

## Solderable 이방성 도전성 접착제를 이용한 BGA 접합공정 개발

임병승·이정일·오승훈·채종이·황민섭·김종민<sup>†</sup>

<sup>†</sup>중앙대학교 기계공학부

### Development of BGA Interconnection Process Using Solderable Anisotropic Conductive Adhesives

Byung-Seung Yim, Jeong Il Lee, Seung Hoon Oh, Jong-Yi Chae, Min Sub Hwang and Jong-Min Kim<sup>†</sup>

<sup>†</sup>School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

#### ABSTRACT

In this paper, novel ball grid array (BGA) interconnection process using solderable anisotropic conductive adhesives (SACAs) with low-melting-point alloy (LMPA) fillers have been developed to enhance the processability in the conventional capillary underfill technique and to overcome the limitations in the no-flow underfill technique. To confirm the feasibility of the proposed technique, BGA interconnection test was performed using two types of SACA with different LMPA concentration (0 and 4 vol%). After the interconnection process, the interconnection characteristics such as morphology of conduction path and electrical properties of BGA assemblies were inspected and compared. The results indicated that BGA assemblies using SACA without LMPA fillers showed weak conduction path formation such as solder bump loss or short circuit formation because of the expansion of air bubbles within the interconnection area due to the relatively high reflow peak temperature. Meanwhile, assemblies using SACA with 4 vol% LMPAs showed stable metallurgical interconnection formation and electrical resistance due to the favorable selective wetting behavior of molten LMPAs for the solder bump and Cu metallization.

**Key Words** : BGA interconnection process, Electrically conductive adhesive, Low-melting-point alloy, Polymer composite, Reduction capability, Underfill materials

#### 1. 서 론

BGA (Ball grid array) 패키지에 대한 underfill 공정의 주요한 적용 목적은 패키지에 가해지는 내외부 환경적 진동이나 충격으로부터 솔더 접합부의 기계적 보호를 제공하는 것이다. 현재 전자 패키지 산업에서 가장 폭넓게 적용되고 있는 상용 underfill 공정 방식은 capillary underfill 공정

으로 접합이 완료된 BGA 패키지의 모서리에 underfill을 도포하여 underfill의 모세관 유동 (Capillary flow)에 의해 패키지과 기판 사이의 빈 공간을 채우고 경화에 의해 기계적 신뢰성을 확보한다 [1]. 그러나 capillary underfill 공정을 적용하는 BGA 접합공정은 금속 표면의 산화막 제거를 위한 플럭스 (Flux) 도포, PCB 상의 BGA 정렬 및 실장, 리플로우 (Reflow) 솔더링 공정과 BGA 접합이 완료된 후 underfill 공정을 위한 underfill의 도포 및 침투, underfill 경화를 위한 가열 등의 복잡한 공정들로 인해 높은 공정 비용 및 공정 시간이 발생하여 공정 효율성을 감소시키는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 복잡한 capillary underfill 공정

<sup>†</sup>E-mail: 0326kjm@cau.ac.kr

을 간소화하기 위해 BGA 접합과 underfill 공정을 동시에 수행하는 no-flow underfill 공정 방식이 제안되어 연구가 수행되어왔다 [2,3] 그러나, 현재까지 진행된 no-flow underfill 공정에 관한 연구들은 underfill 재료의 경화 온도 및 솔더 재료의 용융 온도 간의 불일치에 의한 취약한 접합부 형성, 접합부 내부의 기포 발생으로 인한 패키지 들뜸 현상 등의 문제들로 인해 BGA 접합공정에 대한 폭넓은 적용에 제약을 받고 있다 [4,5].

본 논문에서는 BGA 접합공정에 적용되고 있는 capillary underfill 방식 및 no-flow underfill 방식에서의 문제점들을 개선하기 위해 저융점 합금 (Low-melting point alloy: LMPA) 필러를 포함하는 solderable 이방성 도전성 접착제 (Solderable anisotropic conductive adhesive: SACA)를 적용한 새로운 BGA 접합공정 방식을 제안하고 이에 대한 실현 가능성을 평가하였다.

