

## 플립칩 패키징 언더필 유동특성에 관한 연구

송용 · 이선병 · 전성호 · 임병승 · 정현석 · 김종민\*

중앙대학교 기계공학부

### Underfill Flow Characteristics for Flip-Chip Packaging

Yong Song, Sun Beung Lee, Sung Ho Jeon, Byung Seung Yim, Hyun Seok Chung and Jong-Min Kim\*

School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

(2009년 1월 22일 접수: 2009년 8월 18일 게재확정)

**초 록:** 본 연구에서는 언더필 공정에서 플립칩과 기판사이의 모세관 작용에 의한 언더필 유동 경향에 대해 살펴보고, 언더필의 점도와 토출 위치에 따른 언더필 유동특성에 대해 살펴보았다. 플립칩의 사이즈는 5 mm×5 mm×0.65 mm이며, 솔더 범프의 직경은 100 μm, 피치(pitch)간격은 150 μm, 총 1024 I/O(Input/Output) 단자의 Full Grid 형태의 플립칩을 사용하였다. 기판으로 투명한 글래스 기판을 사용하였으며 플립칩 패키징의 집합 높이는 50 μm으로 제작하였다. 언더필의 점도 및 토출 위치가 유동특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 세 종류의 점도 특성(2000~3700 cps)을 가지는 언더필과 토출 위치를 모서리와 중앙부위로 설정하였다. 언더필의 유동특성 및 충전 시간(filling time)은 CCD 카메라를 사용하여 관찰하였다. 실험 결과, 언더필은 솔더 범프에 의한 유동 저항으로 인하여 가장자리 효과(edge effect)가 나타나 칩의 양쪽 측면 유동이 더 빠르게 진전되는 것을 알 수 있었다. 또한, 중앙 부위에서 토출한 경우에 비해 모서리에서 토출한 경우가, 가장자리 효과가 크고 이로 인해 칩의 양쪽 측면 유동이 더 빠르게 진전되어 충전 시간이 더 빠르다는 것을 알 수 있었다. 또한, 점도가 낮을수록, 언더필 유동이 빠르고 가장자리 효과가 크게 나타나며 전체 충전 시간이 감소됨을 알 수 있었다.

**Abstracts:** In this paper, the flow characteristics of underfill material driven by capillary action between flip-chip and substrate were investigated. Also, the effects of viscosity level and dispensing point of underfill on flow characteristics were investigated. Flip chip package size was 5 mm×5 mm×0.65 mm, the diameter of solder bump was 100 μm, and the pitch was 150 μm. It was full grid area-array type with 1024 I/Os. The glass substrate was used and the gap between the chip and substrate was 50 μm. For the experimental study, three different underfills with different viscous properties(2000~3700 cps), and two different types of dispensing methods(center dot and edge dot) were used. The flow characteristics and filling time of underfill were investigated by using CCD camera. The results show that the edge flow was faster than center flow due to the edge effect, which was caused by the resistance of solder bumps. In case of edge dot dispensing type, the filling time was faster due to the large edge effect, compared to center dot dispensing type. Also, it was found that the underfill flow was faster and the filling time decreased as the viscosity level of underfill was decreased.

**Keywords:** Capillary flow, Flip-chip packaging, Fluid filling time, Underfill flow

### 1. 서 론

최근 전자정보통신기기의 진보에 따라 반도체 패키징 기술은 BGA (Ball Grid Array), CSP (Chip Scale Package), FC (Flip-Chip) 등의 패키지의 고집적화 및 경박단소화가 가속화되고 있다.<sup>1,2)</sup> 특히, FC 패키징 기술은 1960년대 초반 IBM에서 처음 개발되어 C4(Controlled Collapse Chip Connection) 기술로 잘 알려져 있다.<sup>3)</sup> FC 패키징 기술은 종래의 칩과 기판을 연결하는 와이어본딩 및 TAB 방법에 비하여 신호의 손실을 최소화 할 수 있으며, I/O 단자를 칩 주변뿐만 아니라 칩 면에 area-array 형태로 칩 내

