반구형의 솔더 범프를 형성한다 (Fig. 2<sup>3)</sup> 참조).

UBM은 증착법이나 무전해법으로 형성한다<sup>4)</sup>. 증착법에서는 흔히 접착층인 Al, 확산 억제층 (barrier layer)인 Ni, 젖음층 (wetting layer)인 Cu 등으로 구성된다. 무전해법에서는 ENIG (Electroless Nickel-Immersion Gold)가 사용되며, Ni은 확산 억제층과 젖음층의 역할을 하고, Au는 Ni층을 산화로부터 보호한다. 이 방법은 가장 저가의 방법이다. Ni은 접착제나 비솔더 (non-solder) 플립 칩 본딩을 위해 더 두껍게 도금할 수도 있다.

스크린 프린팅법은 증착법에 비해 저비용 고생산성이며, 여러가지 다른 조성의 솔더를 적용하기가 쉽다. 따라서, 범핑 비용을 줄이기 위해 스크린 프린팅법은 솔더 범프 형성의 주류가 되고 있다.

Fig. 3.a는 솔더 페이스트를 Si 웨이퍼의 UBM 위에 인쇄한 상태를 보인 것이다<sup>5)</sup>. 솔더 페이스트가 UBM 상에 비교적 균일하게 인쇄되어 있음을 볼 수 있다. 솔더 페이스트는 리플로 중에 솔더 분말 사이에 존재하던 기포가 솔더 밖으로 탈출하면서, 응고 후 표면에 수축공을 남긴다 (Fig. 3.b). 이러한 수축공은 범프의 높이를 불균일하게 하기 때문에, 플립칩 본딩시 접합 불량을 유발할 수 있다. 범프 상의 수축공은 다시 한 번 리플로를 실시하면 거의 사라진다 (Fig. 3.c). 범프 형성시 생성되는 플럭스 잔사는 세척공정을 통하여 제거하여야 한다

솔더 페이스트 공급 (solder paste dispensing) 공정에서의 제한으로 150 $\mu$ m 정도의 큰 피치에 적합하며, 미세 피치의 적용에는 어려움이 있다, 또한 균일한 범프 높이를 얻기가 쉽지 않다는 문제점도 있다.

최근에는 솔더 페이스트 및 인쇄 장비의 개선으로 범프 높이의 균일성은 많이 개선되었다. 범프 직경의 미세화 및 높이 불균형을 줄이기 위해서는 메탈마스크 개구부의 형상, 솔더 페이스트 재료 등이 중요하다. 십수  $\mu$ m 크기의 미세한 솔더 분말을 함유한 페이스트의 개발 등으로 범프 크기도 50 $\mu$ m급 및 그 이하도 적용 혹은 연구되고 있으며, 100 $\mu$ m미세 피치의 적용도 시도되고 있다 (Fig. 4)<sup>6)</sup>.

범프강도를 측정하는 방법은 전단시험이 많이 사용되고 있다. 통상의 전단시험은 대체로 약 0.2mm/초의 느린 속도로 전단할 수 있다. 그러나, 최근에는 전자제품에 가해지는 충격력을 고려하여 초당 10mm에서 3m의 고속으로까지 전단하기도 하는 고속전단 시험법도 도입되기 시작하고 있다. 또, 범프의 크기가 10-20 $\mu$ m의 크기로 매우 작아지면서 전단 팁과 기판과의 거리도