## 2. SACA를 이용한 BGA 접합 메커니즘

본 논문에서 제안하는 SACA를 이용한 BGA 접합 메커니즘을 Fig. 1에 나타내었다. SACA는 환원 특성을 갖는 고분자 복합소재와 LMPA 입자로 구성된다. PCB와 BGA 사이에 공급된 SACA에 열을 가하면 고분자 복합소재의 점성이 낮아지게 되고, 공정 온도가 LMPA의 용점에 도달하면 필러가 용융된다. 환원제의 화학 반응으로 외부의 산화막이 제거된 용융 LMPA는 고분자 내부에서의 유동 및 인접 필러 간의 접촉에 의해 융합하여 거대 구상 필러로 성장하고, 기판과 전극단자 간의 젖음성 (Wettability) 차이에 의한 선택적 젖음 거동에 의해 전극단자와 솔더 범프 사이에 응집하여 금속학적 도전 경로를 형성하고 고분자의 경화에 의해 최종 접합을 완료하게 된다.

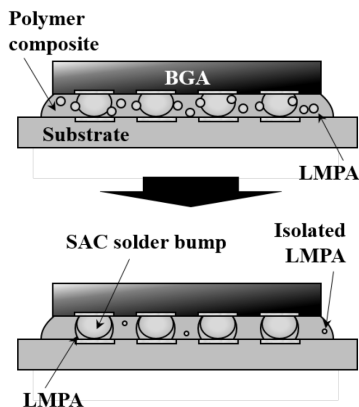


Fig. 1. Schematic of BGA interconnection mechanism using SACA.

## 3. 실험재료 및 실험방법

### 3.1 실험재료

SACA의 합성을 위해 고분자 복합소재의 기반 재료인 바인더로는 DGEBA (Diglycidyl ether of bisphenol A)가 사용되었으며, 경화제와 촉매제로 DDM (4,4'-diaminodiphenylmethane)과 BF<sub>3</sub>MEA (Boron trifluoro-mono-ethylamine)가 각각 사용되었다. 또한, LMPA 입자와 패키지의 솔더 범프, 기판의 전극단자 표면의 산화막을 제거하기 위해 카르복시산이 환원제로 사용되었다. 고분자 복합소재 내부에 분산된 LMPA는 30 μm의 지름을 갖는 Sn-58Bi 공정 솔더 (T<sub>m</sub>: 138°C)가 사용되었다. 평가에 적용된 SACA의 구성 성분을 Table 1에 나타내었다. 합성된 SACA의 접합공정 개발을 위해 사용된 BGA는 8×8×1 mm의 크기에 450 μm의 지름을 갖는 64개의 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더 범프가 800 μm의 피치 간격으로 정렬되어있다. PCB (Printed circuit board)는 20×20×1 mm의 크기에 380 μm의 지름을 갖는 Cu 전극단자가 형성되어 있으며 전기적 특성을 평가하기 위해 BGA와 PCB에 각각 테이저체인이 설제되어있다.

Table 1. Components of formulated SACAs

Components	Detail
Binder	DGEBA
Curing Agent	DDM
Catalyst	BF <sub>3</sub> MEA
Reductant	Carboxylic acid
LMPA	Sn-58Bi

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1 DSC 분석

합성된 고분자 복합소재의 온도에 따른 경화 특성 및 솔더 입자들 (Sn-58Bi, Sn-3Ag-0.5Cu)의 용융 특성을 평가하기 위해 시차주사열량 분석 (Differential scanning calorimetry: DSC)을 수행하였다. DSC 분석은 dynamic scan mode에서 수행되었으며 분석 대상 시료를 DSC 팬에 넣고, 공기를 제거한 질소 (N<sub>2</sub>) 가스 분위기에서 승온 속도 10°C/min으로 실온에서부터 300°C까지 가열하면서 대상 시료의 열유속을 측정하였다.

#### 3.2.2 솔더 파우더 젖음성 평가

SACA를 구성하는 고분자 복합소재 내부에서의 용융 LMPA의 융합 및 전극단자에 대한 선택적 젖음 특성을 평가하기 위해 솔더 파우더 젖음성 평가를 수행하였다. 평가를 위해 원형 Cu 전극단자가 형성된 BGA용 PCB 상

에 메탈 마스크를 정렬시킨 후, 직경 30  $\mu\text{m}$ 의 Sn-58Bi 솔더 파우더가 30 vol%로 분산된 SACA를 스퀴지 방식으로 균일 도포하였다. SACA의 도포가 완료된 후 hotplate를 사용하여 리플로우를 수행하였으며, 평가가 완료된 후 단면 가공을 수행하여 기판 상의 전극 표면에 대한 LMPA의 선택적 젖음 특성 및 형상 균일도를 평가하였다.