부 회로상에 형성할 수 있어, 고밀도화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.<sup>4)</sup> 그러나, 실리콘 칩과 기판과의 큰 열팽창계수(CTE: Coefficient of Thermal Expansion)의 차이로 인해 솔더 집합부에 응력이 집중되어 물리적, 열적하중에 취약한 단점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 단점을 보완하기 위하여 언더필 공정을 통하여 언더필 재료를 칩과 기판 사이에 충전시켜 솔더 집합부에 집중된 응력을 완화시켜주며, 외부의 불순물로부터 솔더 집합부를 보호함으로써 신뢰성을 향상시키는 노력을 하고 있다. 이와 같이 언더필 공정은 플립칩 패키징의 신뢰성 확보를 위해 필수불가결한 기술이라 할 수 있다.<sup>5,6)</sup> 언더필 공정 기술

\*Corresponding author  
E-mail: 0326kjm@cau.ac.kr

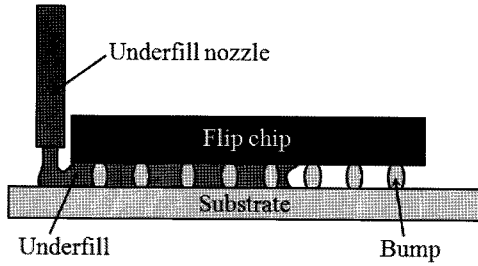


Fig. 1. Underfill process for FC assemblies

은 크게 두 가지로 일반적인 모세관 현상의 유동을 이용한 형태(capillary flow type)과 비유동 형태(no-flow type)의 기술이 사용되고 있다.<sup>7)</sup> 모세관 현상을 이용한 언더필 공정 기술은 Fig. 1에 보인바와 같이 칩의 모서리나 면을 통하여 언더필 재료를 주입하고 칩과 기판 사이의 모세관 작용(capillary action)에 의해 솔더 범프에 의한 미세한 크기의 구멍(cavity)에 충전되어 칩과 기판을 채운 뒤, 경화시켜 언더필 공정을 완료한다.<sup>8)</sup> 이에 반하여 비유동 형태의 언더필 공정은 언더필을 기판 위에 도포한 뒤, 칩을 장착하여 리플로우 공정으로 솔더링과 함께 언더필을 경화시킴으로서 언더필 공정을 완료한다.<sup>9)</sup> 그러나, 이러한 언더필 공정에서 공정 조건이 적합하지 않을 경우, 언더필 내부에 보이드가 형성되거나 칩과 기판의 정렬 오차 등의 문제점들이 발생하게 된다.<sup>10)</sup>

본 연구에서는 플립칩과 기판사이의 모세관 작용에 의한 언더필 공정의 언더필 유동 경향에 대해 살펴보고, 언더필의 점도와 언더필의 토출 위치에 따른 언더필 유동 특성에 대해 살펴보았다.

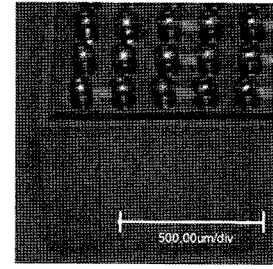
## 2. 실험 방법

### 2.1. 실험 재료

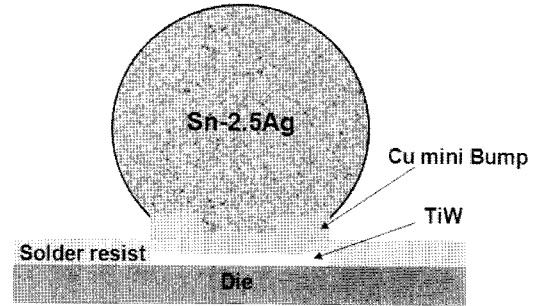
본 연구에서 언더필의 유동특성을 관찰하기 위하여 사용한 시험 시편을 Fig. 2에 나타내었다. 플립칩 패키지의 사이즈는 5 mm×5 mm×0.65 mm, 솔더 조성은 Sn-2.5Ag를 사용하였다. 솔더 범프는 높이 100 μm, 피치(pitch)간격은 150 μm, 총 1024 I/O(Input/Output) 단자의 Full Grid 형태의 플립칩을 사용하였다. 기판으로는 언더필의 유동 흐름을 확인하기 위하여 1 mm 두께의 글래스 기판을 사용하였다. 언더필의 점도에 따른 유동특성을 살펴보기 위하여 서로 다른 점도를 가지는 3종류(2000, 2200, 3700cps)의 에

Table 1. Material Properties

Material property	Type A	Type B	Type C
Viscosity, 25°C(cps)	2000	2200	3700
Specific gravity	1.2	1.3	1.18
Surface tension (N/m)	0.037	0.032	0.027
Filler content (%)	NA	NA	NA
Contact angle on glass substrate (°)	32.5	33.1	41.3



(a) Flip-chip package image



(b) solder bump structure

Fig. 2. FC package and solder bump structures

폭시 타입의 언더필(HENKEL Co.)을 사용하였으며 각각의 언더필 물성치를 Table 1에 나타내었다.