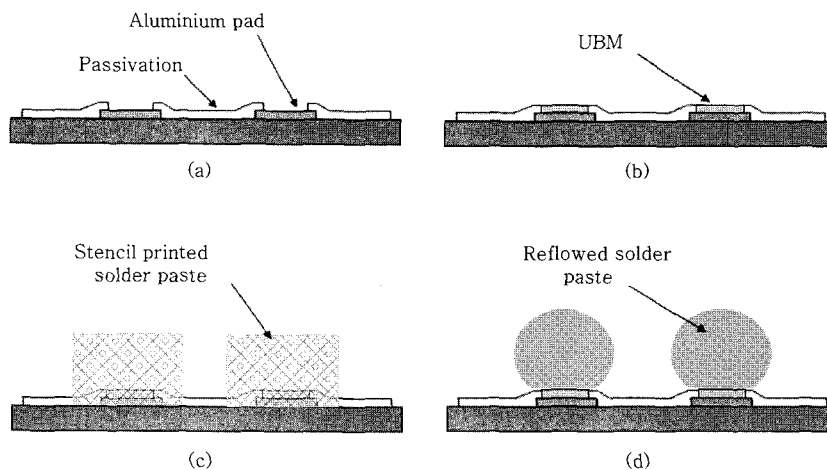


Fig. 2 Schematic of stencil bumping process.: (a) bare die I/O schematic, (b) deposition of UBM, (c) stencil printed solder paste, (d) reflowed solder bumps<sup>3)</sup>

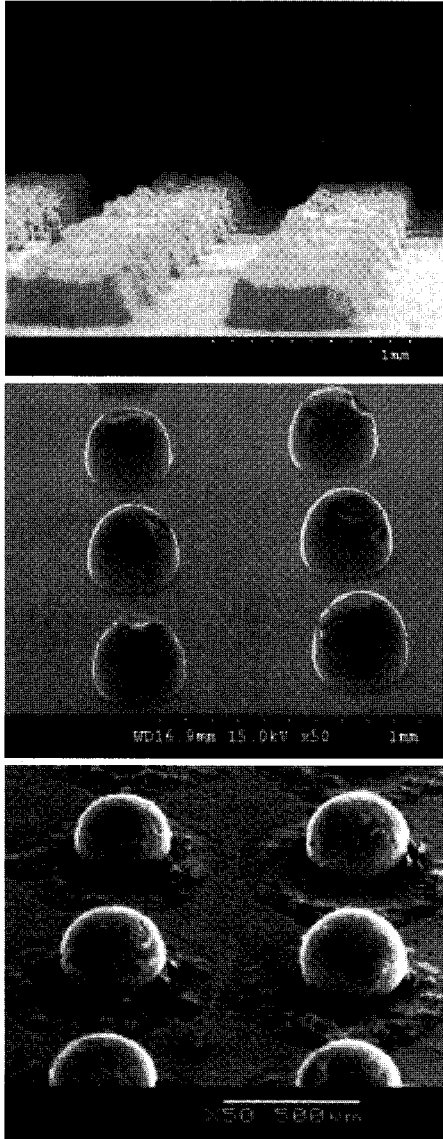


Fig. 3 Solder bumps formed by paste printing method, (a) printed solder paste on Si-wafer, (b) after 1st reflow on Si-wafer, 250°C, (c) 2<sup>nd</sup> Reflow on FR4 with solder paste, 250°C<sup>5)</sup>

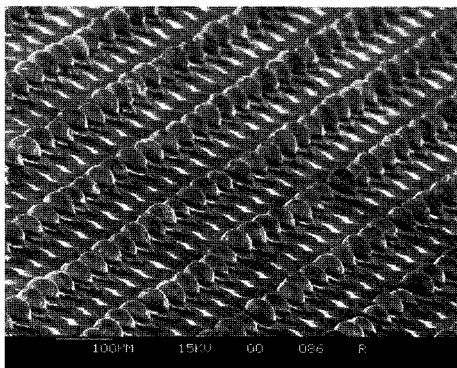


Fig. 4 Printed solder bumps with 100µm pitch<sup>6)</sup>

일반적인 전단 치구로는 어려워져서, 보다 미세한 치구가 필요하다. 고속전단 시험법에 관한 표준화 연구는 국내에서도 진행되고 있다<sup>7)</sup>.

