

비전도성 접착제가 사용된 플립칩 패키지의 신뢰성에 관한 연구

노보인 · 이종범 · 원성호¹ · 정승부*

성균관대학교 신소재공학부, ¹성균관대학교 마이크로전자패키징 사업단

Characteristics of Reliability for Flip Chip Package with Non-conductive paste

Bo-In Noh, Jong-Bum Lee, Sung-Ho Won¹ and Seung-Boo Jung*

School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

¹Micro Electronic Packaging Consortium, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

초 록: 본 연구에서는 가속화 조건에서의 비전도성 접착제가 사용된 플립칩 패키지의 열적 신뢰성에 관하여 평가하였다. 실리콘 칩에 17 μm 두께의 Au 범프를 형성하고 무전해 Ni/Au 도금과 Cu 패드의 두께가 각각 5 μm 와 25 μm 로 형성된 연성 기판을 사용하여 플립칩 패키지를 형성하였다. 유리전이온도가 72°C인 비전도성 접착제를 사용하여 플립칩을 접합시킨 후 열충격 시험과 항온항습 시험을 실시하였다. 열충격 사이클과 항온항습 유지 시간이 증가할수록 플립칩 패키지의 전기 저항이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Au 범프와 Au 범프 사이의 균열, 칩과 비전도성 접착제 또는 기판과 비전도성 접착제 사이의 층간 분리에 의한 것으로 사료된다. 또한 항온항습 하에서의 전기 저항의 변화가 열충격 하에서보다 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서 비전도성 접착제가 사용된 플립칩 패키지는 온도보다 습기에 더욱 민감하다는 것을 알 수 있었다.

Abstract: In this study, the thermal reliability on flip chip package with non-conductive pastes (NCPs) was evaluated under accelerated conditions. As the number of thermal shock cycle and the dwell time of temperature and humidity condition increased, the electrical resistance of the flip chip package with NCPs increased. These phenomenon was occurred by the crack between Au bump and Au bump and the delamination between chip or substrate and NCPs during the thermal shock and temperature and humidity tests. And the variation of electrical resistance during temperature and humidity test was larger than that during thermal shock test. Therefore it was identified that the flip chip package with NCPs was sensitive to environment with moisture.

Keywords: Non-conductive paste, Flip chip package, Electrical resistance, Reliability

1. 서 론

21세기는 환경적인 시대임과 동시에 소비자의 요구에 따른 전자 제품의 수명이 매우 짧은 시대이다. 전자 부품과 기기의 경박단소화 및 다기능화가 급속히 진행됨에 따라 전자 디바이스 패키지는

기본적으로 다핀, 미세 피치화의 방향으로 진행되고 있다. 따라서 전자 패키지에서 칩 접속 기술의 당면 과제는 접속 밀도(단위 면적당 접속 수)를 증가시키는 것이다. 따라서 칩 제조 분야에서도 칩 자체의 미세화, 집적화가 진행되고 있으며, 이와 함께 패키지 분야에서도 경박단소화된 새로

*Corresponding author
E-mail: sbjung@skku.ac.kr

은 패키지의 실장 방법이 개발되어 왔다.

부품에 있어 패키지 타입의 변화는 과거의 QFP (quad flat package), BGA(ball grid array)로부터 CSP(chip scale package) 및 플립칩(flip chip) 패키지의 형태로 발전해 오고 있다. 플립칩 기술이란 다양한 재료(solder bump, conductive polymer film and paste 등) 및 방법(deposition, plating, ball, screen printing 등)을 이용한 접속(interconnection)을 통하여 칩의 표면이 기판을 향하도록 하여(face-down) 칩을 기판에 실장하는 기술이다. 기존의 와이어 본딩(wire bonding)은 주변 정렬(peripheral array) 방식으로 면 정렬(area array) 방식인 플립칩에 비해 입력(input)/출력(output) 신호의 제약이 크다. 또한 플립칩 패키지는 소자와 기판 사이의 외부 노이즈(noise), 캐패시턴스(capacitance) 및 인덕턴스(inductance) 값이 기존의 패키지에 비하여 월등히 작기 때문에 고주파 소자(radio-frequency device)의 패키지에 적합하다.¹⁻³⁾