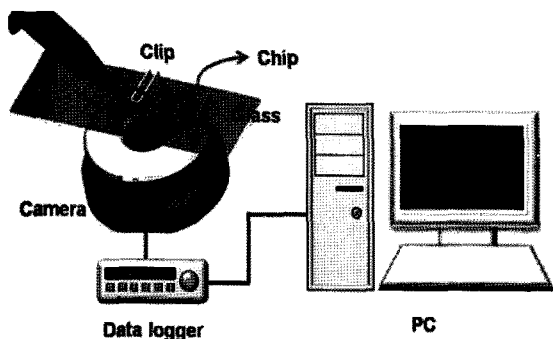
또한, 솔더의 접합높이는 플립칩 패키지를 글래스 기판 상에 장착한 후, 리플로우 공정을 통해 열과 압력을 가하여 50 μm의 접합 높이를 가지는 플립칩을 제작하였다.

### 2.2. 실험 방법

본 연구에서는 플립칩 패키지 공정 내에서 언더필의 유동특성을 관찰하기 위하여 Table 2와 같은 공정변수를 설정하였다. Case 1~Case 3은 언더필의 점도가 언더필의 유동에 미치는 영향을 관찰하기 위한 조건이며 이와 함께 Case 4는 언더필의 토출 위치에 따른 언더필의 유동에 미치는 영향을 관찰하기 위한 조건으로 설정하였다. 먼저, 플립칩을 플립칩 접합 장비(FINEPLASER-96 LAMDA: FINETECH GmbH & Co. KG)를 사용하여 글래스 기판 상에 장착한 후, 플립칩을 고정하였다. 본 실험에서는 글래스 기판 상에 금속패턴을 형성하지 않고 고정 클립을 이용하여 플립칩과 글래스 기판을 밀착시키는 방법을 사용하였다. 이와 같이 밀착된 플립칩과 글래스 기판 사이에 언더필 토출장비(SBD-A101N: SEBA Co.)를 사용하여 언더필이 충분히 칩과 기판을 채울 수 있도록 공급하였다. 언더필의 양은 플립칩에 양호한 필렛이 형성될 수 있는 충분한 양인 약 0.7 mm<sup>3</sup>으로, 토출압력은 0.01 MPa, 토출 시간은 2.9s으로 설정하여 언더필을 토출하였다. 언더필의 토출 위치는 소형 부품에 널리 사용되는 ‘Edge dot’와 ‘Center dot’ 방법을 이용하여 각각 플립칩 한쪽 모서리 및 칩의 중앙에서 토출하였다. 또한, 점성이 다른 언더필 및 토출 위치에 따른 언더필의 유동 특성을 확인하기 위

**Table 2.** Case study for underfill flow experiments

Cases	Dispensing position	Solder height ( $\mu\text{m}$ )	Underfill
Case 1			Type A
Case 2	Edge	50	Type B
Case 3			Type C
Case 4	Center	50	Type A