Fig. 5는 Fig. 3에서 보인 여러 솔더 범프의 전단 접합 강도를 보인 것이다. 무연 솔더의 전단강도가 SnPb공정보다 높게 나타나고 있으며, 시효시간 증가에 따라 강도가 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 범프의 전단시험 후에 관심을 가져야 할 것이 전단파면 형상이다. 파단 상태로부터 강도가 충분한 지, 접합계면의 박리 및 접합상태의 양호 여부를 판단할 수 있다. 범프와 전극의 계면에서 파괴된 경우는 범프의 도금조건과 접합조건을 검토해야 할 필요가 있다. 또, Si 다이스 상의 UBM 계면에서 파괴되었다면, UBM의 제조조건에 대해 다시 검토가 필요하다.

### 3.2 볼 범핑 방법

볼 범핑 방식은 Fig. 6<sup>8)</sup>에 보인 것처럼 솔더 볼을 치구에 진공으로 흡착시키거나 또는 금속 마스크를 사용하여 웨이퍼의 UBM상에 정렬하여 탑재한다. 이 방법은 BGA (ball grid array)와 CSP (chip scale packages)에서 사용하는 방법과 유사하다. 즉, 웨이퍼 전극 위의 UBM에는 플럭스를 도포하고, 볼 탑재가 끝나면 리플로시켜 UBM과 솔더 볼을 접합시킨다. 볼 탑재방법은 진공 흡착법이 일반적인 방법이다. 금속 마스크를 사용하는 방법은 탑재 코스트가 비교적 높다. 진공흡착 장치로 볼을 집어 올릴 때, 볼 사이의 정전기에 의해 볼들이 서로 달라붙는 경우도 있어서 주의해야 한다. 특히 볼의 크기가 작아질수록 이러한 경향이 증대된다.

볼 범핑법은 범프의 크기가 균일하다는 장점이 있지

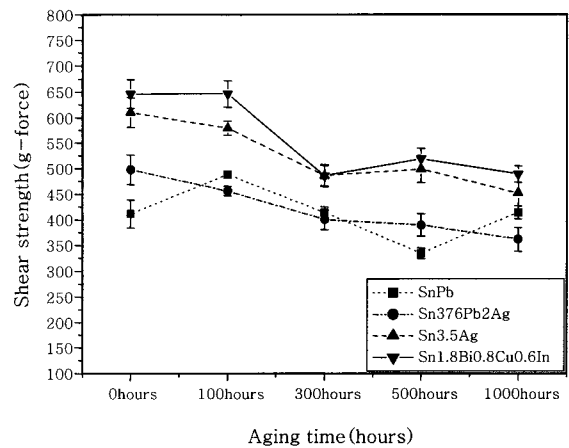


Fig. 5 Shear strength of solder bump formed by paste printing method<sup>5)</sup>

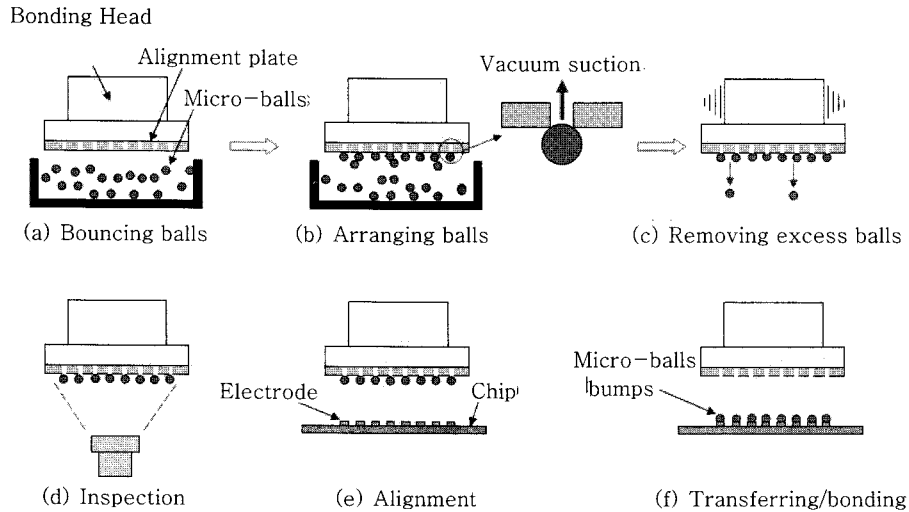


Fig. 6 Flow chart of ball arranging and transferring process<sup>8)</sup>

만, 도금법이나 프린팅법에 비해 미세한 범프의 형성이 어렵고, 미세한 솔더 볼의 제작비용이 비싸다. 볼 직경은 100 $\mu$ m 이하도 실용화되어 있다.

