

박판 몰드를 이용한 솔더 범프 패턴의 형성 공정

남 동 진* · 이 재 학* · 유 중 돈*

*한국과학기술원 기계공학과

Fabrication of Solder Bump Pattern Using Thin Mold

Dong-Jin Nam*, Jae-Hak Lee* and Choong-Don Yoo*

*Dept. of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

Abstract

Solder bumps have been used to interconnect the chip and substrate, and the size of the solder bump decreases below $100\mu\text{m}$ to accommodate higher packaging density. In order to fabricate solder bumps, a mold to chip transfer process is suggested in this work. Since the thin stainless steel mold is not wet by the solder, the molten solder is forced to fill the mold cavities with ultrasonic vibration. The solders within the mold cavities are transferred to the Cu pads on the polyimide film through reflow soldering.

*Corresponding author : plle3angel@kaist.ac.kr

(Received February 7, 2007)

Key Words : Solder bump, Ultrasonic, Mold-to-chip transfer, Electronic packaging

1. 서 론

전자기기의 소형화와 고성능화 추세에 따라 전자 패키징(electronic packaging)의 집적도와 신호전달 성능을 향상시키기 위한 다양한 기술이 연구되고 있다. 패키징 기술 중에서 플립칩 본딩(flip chip bonding)은 실리콘 칩에 UBM(Under Bump Metallurgy)과 솔더 범프를 형성하고 솔더링 공정을 이용하여 기판의 패드와 접합한다^{1,2)}. 기존의 와이어 본딩 기술과 비교하여 플립칩본딩은 실장 밀도가 높고 칩과 기판을 수직으로 연결하므로 접속 길이가 짧아 신호 전달 성능과 열전달이 우수하다는 장점이 있다.

플립칩의 솔더 범프를 형성하기 위하여 사용되는 대표적인 공정으로 증착, 도금, 스크린 프린팅 등이 사용되고 있다³⁾. 그러나 공정에 따라 증착 효율, 가공비, 솔더 범프의 불균일한 크기, 미세 피치의 구현에 따른 한계 등의 문제점이 있다⁴⁾. 또한 환경 규제에 의해 납의 사용이 제한됨에 따라 기존의 Sn-37Pb 솔더가 무연 솔더(lead-free solder)로 대체되면서 고용점과 젖

음성 불량과 같은 문제점이 발생하고 있다³⁾.

이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 기존의 공정을 개선하거나 새로운 공정이 개발되었다. Fujino⁵⁾ 등은 스크린 프린팅 방법을 미세 피치에 적용하기 위하여 마스크에 솔더 페이스트(solder paste)를 채우고 마스크를 제거하지 않은 상태에서 솔더 페이스트를 용융시켜 솔더 범프를 형성하였다. 또한 스크린 프린팅을 이용하여 홈이 가공된 실리콘 웨이퍼(wafer)에 솔더 페이스트를 채워 솔더 범프를 형성하는 방법도 제안되었다⁶⁾. Gruber⁷⁾ 등은 웨이퍼 레벨(wafer level)에서 플립칩의 솔더 범프를 형성하는 C4-NP 공정을 제안하고 성공적으로 구현하였다. C4-NP 공정은 솔더가 젖지 않는 유리 기판에 홈을 가공하여 몰드(mold)로 사용한다. 솔더 주입장치를 이용하여 몰드 홈에 용융 솔더를 채워 응고시키고, 몰드를 UBM이 형성된 웨이퍼에 정렬한 상태에서 가열하여 솔더 범프를 형성한다. 솔더 페이스트를 사용하지 않고 용융 솔더를 직접 몰드에 채우기 때문에 범프의 크기와 피치를 정밀하게 제어할 수 있고 웨이퍼 전체의 솔더 범프를 한번에 형성하였다.