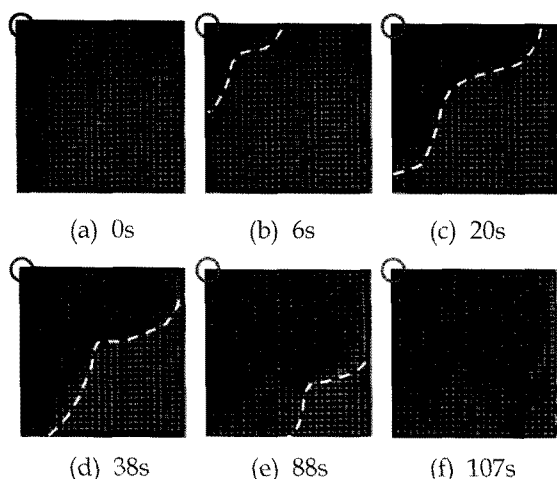


**Fig. 3.** Experimental setup

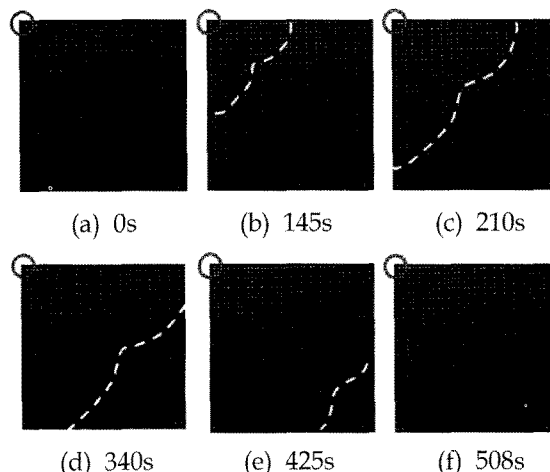
하여, Fig. 3에 보인바와 같이 CCD카메라를 투명한 글래스기판 하부에 장착하여, 언더필의 유동 선단을 포함한 시간에 따른 언더필의 유동 흐름 특성 및 충전 시간을 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

플립칩과 기판간의 모세관 작용에 의해 플립칩 패키지의 모서리로부터 언더필이 채워지는 언더필의 유동 경향을 Fig. 4에 나타내었다. 언더필은 Type A 재료로 언더필의 점도는 2000 cps이다. 그림에서 보는 바와 같이, 언더필이 완전히 충전되는 시간은 약 107s이며, 가장자리 효과(edge effect)로 인해 칩의 양쪽 측면 유동이 가운데 유동에 비해 더 빠르게 진전됨을 알 수 있었다. 이러한 언더필의 유동 경향은 중앙 부위에서의 언더필의 유동 저



**Fig. 4.** Flow characteristic of underfill(Case 1)

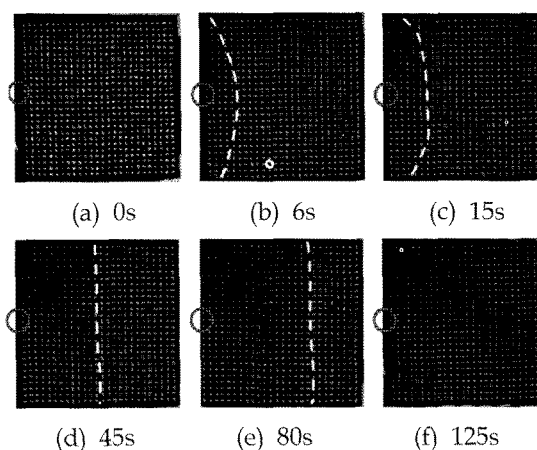


**Fig. 5.** Flow characteristic of underfill(Case 3)

항이 측면 부위의 유동 저항보다 커 측면 부위의 유동이 더욱 빠르게 진전되는 것을 알 수 있다. 이러한 유동 경향은 패드간 피치 간격이 좁을수록 솔더 범프의 유동 저항성(flow resistance)이 크게 되어, 칩의 측면으로 유동이 더욱 빨라진다고 알려져 있다.<sup>11,12) 결과적으로, 이러한 유동경향으로 인하여 언더필 내부에 보이드가 발생하게 되는 원인이 된다.<sup>13)</sup></sup>

이에 반하여 점도가 큰 Type C 재료 (3700 cps)의 경우, Fig. 5와 같이 점도가 낮은 Type A 재료와 마찬가지로 칩의 측면으로 유동이 더욱 빠른 가장자리 효과가 나타나지만, 유동속도의 저하로 인하여 솔더 범프에 의한 유동 저항성이 작아진 것을 알 수 있다. 이러한 칩의 측면 부위로의 빠르게 진전되는 유동 특성은 언더필의 점도가 낮을수록 또한, 범프의 피치 간격이 작아질수록 솔더 범프에 의한 유동 저항성이 작아져, 초기 토출된 언더필이 칩의 가장자리를 따라 진전되고 이로 인해 가장자리 효과가 더욱 현저히 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 6에 칩의 중앙 부위에서 언더필을 토출하였을 경우의 언더필 유동 경향을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 초기 토출된 언더필이 중앙 부위의 가장자리를