Fig. 7은 100 $\mu$ m 크기의 Sn-3.5%Ag 솔더 볼을 실리콘 웨이퍼 상에 범핑한 것을 보인 것이다<sup>9)</sup>. Fig. 7a는 플럭스를 사용한 일반적인 범핑법으로 범핑 후 잔류한 플럭스 잔사는 세척공정으로 제거해야 한다. Fig. 7b는 플럭스를 사용하지 않고 플라즈마를 사용하여 범핑한 예이다. 범프의 상태가 매우 깨끗하고, UBM과 솔더 볼 사이에 양호한 젖음이 일어난 것을 볼 수 있다. 플라즈마를 사용한 방법은 실험실적으로 연구된 것이고, 아직 실용화되고는 있지 않다. Fig. 7c는 플럭스를 사용하지 않고 Nd:YAG 레이저를 사용하여 범핑한 예이다. 범프 상단에 레이저 빔에 의한 압력에 의해 크레터가 형성되었다. 범프의 상태는 깨끗하지만, UBM과 솔더 볼 사이에 젖음이 나빠서 양호한 접합 상태가 아니다. 레이저 범핑법은 솔더 볼을 리플로하기 전에 Si 다이의 UBM 위에 가접하는 데에 주로 사용된다.

그러나, 레이저를 이용하여 양호한 접합을 이루려는 연구들은 계속되고 있다.

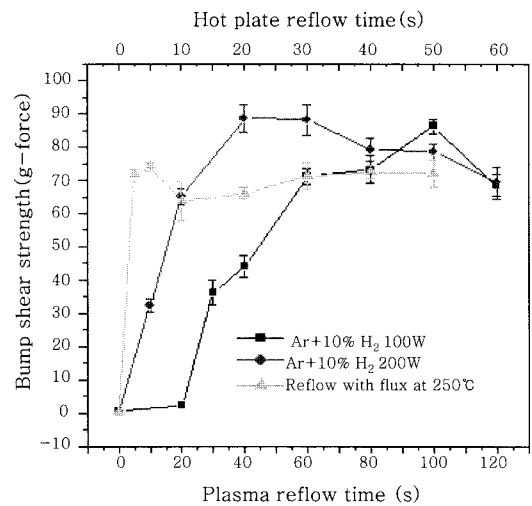


Fig. 8 Shear strength of solder ball reflowed by plasma and in air with flux (Sn3.5Ag ball, ball dia: 100 $\mu$ m)<sup>9)</sup>