본 연구에서는 초음파를 이용하여 솔더가 젖지 않는

스테인리스 강 재질의 박판 몰드에 용융 솔더를 채우고 몰드의 솔더 패턴을 칩의 패드에 이행(transfer)시켰다. 실험을 통하여 초음파에 의해 용융 솔더가 몰드에 채워지는 현상을 분석하였다.

2. 솔더 범프 형성 공정

본 연구에서 제안한 솔더 범프의 형성 방법은 Fig. 1에 보인 바와 같이 다음의 3단계로 구성된다: (1) 용융 솔더로 채워진 솔더조(solder bath)의 내부에 몰드를 위치시키고, 초음파를 이용하여 몰드의 홈에 솔더를 채운다. (2) 스퀴지(squeegee)를 이용하여 몰드 홈 이외의 표면에 부착된 솔더막을 제거한다. (3) 몰드와 기판이 접촉한 상태에서 리플로우 솔더링 공정으로 몰드의 솔더를 기판의 패드로 이행시킨다. 본 연구에서 사용한 박판 몰드는 C4-NP의 유리 몰드에 비해 식각이 용이하며 유연하므로 솔더 범프(solder bump)를 기판으로 이행 시 평평도(coplanarity) 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.

몰드에 가공된 홈의 형상으로 관통 구멍(through hole) 또는 막힌 구멍(blind hole)을 사용할 수 있으며, 초음파 혼(horn)과 몰드의 접촉 여부에 따라 Fig. 2에 보인 접촉식과 비접촉식 방법으로 구분한다. 접촉식은 초음파 혼을 몰드에 접촉시킨 상태에서 초음파를 가하며, 비접촉식은 혼의 끝단을 몰드 표면에 접촉시키지 않고 일정 간격을 유지하면서 초음파를 가한다.

몰드의 표면에 솔더가 젖지 않아야 하며, 이는 몰드의 홈에 채워진 솔더를 용융시켜 칩이나 기판의 패드로

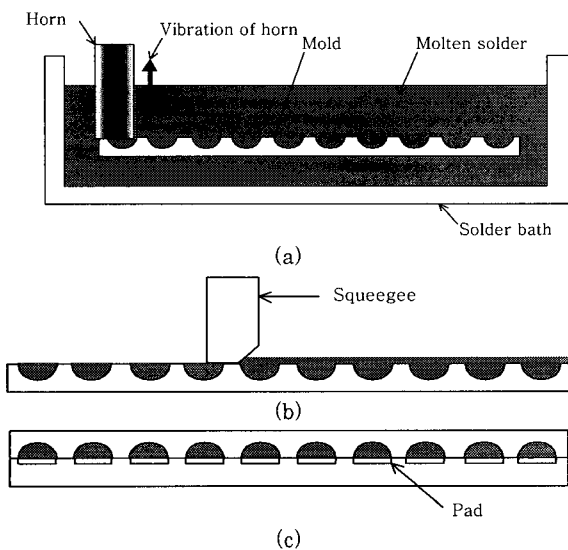


Fig. 1 Process sequence of solder bump fabrication: (a) Filling of mold cavities with solder using ultrasonic vibration, (b) Removal of solder layer, (c) Transfer of solder bumps to pads

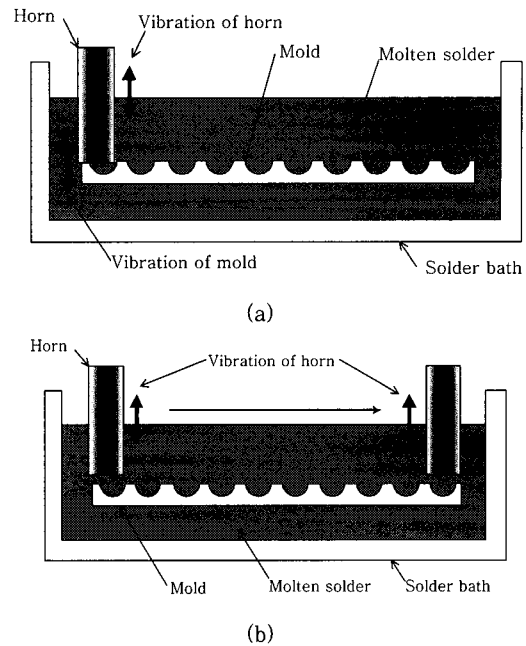


Fig. 2 Schematics of cavity filling methods using ultrasonic vibration: (a) Contact method, (b) Non contact method