**Fig. 6.** Flow characteristic of underfill(Case 4)

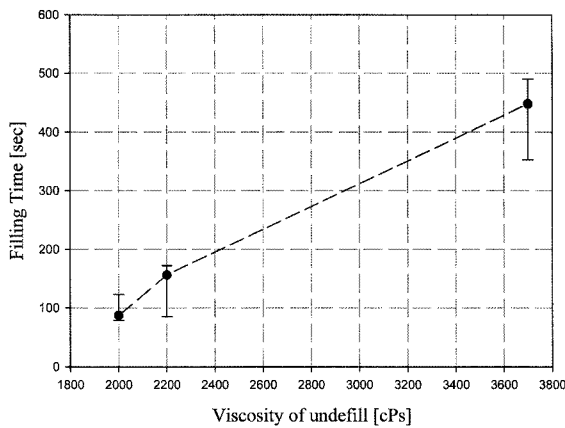


Fig. 7. Effect of underfill viscosity on filling time

따라 진전된 후, 칩의 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 서서히 충전되어 가는 언더필 유동 선단을 볼 수 있다. 이는 초기 토출된 언더필이 중앙부위로 진전되고 시간이 경과함에 따라 솔더 범프에 의한 유동 저항이 발생하여 가장자리 효과에 의해 측면 유동이 진전되어 발생한 것으로 판단된다. 이로 인해, 결과적으로 언더필의 토출 이후, 약 45 s에는 칩의 중앙부위의 유동 선단과 상하부위의 유동 선단이 거의 같아졌음을 볼 수 있다. 이러한 유동 경향은, 모서리 부위에서 토출한 경우와 매우 유사한 유동 경향을 보이고 있으며, 솔더 범프 간 피치 간격이 작을수록, 또한, 언더필의 점도가 낮을수록 더욱 현저히 나타날 것으로 판단된다.

일반적으로 언더필의 충전 시간 및 유동 선단의 위치 등을 예측하기 위한 언더필 유동 해석은 Washburn 모델<sup>14)</sup>이 널리 사용되고 있다. 이 모델에서 언더필의 유동 선단의 위치  $x_f$ 는 다음과 같다.

$$x_f^2 = \frac{\sigma h \cos \theta}{3\mu} t \quad (1)$$

여기서,  $\sigma$ 는 언더필의 표면장력,  $t$ 는 시간,  $\theta$ 는 접촉각,  $\mu$ 는 언더필의 점도,  $h$ 는 패키지와 기관간의 거리를 나타낸다. 언더필의 충전 시간  $t_f$ 는 식 (1)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_f = \frac{3\mu L^2}{\sigma h \cos \theta} \quad (2)$$

여기서,  $L$ 은 언더필이 채워져야 할 길이를 나타낸다. 식 (2)에서 보는 바와 같이 언더필의 충전 시간은 언더필의 점도가 낮을수록, 플립칩과 기관간의 거리가 클수록 동일한 시간에 언더필의 유동 선단의 진전 거리가 크고, 빠른 시간에 언더필이 충전되는 것을 예측할 수 있다.

Fig. 7은 언더필의 점도에 따른 충전 시간을 측정한 결과를 나타내었다. 언더필의 충전 시간은 언더필이 플립칩 패키지 내부로 완전히 채워질 때까지 걸린 시간을 측정

Table 3. Experimental results

Cases	Dispensing position	Solder height ( $\mu\text{m}$ )	Underfill	Filling time (s)
Case 1			Type A	87 $\pm$ 22
Case 2	Edge	50	Type B	156 $\pm$ 32
Case 3			Type C	448 $\pm$ 44
Case 4	Center	50	Type A	125 $\pm$ 15

하였으며, 각 실험을 5회 반복 시행하여 그 평균값을 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이, Washburn 모델의 이론식(1)과 (2)에서 예측할 수 있듯이 점도가 높아질수록 충전 시간이 길어짐을 알 수 있다. Type A 언더필(2000 cps)의 경우, 플립칩 패키지 내부로 완전히 채워지는데 필요한 시간은 평균 약 87s, Type B(2200 cps)는 약 156 s, Type C(3700 cps)는 약 448 s가 소요되었다. 또한, 칩의 중앙 부위에서 토출한 경우(Case 4), Table 3에 나타난 바와 같이 충전 시간은 평균 약 125 s로, 동일 재료를 이용하여 모서리에서 토출한 경우(Case 1)에 비해 충전 시간이 약 1.44배 증가한 것을 알 수 있다. 이는 동일 재료의 언더필을 사용하더라도 토출하는 위치에 따라, 솔더 범프에 의한 유동 저항성으로 인한 가장자리 효과로 인해 중앙부위의 유동보다 칩의 가장자리로 유동이 빨리 진전되는 유동 경향은 동일하지만, 모서리에서 토출한 경우가 이러한 유동 경향이 더욱 크게 나타남을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 플립칩 패키징의 신뢰성 향상을 위한 언더필 공정에서의 플립칩과 기관사이의 모세관 작용에 의한 언더필 공정의 언더필 유동 경향에 대해 살펴보았다. 또한, 언더필의 점도와 언더필의 토출 위치에 따른 언더필 유동특성에 대해 살펴보았다.