### 3.2.3 SACA를 이용한 BGA 접합 테스트

SACA를 이용한 BGA 접합의 실현 가능성을 평가하기 위해 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더 범프가 형성된 BGA 패키지에 대한 접합 테스트를 수행하였다. SACA 내부에 포함되는 LMPA의 함유량은 양호한 BGA 접합부를 형성하는 데에 중요한 변수로 작용한다. LMPA의 함량이 부족한 경우 도전 경로가 형성되지 못하는 개회로를 형성할 수 있으며, LMPA가 과도하게 공급되는 경우 인접 전극단자 간에 단락이 형성될 수 있다. 본 연구진은 LMPA의 함유량에 따른 예비 테스트를 통해 LMPA를 0, 4 vol%로 함유하는 두 종류의 SACA를 합성하였다. BGA 접합 테스트를 위해 세정이 완료된 PCB 상에 메탈 마스크를 정렬시키고 스퀴지 방식으로 전극단자 상부에 SACA를 공급하였다. SACA의 공급이 완료된 후, BGA 패키지 시편을 기판 전극단자와 정렬하여 실장하고 DSC 분석 결과를 통하여 결정된 온도 프로파일에 따라 리플로우 공정을 수행하였다. SACA를 이용한 BGA 접합공정이 완료된 후, X-ray 투과분석 및 단면 가공을 통한 도전 경로 형상 분석을 수행하여 BGA 접합공정에 대한 SACA의 적용 타당성을 평가하였다. 또한, SACA에 의해 접합된 BGA 접합부의 전기적 특성을 평가하기 위해 멀티미터를 이용하여 전기저항을 측정하였으며, 그 결과를 capillary underfill 방식에 의해 접합된 BGA 패키지와 비교하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 DSC 분석결과

합성된 고분자 복합소재 및 두 종류의 솔더 입자들 (Sn-58Bi, Sn-3Ag-0.5Cu)에 대한 DSC 분석결과를 Fig. 2에 나타내었다. 결과에서 확인할 수 있는 바와 같이 합성된 고분자 복합소재의 경화 개시와 경화 피크 온도는 각각 127°C 및 198.86°C로 나타났으며, Sn-58Bi와 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더의 용융 피크 온도는 각각 141.34°C 및 219.98°C를 나타내었다. 이와 같은 결과를 통하여 LMPA인 Sn-58Bi의 용접 부근의 온도 영역에서 고분자 복합소재의 경화는 많이 진전되지 않으며 용융된 LMPA는 낮은 점도를 유지하고 있는 고분자 복합소재 내부에서의 원활한 유동, 융합 및 젖음 거동에 의해 양호한 도전 경로를 형성할 수 있을 것

이라 예상할 수 있다. 고분자 매트릭스와 솔더 재료들에 대한 DSC 분석 결과를 바탕으로 SACA를 이용한 BGA 접합공정에 적용할 리플로우 온도 프로파일을 설계하였다. 온도 프로파일에 따라 SACA가 적용된 BGA 시편은 LMPA의 유동, 융합 및 젖음 거동에 의한 도전 경로 형성 및 고분자의 경화를 위해 승온 속도 60°C/min으로 리플로우 온도인 150°C까지 가열하여 5분간 유지된 후, 상온으로 냉각된다. 단, LMPA를 포함하지 않는 SACA의 경우는 LMPA의 부재로 인해 기존의 no-flow underfill 재료와 동일한 개념의 접합 메커니즘으로 접합이 이루어지므로 솔더 범프의 용융에 의한 접합부 형성을 위해 BGA 솔더 범프의 용점 (219.98°C) 이상인 260°C까지 가열하여 접합을 수행하였다.