이행시킬 때 솔더가 몰드의 홈에 잔존하지 않고 패드에 접합되어야 하기 때문이다. 본 연구에서 사용한 초음파 진동은 솔더가 젖지 않는 몰드의 홈에 솔더를 채우는 역할을 한다. 용융 솔더의 내부에 원통 형태의 혼을 위치시킨 상태에서 진동시키면, 솔더에서 발생하는 압력은 주파수와 진폭에 의해 결정된다⁸⁾. 초음파에 의해 발생하는 압력은 초음파 자체의 압력과 공동화(cavitation)에 의한 압력으로 구분할 수 있다. 음압(negative pressure)에 의해 발생하는 공동은 붕괴하면서 큰 압력을 발생시킨다. 접촉식의 경우에는 초음파 혼이 몰드와 접촉하여 몰드를 진동시키기 때문에 몰드 홈에 존재하는 기포는 진동에 의해 발생하는 압력을 직접 받는다. 이와 같은 압력에 의해 몰드 홈의 기포는 외부로 배출된다.

3. 실험 방법

접촉식과 비접촉식 방법을 사용하여 몰드의 홈에 솔더를 채우고 몰드의 솔더를 기판의 패드로 이행시키기 위한 실험을 수행하였다. 몰드의 재료로 솔더가 젖지 않는 STS 304 재질의 박판을 사용하였으며, 포토리소그래피(photolithography)와 식각(etching) 공정을 이용하여 몰드에 관통 구멍과 막힌 구멍의 패턴을 가공하였다. 관통 구멍과 막힌 구멍의 몰드 크기는 각각 30×30×0.1mm와 30×30×0.2mm이며, 가공된 구멍의 직경은 300 μ m이다.

실험에 사용한 무연 솔더의 조성은 Sn-3.0Ag-0.5Cu



Fig. 3 Photograph showing the mold surface covered with Sn-3.0Ag-0.5Cu solder layer after ultrasonic vibration

이며, 솔더의 용융 온도는 220℃이다. 몰드에 솔더를 채우기 위한 실험 장치는 초음파를 발생시키는 초음파 용접기, 무연 솔더를 용융시키는 솔더조, 몰드를 고정시키는 지그(jig)로 구성된다. 초음파 용접기의 발진 주파수는 28kHz이고 혼 끝 단에서의 진폭은 10 μ m이다. 무연 솔더를 솔더조에서 용융시키고 지그에 장착된 몰드를 용융 솔더 내부로 위치시킨 상태에서 초음파를 발진시켜 접촉식 또는 비접촉식 방법으로 몰드의 홈에 솔더를 채웠다.

Fig. 3은 초음파를 접촉식으로 20초간 가한 몰드 형상이며, 솔더는 몰드의 홈에 채워지면서 홈 이외의 몰드 표면에도 솔더막이 형성된다. 솔더막을 제거하기 위하여 몰드를 열판(hot plate) 위에서 가열하여 솔더를 용융시키고 STS 304 또는 유리 재질의 스퀴지를 이용하여 솔더막을 제거하였다.