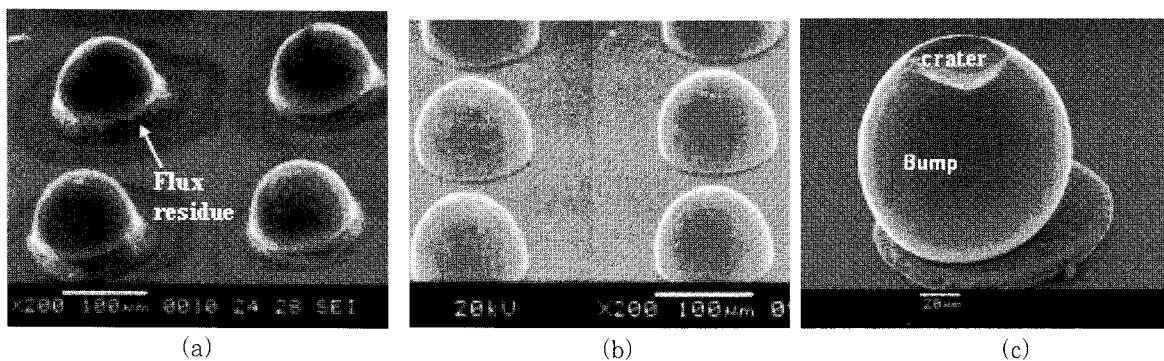


Fig. 7 Examples of ball bumping (Sn-3.5Ag solder bumps; dia.100 $\mu$ m, pitch 250 $\mu$ m) (a) reflowed in air with flux, (b) reflowed in Ar-10%H<sub>2</sub> plasma, (c) bumped by Nd:YAG laser<sup>9)</sup>

Fig. 8은 직경 100 $\mu\text{m}$ 의 솔더 볼을 Ar-10% $\text{H}_2$  플렉스리스 플라즈마 및 플렉스를 이용한 대기 리플로 솔더링에 의하여 제작한 범프의 전단강도를 보인 것이다. 범프의 접합강도는 두 경우 모두 적정 조건에서 약 70-90gf 정도로 플라즈마의 경우가 약간 더 높은 강도값을 보이고 있다. 전술한 솔더 페이스트로 제작한 범프는 약 450-650gf의 전단접합 강도값을 보이고 있는데, 이 경우는 범프의 직경이 약 250 $\mu\text{m}$ 이다. 볼로 제작한 경우나 페이스트로 제작한 범프 모두 단위 면적당 접합 강도를 계산해 보면 대체로 비슷하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 전해도금 방법

전해도금(electroplating)을 하면 금속은 전해액상의 이온으로부터 음극에 석출된다. 즉, 외부회로를 따라 전자가 흐르면 전해액 중 양이온인 금속이온은 음극에서 환원되고, 음이온은 양극에서 산화되는데 이것이 전기도금의 기본 원리이다.

전해도금 방법은 증착법에 비해 저가이고, 공정의 유연성이 있다. UBM은 웨이퍼 상의 접착층으로 TiW, 젖음층으로 Cu, 보호층으로 Au층을 사용한다. 두꺼운 Cu층은 Sn함량이 높은 무연 솔더에서 솔더와의 반응에 의해Cu가 완전히 소진되는 것을 방지할 수 있다.

UBM이 형성된 웨이퍼 위에 PR패턴을 형성한 뒤, 전류를 가하여 범프를 형성한다. UBM은 전기도금시 도전층의 역할을 한다. 솔더 도금 후에 불필요하게 된 PR이나 UBM을 에칭 제거한 후 가열하여 반구형의 솔더 범프를 형성시킨다.

Fig. 9는 Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Pb 솔더 범프 도금시 전류밀도에 따른 도금속도를 보인 것이다. 전류밀도

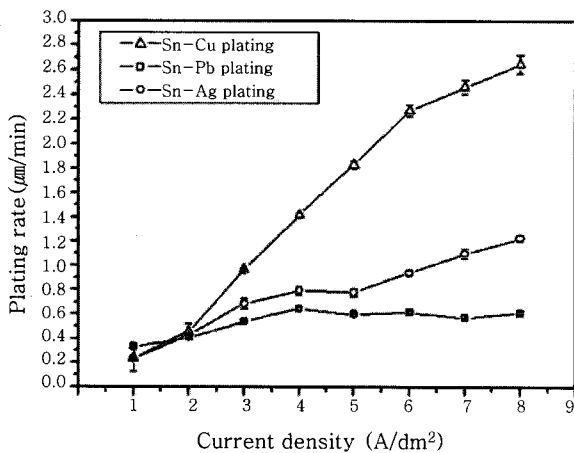


Fig. 9 Electroplating rate of solders with current density<sup>10)</sup>

에 따라 Sn-Cu의 도금속도가 가장 빨리 증가함을 알 수 있다. 전류밀도는 도금 범프의 구성에 영향을 미치기도 한다<sup>10)</sup>. 따라서, 양호한 전해 도금을 위해서는 적절한 전류밀도와 도금액이 아주 잘 조절되어야 한다. 일반적으로 낮은 전류밀도에서 치밀한 도금층을 형성하고 높은 전류밀도에서는 수지상이나 분말상의 도금층을 형성하여 도금층의 특성이 나빠지게 된다.