### 4.2 솔더 파우더 젖음 특성

SACA를 적용한 BGA 접합공정 시 용융 LMPA 입자들의 전극단자 및 솔더 범프에 대한 선택적 젖음 거동이 불균일하게 발생하는 경우 과도한 양의 LMPA 입자들이 젖음에 참여한 영역에서는 인접 전극단자 간의 단락이 형성될 수 있으며, 상대적으로 적은 양의 LMPA 입자들이 젖음에 참여한 영역에서는 LMPA의 부족으로 도전 경로가 형성되지 못하는 개회로를 형성하거나 접합 면적이 매우 좁은 신뢰성이 취약한 도전 경로를 형성하는 잠재적인 위험성을 내포하게 된다. 따라서, SACA를 적용한 BGA 접합공정을 통해 신뢰할 수 있는 접합부를 확보하기 위해서는 접합 영역 내에서 LMPA 입자의 전극단자에 대한 균일한 선택적 젖음 거동 특성이 필수적으로 요구된다.

전극단자에 대한 솔더 파우더의 젖음성 평가 결과를

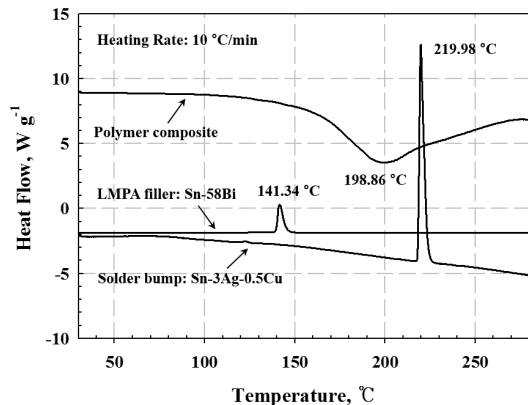


Fig. 2. Dynamic DSC analysis results for the polymer composite and solder materials.

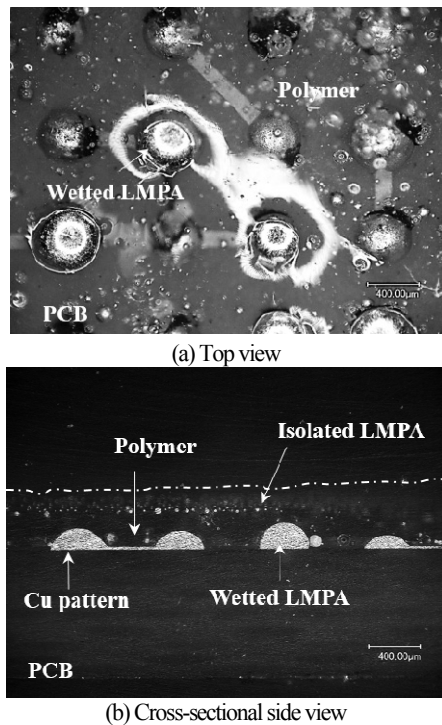


Fig. 3. Wetting morphology of LMPA filler on the Cu pattern.

Fig 3에 나타내었다. Figure 3(a)에서 확인할 수 있는 바와 같이 초기에 고분자 복합소재 내부에 균일하게 분산되어 있던 LMPA 입자들은 온도와 시간의 변화에 따른 용융 및 유동에 의한 인접 LMPA 간의 융합 거동과 전극단자에 대한 선택적인 젖음 거동에 의해 Cu 전극단자 위로 집중된 것을 확인할 수 있다. 또한, 단면 가공 결과인 Fig 3(b)에서 나타낸 바와 같이 LMPA의 선택적 젖음 거동에 의해 전극단자 상에 집중된 LMPA는 매우 균일한 형상과 크기를 나타냄을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과들을 통하여, SACA를 이용한 BGA 접합공정 시에 LMPA 입자들의 균일한 젖음 거동에 의해 균일하고 양호한 접합부를 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 4.3 SACA 를 이용한 BGA 접합특성

SACA를 이용한 접합공정이 완료된 BGA에 대한 X-ray 분석 결과를 Fig 4에 나타내었다. 결과에서 나타낸 바와 같이 LMPA를 포함하지 않는 SACA를 적용한 경우 BGA 접합시편의 솔더 범프 중 일부가 초기의 솔더 범프 형상과 비교하여 감소된 크기 및 흐려진 명암 차이를 나타내어