또한 이런 기술적인 발전과 동시에 솔더를 이용한 접합법의 한계가 발생하게 되었고 접착제를 이용한 접합 공정 기술이 발전하게 되었다. 접착제를 이용한 공정은 솔더를 이용한 공정에 비해 단순하며 저가의 공정비가 소요되고 친환경적이라는 점에서 각광을 받고 있다. 전기 전도성 접착제는 사용되는 접착제의 특성과 전도 방식에 따라 등방성 전도성 접착제(isotropically conductive adhesive, ICA), 이방성 전도성 접착제 (anisotropically conductive adhesive, ACA), 비전도성 접착제 (non-conductive adhesive, NCA)로 크게 3가지로 나눌 수 있다.¹⁻³⁾ 등방성 전도성 접착제는 보통 작은 조각들이 접착제 내에 채워져 있어, 모든 방향으로 전기가 통하는 물질이라 할 수 있다. 이방성 전도성 접착제는 보통 이방성 전도성 접착 필름(anisotropically conductive film, ACF)와 이방성 전도성 접착 페이스트 (anisotropically conductive paste, ACP) 두 경우로 나뉜다. 이방성 전도성 접착제는 작은 전도체(fillers)를 포함하고 있어 접합 과정에서 기판과 범프 사이에 존재하여 전기적 신호 전달을 가능하게 한다. 비전도성 접착제는 이방성 전도성 접착제보다 우수한 높은 수준의 전기 전도 특성을 가지고 있으며, 보통 Au stud-bump를 사용한다. 이 기술은 Au나 Ni/Au 범프 접합 시 사용하며 이방성 전도성 접착제에 비해 공정비가 저

렴하다. 많은 체적과 저가의 부품에 적용이 용이한 비전도성 접착제 기반의 플립칩 공정이 지금까지 많이 연구 개발되어 왔다. 이 방식은 칩의 범프와 PCB (Printed circuit board)에서의 패드를 직접 연결시켜 전기적 신호를 흐르게 한다.

따라서 본 연구에서는 비전도성 접착제가 사용된 플립칩 패키지에서의 신뢰성에 관하여 평가하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 비전도성 접착제는 에폭시 수지(epoxy resin) 60%, 경화제(hardener) 25%, 실리카(silica) 10%, 기타 물질 5%로 구성되어 있다. 에폭시 수지는 아로마틱 아민(aromatic amine) 에폭시 수지와 비스페놀-A(bisphenol-A) 에폭시 수지로 구성되어 있다.

비전도성 접착제의 유리전이온도(glass transition temperature)를 확인하기 위해 DSC(differential scanning calorimetry, Seiko Co., Japan)를 이용하여 25~250°C 온도 구간에서 승온 속도 5, 10, 20°C/min로 질소 분위기에서 실시하였다. 비전도성 접착제의 열팽창 계수 (coefficient of thermal expansion)를 확인하기 위해 비전도성 접착제를 240°C 온도에서 30분 동안 경화시킨 후 얇은 필름 형상(2 × 10 × 0.5 mm)으로 가공하여 TMA(thermal mechanical analysis, Seiko Co., Japan)를 실시하였다. 이때 하중과 승온 속도는 각각 50 mN과 5°C/min이며 대기는 질소 분위기를 유지하였다.