Fig. 10은 버섯 (mushroom)형상의 Sn-Cu 전해도금 범프를 보인 것이다<sup>10)</sup>. 기둥(column)부의 폭은 약 120 $\mu\text{m}$ , 높이는 약 70 $\mu\text{m}$ 이다. 범프의 높이와 폭이 거의 일정하게 형성되었는데, 대량 생산에서는 전해도금 방식에 의한 솔더 범프는 도금 중에 전계, 도금액의 불균일성 등으로 인하여 위치에 따라 범프 높이가 불균일하게 되기 쉽다. 또한, 전해 도금법은 범프 형성을 위한 도금시간이 길다는 단점이 있기도 하다.

전해도금에 의한 범핑 방법은 저온에서 미세한 범프를 제조할 수 있는 장점이 있는데, 범프간 간격이 30-50 $\mu\text{m}$ 도 가능하다. 최근 범프의 크기는 10-20 $\mu\text{m}$ 가

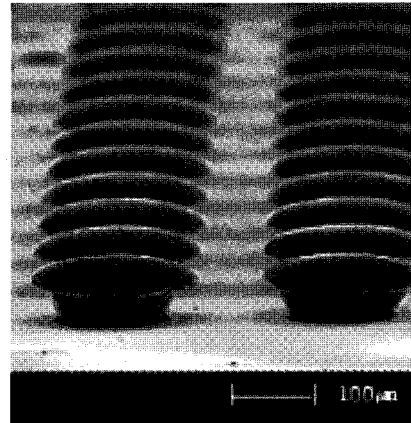


Fig.10 Sn-Cu solder bumps of Mushroom type by electroplating (size: 120 $\mu\text{m}$ )<sup>10)</sup>

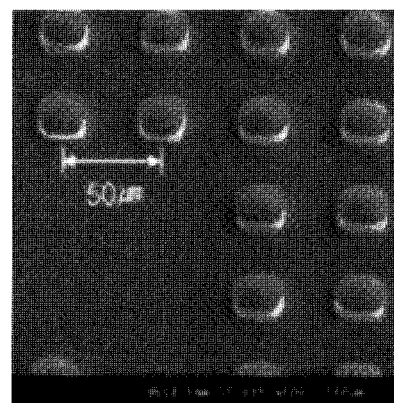


Fig. 11 Sn Cu solder bumps by electroplating (straight wall type, size: 20 $\mu\text{m}$ )<sup>11)</sup>

지 줄어들고 있기도 하다 (Fig. 11<sup>11)</sup> 참조). 사실, 플립 칩 접합부의 기계적 강도는 언더 필 수지가 담당하고, 전기 신호의 상호전달은 범프가 담당하는 측면에서만 보면 범프의 직경은 수  $\mu\text{m}$  크기가 되어도 가능하다. 그러나, 현실적인 측면에서 범프와 범프 접합부의 검사공정에서의 어려움, 플립칩 본딩시의 범프간 얼라인먼트의 어려움 등이 있다<sup>12)</sup>.

Fig. 10 및 Fig. 11을 보면 범프의 형상에는 버섯형 (mushroom)과 수직벽형 (straight wall)이 있다. 버섯형은 PR 마스크가 제조하고자 하는 범프 높이보다도 얇으면 형성되고, 수직벽형은 범프 높이보다도 두꺼운 PR 마스크를 사용하면 형성된다.

전해도금으로 형성된 버섯형 및 수직벽형 범프는 플럭스를 도포한 후 리플로하면 Fig. 12와 같은 균일한 반구형 범프가 형성된다. 이 반구형 범프는 전술한 페이스트로 형성한 것이나 솔더 볼로 형성한 범프와 동일한 형상이다.