플립칩 패키징의 언더필은 플립칩과 기관간의 모세관 작용에 의하여 언더필이 채워져 나가며, 솔더 범프의 유동 저항에 의하여 토출된 언더필은 칩의 모서리 부위로 빠르게 진전되어 가는 모서리 효과가 나타나며, 이로 인하여 칩의 중앙부위의 유동보다 칩의 모서리 유동이 빨리 진전되는 것을 알 수 있었다. 이러한 유동 경향은 언더필의 점도 및 토출 위치와 상관없이 같은 경향을 나타내지만, 언더필의 점도가 낮을수록, 칩의 모서리 부위에서 언더필을 토출하였을 경우가 가장자리 효과가 더 크게 나타나며 충전 시간이 빨라지는 것을 알 수 있었다.

이러한 현상은 언더필의 점도가 낮아질수록, 또한 솔더 범프 간 피치 간격이 작아질수록 더욱 크게 발생하며, 이로 인하여 기공이 발생하는 치명적인 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 언더필 공정에 따른 유동 경향을 올바르게 이해하고, 언더필 공정온도 및 접합부의 형상 등에 대한 보다 체계적인 연구가 필요할

것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10890)과 2007년도 중앙대학교 우수연구자연구비 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. I. Anjoh, A. Nishimura and S. Eguchi, "Advanced IC Package for the Future Applications", IEEE Trans. Electron. Devices, 45(3), 743(1998)
2. C. P. Wong and M. M. Wong, "Recent Advances in Plastic Packaging of Flip-Chip and Multichip Modules (MCM) of Microelectronics", IEEE Trans. Comp. Packag. Technol., 22(1), 21(1999)
3. L. S. Goldmann, "Geometric Optimization of Controlled Collapse Interconnections", IBM J. Res. Develop., 13, 210(1969)
4. D. F. Baldwin, "Fundamentals of IC Assembly", in Fundamentals of Microsystems Packaging, R. R. Tummala, Eds., pp.342-397, McGraw-Hill, New-York(2001)
5. R. W. Johnson, "Flip Chip Assembly and Underfilling", in Area Array Packaging Processes, K. Gilleo, Eds., pp.99-142, McGraw-Hill, New York(2004)
6. D. Suryanarayana, R. Hsiao, T. P. Gall and J. J. McCreary, "Enhancement of Flip-Chip Fatigue Life by Encapsulation", IEEE Trans. Compon. Hybrids Manuf. Technol., 14(1), 218(1991)
7. Z. Zhang and C. P. Wong, "Recent Advances in Flip-Chip Underfill: Materials, Process, and Reliability", IEEE Trans. Adv. Packag., 27(3), 515(2004)
8. J. W. Wan, W. J. Zhang and D.J. Bergstrom, "Experimental Verification of Models for Underfill Flow Driven by Capillary Forces in Flip-Chip Packaging", Microelec. Relia., 48, 425(2008)
9. S. Lee, M. J. Yim, R. N. Master, C. P. Wong and D. F. Baldwin, "Void Formation Study of Flip Chip in Package Using No-Flow Underfill", 31(4), 297(2008)
10. T. Hashimoto, T. Shin-ichiro, K. Morinishi and N. Satofuka, "Numerical Simulation of Conventional Capillary Flow and No-Flow Underfill in Flip-Chip Packaging", Computers & Fluids, 37, 520(2008)
11. W.-B. Young, "Anisotropic Behavior of the Capillary Action in Flip Chip Underfill", Microelectron. J., 34, 1031(2003)
12. Y. K. Shen, C. M. Ju, Y. J. Shie and H. W. Chien, "Resin Flow Characteristics of Underfill Process on Flip Chip Encapsulation", Int. Comm. Heat Mass Transfer, 31(8), 1075(2004)
13. P. S. Ho, Z. P. Xiong and K. H. Chua, "Study on Factors Affecting Underfill Flow and Underfill Voids in a Large-die Flip Chip Ball Grid Array (FCBGA) Package", 2007 9th Electron. Packag. Technol. Conf., 640(2007)
14. E. W. Washburn, "The Dynamics of Capillary Flow", Phys. Rev., 17(3), 273(1921)