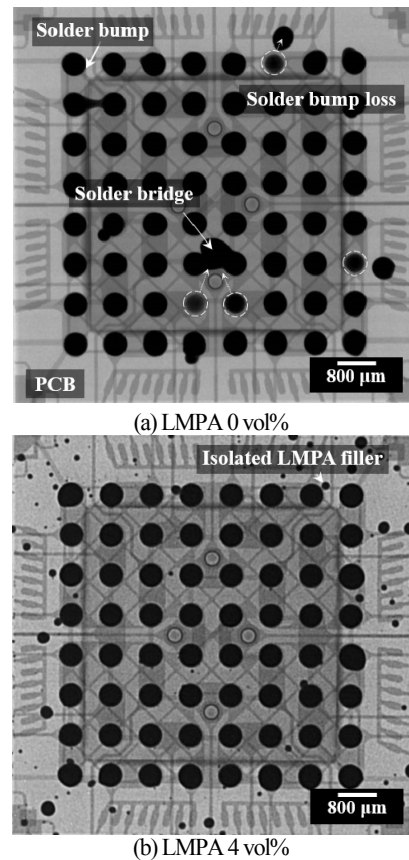
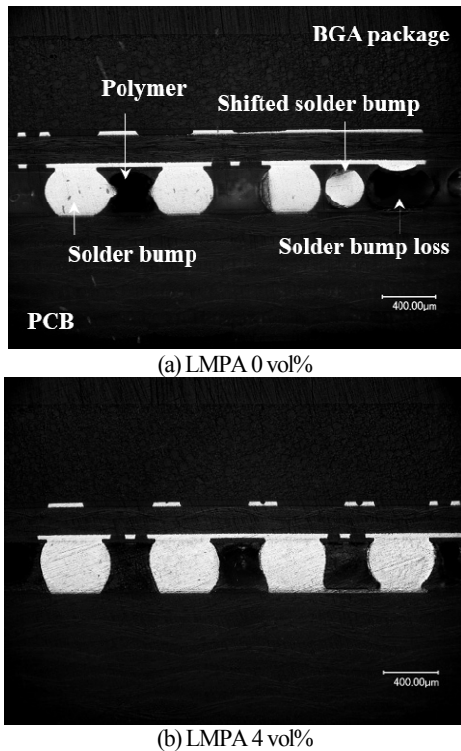


Fig. 4. X-ray photographs of the BGA assemblies using SACAs with different LMPA contents.

초기 전극단자 위치에서 유실되어 외부로 이동된 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 유실되어 이동된 솔더 범프는 인접 단자에 대한 단락을 형성한 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 상대적으로 높은 리플로우 온도에 의한 접합부 내부에 분포하는 기포의 팽창에 기인하는 것으로 판단된다. 이에 반하여, Fig 4(b)에 나타낸 LMPA를 함유하는 SACA의 경우에는 솔더 범프의 유실이나 단락의 형성 없이 균일한 접합부 형상을 나타냄을 확인할 수 있다. 또한, 비젖음 영역인 솔더 범프 사이의 PCB 영역 내부에 잔존하는 LMPA 입자들이 매우 소량으로 발견되어 리플로우 공정 시 대부분의 용융 LMPA들이 전극단자에 대한 양호한 선택적 젖음 거동에 의해 도전 경로 형성에 참여하였음을 확인할 수 있다.

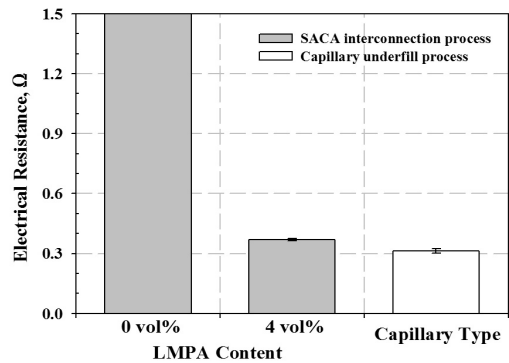




**Fig. 5.** Morphologies of the conduction path between BGA package and PCB metallization using SACAs with different LMPA contents.