Fig. 13은 Fig. 12에서 제조한 것과 같은 Sn-Ag,

Sn-Cu, Sn-Pb 솔더 범프의 전단 접합 강도를 보인 것이다. 적절한 접합조건에서 3가지 무연 솔더는 범프당 약 100-120gf로 유사한 강도를 보이며, Sn-Ag, Sn-Cu가 Sn-Pb 범프보다 약간 높은 전단 접합 강도를 보이고 있다. 그러나, 단위 면적당 접합강도는 전술한 페이스트 및 솔더 볼로 형성한 범프와 유사하다.

전해도금 방법은 가격이 싸고, 대량 생산에 적용될 수 있다는 장점이 있다. 전해도금은 3원계 솔더 합금에 적용된 경우도 있지만, 일반적으로는 2원계 합금에 적용된다. 전해도금 방법은 설비투자비가 높고, 웨이퍼 사이즈에 따라서 설비의 교체가 필요하다.

이 외의 범핑 방법으로 증착법, 침지법, 기타 방식이 있다<sup>4,12)</sup>.

증착법은 웨이퍼상의 UBM (Cr/Cr-Cu/Cu/Au층) 위에 개구부를 갖는 메탈 마스크를 정렬하고 기계적으로 고정한다. 여기에 솔더를 진공 증착하여 부착시킨다. 고Pb 솔더는 증착하기 용이하지만, 공정 Sn-Pb솔더는 Pb와 Sn의 증기압 차이에 의해 증착하기가 어렵다. 증착 후 메탈마스크를 제거하고 가열하면 솔더 범프가 형성된다. 증착법은 범프의 높이가 균일하고, 신뢰성도 높다. 그러나, 생산성이 낮고 장비비가 비싸며, 크기가 큰 웨이퍼에는 적용이 쉽지 않아서 최근에는 실용 예가 적다.

침지(dipping)방식은 용융된 솔더조에 웨이퍼를 침지시킨 후 끌어올리면 UBM상에 선택적으로 솔더 범프가 형성되는 방법이다. 이 방법은 용융 솔더의 표면장력과 중력의 영향을 적절히 조절하면 범프 높이와 형상의 차이를 줄일 수 있을 것이다. 이 방법은 솔더의 조성에 대한 제한이 없고, 값이 싸며 생산성이 높아서 균일한 솔더만 형성되면 장래가 유망한 범프 형성 방식이 될 수 있다.

이 외에도 유기아연과 Sn미립자를 웨이퍼에 도포하여 가열·반응에 의해 전극 위에 솔더층을 형성하는 방법, UBM상에 점착층을 형성시켜 미세 솔더 볼을 도포하면 선택적으로 점착층에만 솔더층이 형성되는 방법들이 있다. 이러한 방법들은 웨이퍼 전면에 도포하기 때문에 마스크가 필요하지 않다.

#### 4. 결 론

플립 칩 본딩을 위한 여러가지 솔더 범핑 법에 대하여 검토하였다. 솔더 범핑법 중 페이스트 프린팅 법에 의한 범프 형성법이 생산성이나 가격 경쟁력이 높아 많이 사용되고 있다. 수십 마이크로미터 이하의 미세한 범프에서는 도금법이 유리하나, 도금액이나 전류밀도 등에 대한 정확한 조절이 필요하며 생산성이 낮은 편이다. 볼 범핑법은 정확한 크기의 범프 제조는 가능하지