몰드에 채워진 솔더를 기판에 이행시키기 위하여 기판을 제작하였다. 기판은 폴리이미드(polyimide, PI) 필름의 표면에 Cu 박판이 부착된 형상이며, Cu 박판을 식각하여 패드를 형성하였다. 몰드의 표면에 플럭스(flux)를 도포하고, 몰드를 PI 기판에 접촉시킨 상태에서 열판 상에서 몰드와 PI 기판을 260℃로 동시에 가열하여 솔더를 PI 기판에 이행시켰다. PI 기판에 형성된 솔더 범프의 형상과 단면을 전자 현미경과 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

몰드 홈의 내부에 존재하는 기포는 솔더의 표면장력과 90도 이상의 접촉각에 의해 압력을 받는다. 몰드 홈을 반구로 가정하면 솔더의 표면 장력에 의한 압력과 공기의 부력은 다음과 같다.

$$p_{sur} = 2\gamma_s / R_c$$

$$p_b = (\rho_s - \rho_a)gV_c / (\pi R_c^2)$$

여기에서 γ_s 는 솔더의 표면 장력, R_c 는 몰드 홈의 반경, ρ_s 는 솔더의 밀도, ρ_a 는 공기의 밀도, V_c 는 몰드 홈의 부피를 나타낸다. 솔더의 표면장력이 0.54N/m⁹, 몰드 홈의 반경이 150 μ m인 경우, 표면장력에 의한 압력은 약 7kPa이다. 그러나 몰드 홈의 기포가 받는 부력은 약 4Pa이기 때문에 표면장력에 의한 압력보다 매우 작아서 기포는 부력에 의해 배출되지 못한다.

용융 솔더 내부에서 초음파 혼이 진동하는 경우에 혼 주위의 압력은 사인(sine) 파형으로 시간에 따라 변화하며, 양의 압력이 발생하는 구간에서 수 MPa의 압력을 몰드에 가한다. 음압이 발생하는 구간에서는 캐비테이션 현상에 의해 솔더 내부에 기포가 발생하고 기포가 붕괴되면서 큰 압력이 발생한다. 캐비테이션에 의한 압력은 대략 수 GPa의 매우 큰 값으로 알려져 있다¹⁰. 이와 같이 초음파에 의해 발생하는 압력은 기포의 표면장력에 의한 압력보다 크기 때문에 몰드 홈에 존재하는 기포를 제거할 수 있을 것으로 예상된다.

비접촉식 방법을 이용하여 몰드의 막힌 구멍에 채워진 솔더 형상을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4 (a)와 같이 몰드 홈이 완전히 채워지는 경우도 있지만, 대부분의 경우에는 Fig. 4 (b)와 같이 홈의 일부만 채워지는 결과를 얻었다. 혼과 몰드의 간격을 2~5mm로 조절하면서 실험하였으며, 간격을 감소시켜도 몰드 홈을 완전하게 채우기 어려웠다. 이는 초음파 압력에 의해 몰드 홈 내부의 공기가 완전하게 배출되지 않고 압력에 의해 압축되기 때문으로 판단된다. 비접촉식 방법에 의해 솔더를 몰드 홈에 완전히 채우기 어렵기 때문에 향후의 실험은 접촉식 방법을 사용하였다.

접촉식 방법으로 솔더를 몰드 홈에 채우고 스퀴지를 이용하여 몰드 표면의 솔더막을 제거한 몰드의 단면을 Fig. 5에 나타내었으며, 막힌 구멍과 관통 구멍의 몰드 홈에 솔더가 완전히 채워졌음을 알 수 있었다. 접촉식 방법은 몰드 자체를 진동시키므로 몰드 홈의 기포에 직접적으로 충격이 가해져서 기포가 원활하게 배출되는 것으로 추정한다. 그러나 혼과 접촉하는 몰드 주변의 홈에서만 기포를 제거할 수 있기 때문에 전체 몰드의 기포를 제거하려면 몰드를 이동시키며 초음파를 가해야 한다. 일반적으로 몰드 홈에 솔더가 채워지는 정도는 초음파 인가 시간, 몰드와 혼의 위치에 의해 영향을 받는다. 초음파의 인가 시간이 증가하거나 몰드 홈의 위치가 혼에 근접하면 솔더가 균일하게 채워진다.