SACA를 이용한 BGA 접합시편의 단면 가공 결과를 Fig. 5에 나타내었다. X-ray 분석 결과에서 확인된 바와 같이 LMPA를 포함하지 않는 SACA를 적용한 BGA 접합시편의 경우에는 솔더 범프의 용융을 위해 가해진 높은 리플로우 온도에 의한 접합부 내부 기포의 팽창에 기인하여 도전 경로 중 일부가 유실되어 개회로를 형성하였다. 이에 반하여, Fig. 5(b)에 나타낸 LMPA를 함유하는 SACA의 경우에는 상대적으로 낮은 공정 온도로 인해 과도한 기포 형성에 기인하는 솔더 범프의 유실이나 인접 단자간의 단락이 발생하지 않았으며, LMPA의 양호한 젖음 거동으로 인하여 넓고 안정적인 도전 경로를 형성한 것을 확인할 수 있다.

SACA를 이용한 BGA 접합시편의 전기저항 측정 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 앞선 평가들에서 확인된 바와 같이 LMPA를 포함하지 않는 SACA에 의해 접합된 BGA는 취약한 접합부 형성으로 인해 매우 취약한 전기적 특성을 나타내었다. 이에 반하여, LMPA가 함유된 SACA의 경우에는 LMPA에 의한 넓고 안정적인 도전 경로 형성에 기인하여 capillary underfill 방식에 의해 접합된 BGA 접합시



**Fig. 6.** Electrical resistance of the BGA assemblies.

편 ( $0.312 \Omega$ )과 거의 유사한 낮고 안정적인 전기저항 ( $0.369 \Omega$ )을 나타내었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 BGA 패키지의 접합공정에 적용되고 있는 capillary underfill 방식에서의 공정의 복잡성, 오랜 공정 시간 및 이에 따른 높은 공정 비용 등의 문제점과 no-flow underfill BGA 접합공정에서의 underfill 재료와 솔더 재료의 열적 특성 불일치에 의한 취약한 접합부 형성, 고온 공정에서의 기포 발생으로 인한 패키지의 들뜸 및 솔더 범프의 밀림 현상 등의 문제점들을 개선하기 위해 LMPA를 포함하는 SACA를 적용한 새로운 개념의 BGA 접합공정 방식을 제안하고 이에 대한 실현 가능성을 평가하였다. LMPA의 함유 유무에 따른 SACA에 의해 접합된 BGA 접합시편에 대한 도전 경로 형상 및 전기적 특성을 평가한 결과, LMPA를 포함하지 않는 SACA의 경우 높은 리플로우 온도에 의한 접합부 내부 기포의 팽창에 기인하여 취약한 접합부를 형성한 반면, LMPA를 포함하는 SACA의 경우 낮은 공정 온도 및 LMPA의 양호한 선택적 젖음 거동으로 인하여 안정적인 도전 경로 및 전기적 특성을 확보함을 확인하였다. 이와 같은 결과들을 통하여 본 연구에서 제안하는 SACA를 적용한 BGA 접합공정은 상용 capillary underfill 공정 방식과 no-flow underfill 공정 방식의 문제점들을 해결하면서 안정적인 접합부를 형성할 수 있는 접합공정이라는 사실을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2014007164) 및 중소기업청의 이전기술개발사업 (S2332832)의 지원을 받아

연구되었으며 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Kim, Y. B., and Sung, J., "Capillary-Driven Micro Flows for the Underfill Process in Microelectronics Packaging", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 12, pp. 3751-3759, 2012.
2. Tu, P. L., Chan, Y. C., and Hung, K. C., "Reliability of MicroBGA Assembly Using No-Flow Underfill", *Microelectronics Reliability*, Vol. 41, pp. 1993-2000, 2001.
3. Lee, S., Yim, M. J., Master, R. N., Wong, C. P., and Baldwin, D. F., "Void Formation Study of Flip Chip in Package Using No-Flow Underfill", *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol. 31, pp. 297-305, 2008.
4. Wong, C.P., Baldwin, D., Vincent, M. B., Fennell, B., Wang, L. J., and Shi, S. H., "Characterization of a No-Flow Underfill Encapsulant During the Solder Reflow Process", 48<sup>th</sup> IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp. 1253-1259, 1998.
5. Pascarella, N. W., and Baldwin, D. F., "Compression Flow Modeling of Underfill Encapsulants for Low Cost Flip-Chip Assembly", *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C*, Vol. 21, pp. 325-335, 1998.

---

접수일: 2016년 10월 19일, 심사일: 2016년 12월 16일,  
게재확정일: 2016년 12월 26일