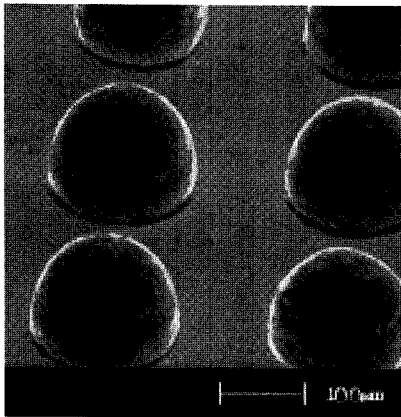


Fig. 12 Electroplated Sn-Cu bumps after reflux at 260°C<sup>10)</sup>

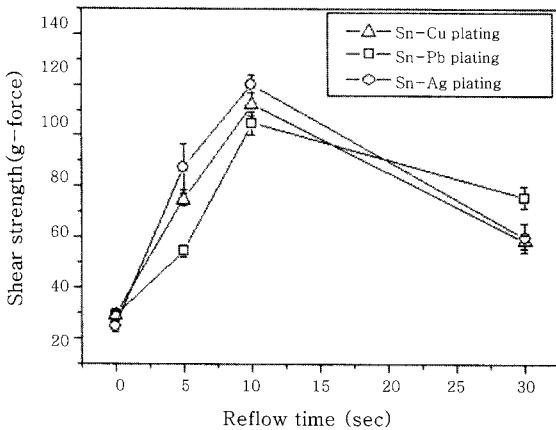


Fig. 13 Shear strengths of bumps fabricated by electroplating and air reflow<sup>10)</sup>

만, 미세한 범프의 제조는 어려우며 가격이 높아지는 단점이 있다. 향후 발전 가능성이 있는 방법으로 용융 솔더에 침지하는 방식에 의해 범프를 제조하는 방식이 있으나, 용융솔더의 표면장력과 중력을 고려하여 균일한 범프를 형성하는 것이 관건이다.

### 감사의 글

본고는 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구 (No. R01-2007-000-20811-0) 입니다.

### 참고 문헌

1. Sci-Tech Encyclopedia, McGraw-Hill Encyclopedia of Sci. and Tech., 5th ed., McGraw-Hill
2. S. Alsarawi, D. Abbott, P. Franzon, "A Review of 3-D Packaging Technology", IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, part B, **21-1**, (1998)
3. 정재필, 전주선, "초음파를 이용한 고품질 무연솔더 분말 및 무연 크립솔더 개발", 산업자원부 연구보고서(2003)
4. www.flipchips.com/tutorial
5. J Lee, JP Jung, CS Cheon, Y Zhou, M Mayer, Flip Chip Bump Formation of Sn-1.8 Bi-0.8 Cu-0.6 In, Material Transactions, **46-11** (2005) 2359-2365

6. R. Kay, E. Gourcuff, M. Desmulliez, L. Crescent, "Stencil Printing Technology for Wafer Level Bumping at Sub-100 Micron Pitch using Pb-Free Alloys", 2005 Electronic Components and Technology Conference
7. 박재현, 정재필, 정승부, 솔더볼 신뢰성 표준화 연구, 2008, 기술표준원
8. K. Shimokawa, E. Hashino, Y. Ohzenu, K. Tatsumi, "Micro-ball Bump for Flip Chip Interconnections", IEEE 1998 Electronic Components and Technology Conference
9. Hong, S. M., Kang, C.S., Jung, J. P, Plasma Reflow Bumping of Sn-3.5 Ag Solder for Flux-Free Flip Chip Package Application. IEEE Transactions on Advanced Packaging, **27-1**, (2004), 90~96
10. SW Jung, JP Jung, Y Zhou, Characteristics of Sn-Cu Solder Bump Formed by Electroplating for Flip Chip : IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, **29-1**, 10-16
11. 정재필, 초음파를 이용한 환경친화적 Solderless 초소형 flip chip 범프제조, 2006-2008, 아이셀론-산자부
12. 畑田 賢造, 범프기술의 개요, 實裝技術 2001, No. 12



- 이희열
- 1981년생
- 서울시립대학교 신소재공학과
- 마이크로 패키징, flip chip bonding
- e-mail: dark2210@uos.ac.kr



- 정재필
- 1959년생
- 서울시립대학교 신소재공학과
- 마이크로 패키징, 솔더링
- e-mail : jujung@uos.ac.kr



- 전지현
- 1981년생
- 서울시립대학교 신소재공학과
- 마이크로 패키징, 도금
- e-mail : exkaede@empal.com