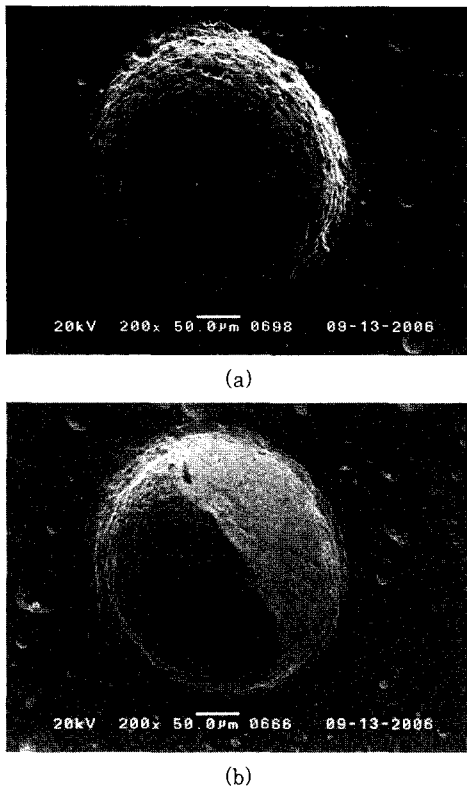


Fig. 4 Photographs showing the solder bumps filled in blind hole mold using non contact vibration method: (a) Completely filled solder bump, (b) Partially filled solder bump

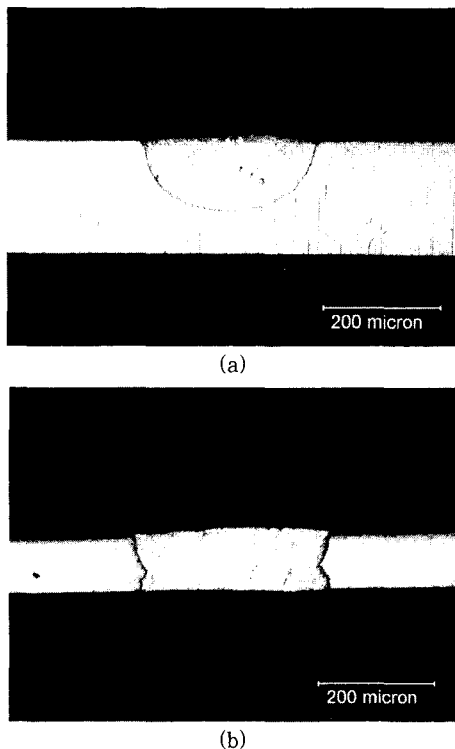


Fig. 5 Cross sectional images of mold cavity after contact vibration method: (a) Blind hole mold, (b) Through hole mold

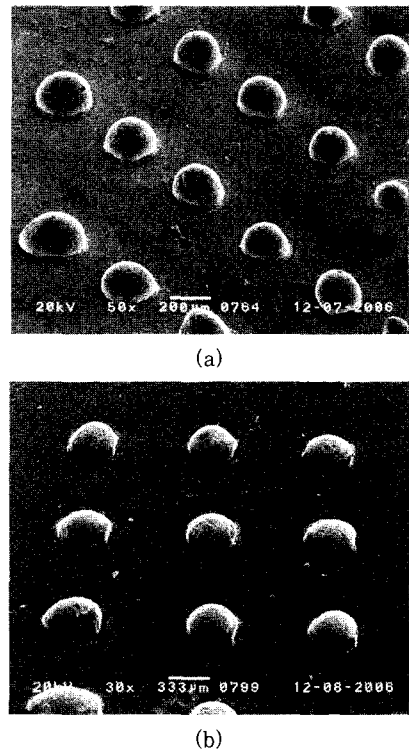


Fig. 6 Photographs showing transferred solder bumps using (a) blind hole mold (b) through hole mold

Fig. 6은 몰드의 솔더를 PI 필름의 Cu 패드에 이행시켜 형성된 솔더 범프를 나타낸다. 스테인리스 강 재질의 몰드는 솔더와 접합력이 낮기 때문에 용융된 솔더는 Cu 패드로 이행되며, 일반적으로 관통 구멍의 경우가 더 수월하게 이행되었다. 막힌 구멍의 경우에 솔더 범프의 형상이 반구형이지만, 관통 구멍의 경우에는 솔더 범프의 측면이 실린더 형상이고 윗부분은 반구형을 나타낸다.

솔더 범프의 단면을 Fig. 7에 나타내었으며, 솔더 범프의 내부에 기공이 존재한다. 이와 같은 기공은 솔더 범프를 기판에 이행하는 과정에서 공기가 갇혀 발생하거나 리플로우 솔더링 과정에서 솔더 범프 내부에 갇힌 플럭스가 증발하면서 발생할 수 있다. 그러나 기판의 표면이 매끄럽고 솔더 범프 내부의 기공이 요철에 비해 상대적으로 크다. 또한 막힌 구멍 몰드에 비해 관통 구멍 몰드를 사용하는 경우 플럭스의 증기가 쉽게 외부로 배출되어 기공의 크기와 발생 빈도가 감소하므로 플럭스의 증발에 의해 기공이 주로 발생함을 알 수 있다. 솔더 범프의 품질을 향상시키려면 기공을 제거하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 몰드에 플럭스를 도포하고 채워진 솔더를 용융시켜 구형의 솔더볼 형상으로 만든 후 기판에 플럭스를 도포하여 몰드의 솔더를 기판에 이행시켰다. 이와 같은 방법으로 범프 내부의 기공을 제

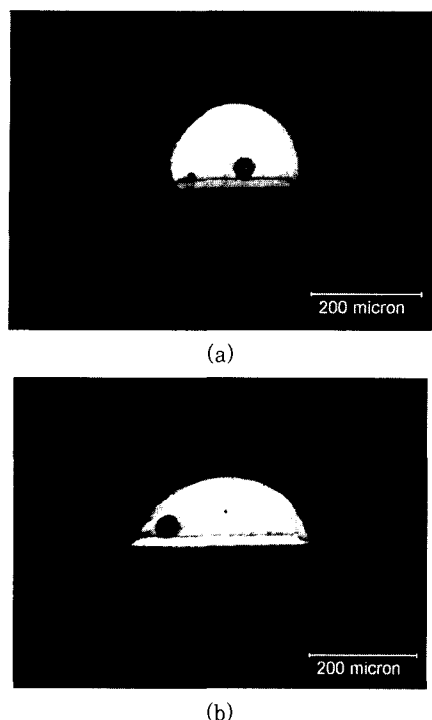


Fig. 7 Cross sectional images of solder bumps including voids using (a) blind hole mold and (b) through hole mold after transfer process

거할 수 있었으며, 이행시킨 솔더 범프의 단면을 Fig. 8에 나타내었다. 이는 솔더볼이 기판의 패드와 점 접촉(point contact)하면서 솔더볼이 용융되어 젖음이 진행되므로 플럭스가 솔더볼 내부에 갇히지 않고 외부로 배출이 용이하다. 따라서 솔더볼 내부에 플럭스를 포함하지 않아 플럭스의 증발에 인한 기공이 발생하지 않은 것으로 추정된다.

5. 결 론

용융 솔더가 채워진 박판의 몰드를 이용하여 솔더 범프를 형성하는 공정을 제시하고 해석과 실험을 통하여 공정의 타당성을 검증하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 초음파를 이용하여 몰드 홈에 용융 솔더를 채우고 몰드와 PI 기판을 접촉시킨 상태에서 가열하여 몰드의 솔더를 기판의 Cu 패드로 이행시켜 솔더 범프를 형성하였다.

(2) 비접촉식 방법을 사용하여 막힌 구멍의 몰드를 채우는 경우, 구멍 내부에 존재하는 기포를 완전히 제거하기 곤란하였다. 그러나 접촉식 방법을 사용하여 막힌 구멍과 관통 구멍의 몰드에 균일하게 솔더를 채울 수 있었다.

(3) 몰드 홈에 솔더가 채워지는 정도는 초음파 인가

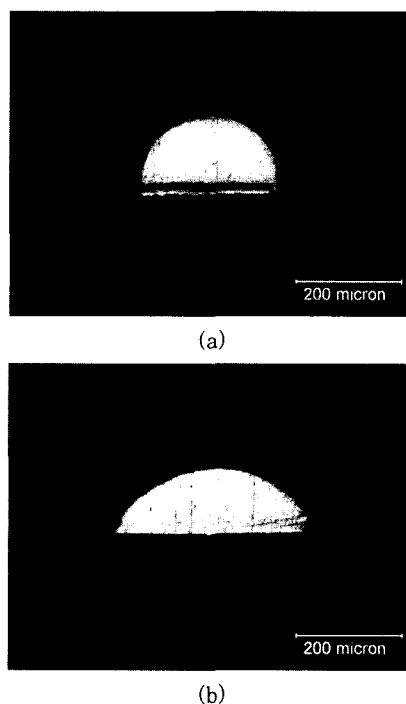


Fig. 8 Cross sectional images of solder bump having no voids using (a) blind hole mold and (b) through hole mold after modified transfer process

시간, 몰드와 혼의 위치에 의해 영향을 받는다. 초음파의 가진 시간이 증가하거나 몰드 홈이 혼에 근접한 경우에 솔더가 몰드 홈에 균일하게 채워진다.

(4) 이행 과정에서 플럭스에 의해 솔더 범프의 내부에 기공이 발생하며, 몰드 홈의 솔더를 구형으로 용융시킨 후에 기판으로 이행시켜 기공을 제거할 수 있었다.

후 기

본 연구는 BK21 사업의 연구비 지원에 의하여 수행하였습니다. 본 사업의 관계자 여러분께 감사의 말을 전합니다.

참 고 문 헌

1. R.R. Tummala: Fundamentals of Microsystems Packaging, McGRAW-HILL Book Co., 2001, 344-397
2. G., Messner, I. Turik, J.W. Bale and P.E. Garrou: Thin Film Multichip Modules, International Society for Hybrid Microelectronics, 1999, 323-330
3. S.K. Kang, and A.K. Sarkhel: Lead (Pb)-free solders for electronic packaging, Journal of Electronics Materials, **23-8** (1994), 701-707
4. J.H. Lau: Flip Chip Technologies, McGRAW-HILL Book Co., 1996, 129-132
5. J. Fujino, S. Takaki, K. Hayashi, G., Izuta and J.

- Hirota: Development of ball bump forming technology using solder paste and new simplified CSP, Electronic Components and Technology Conference, (1998), 442-447
6. N. Koshoubu, S. Ishizawa, H. Tsunetsugu and H. Takahara: Advanced Flip Chip Bonding Techniques Using Transferred Microsolder Bumps, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, **23-2** (2000), 399-404
7. P.A. Gruber, D.Y. Shin, L. Belanger, G. Brouillette, D. Danovitch, V. Oberson, M. Turgeon and H. Kimura: Injection molded solder technology for Pb-free wafer bumping, Electronic Components and Technology Conference, (2004), 650-654
8. L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens and J.V. Sanders: Fundamentals of Acoustics, John Wiley and Sons Book Co., 2000, 176-182
9. G.V. Samsonov: Handbook of the Physicochemical Properties of the Elements, IFI/Plenum Data Co., 1968
10. O.V. Abramov: Ultrasound in Liquid and Solid Metals, CRC Press Book Co, 1993