실리콘 칩의 크기는 5000×5000×700 μm이며 144개의 Au 범프가 주변을 둘러싼 형상으로 위치하고 있다. Au 범프의 크기는 80×80×17 μm이다. 기판은 50 μm 두께의 연성 기판(flexible printed circuit board)을 사용하였다. 기판의 Cu 패드는 25 μm의 두께를 가지고 있으며 Cu 위에 5 μm 두께의 무전해(electroless) Ni/Au 도금을 실시하였다. 플립칩 본더(flip chip aligner bonder, M-9, Laurier, USA)를 사용하여 하중 30 N에서 20초 동안 칩과 연성 기판을 접합하였다. 플립칩 본더의 위와 아래 지지대의 온도는 각각 120°C와 225°C에서 실시하였다. Fig. 1은 본딩 후의 시편의 형상을 보여 준다.

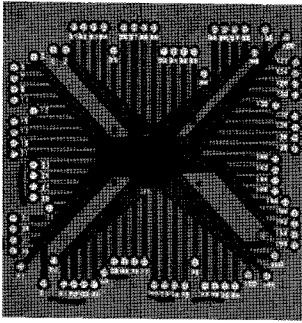


Fig. 1. Shape of test specimen.

접합된 플립칩 패키지의 신뢰성을 확인하기 위하여 열충격 시험(thermal shock test)과 항온항습 시험(temperature and humidity test)을 각각 실시하였다. 열충격 시험은 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$ 온도 구간에서 싸이클당 30분으로 실시하였고 각각의 최고·최저 온도에서 12분을 유지시켰다. 1,000 싸이클까지 열충격 시험을 실시한 후 200 싸이클마다 전기 저항(electrical resistance)을 측정하였다. 항온항습 시험은 온도 85°C , 습도 85%RH 분위기에서 500 시간동안 실시하였고 100 시간마다 전기 저항을 측정하였다. Au 범프의 단면은 전자주사현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험 결과

Fig. 2(a)는 승온 속도 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 조건에서 실시한 비등온 DSC 분석 결과이다. 비전도성 접착제의 유리전이온도와 경화 반응은 각각 흡열 반응과 발열 반응이 일어나는 온도와 구간을 의미한다. 실험 결과로부터 비전도성 접착제의 유리전이온도는 72°C 임을 확인할 수 있고 비전도성 접착제의 경화 구간은 $100^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ 임을 확인할 수 있다. Fig. 2(b)는 승온 속도 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 비등온 DSC 결과로부터 경화 반응 구간에서의 비전도성 접착제가 완전하게 경화하는데 필요한 시간으로 변환한 결과이다. 이 결과로부터 본 실험에 사용된 비전도성 접착제의 경화 시간은 8분 정도가 소요되는 것을 확인할 수 있다.

열경화성 폴리머의 반응 속도(reaction rate)는 변환 함수(function of conversion : α)와 온도로써 표현할 수 있다.^{4,5)}

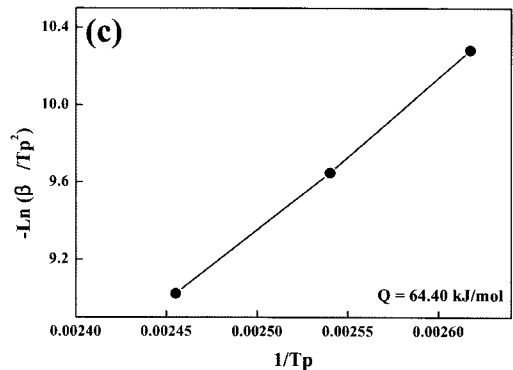
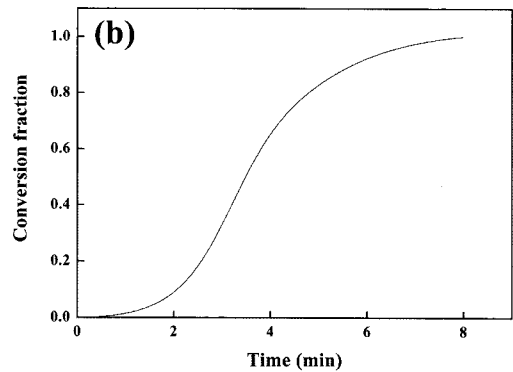
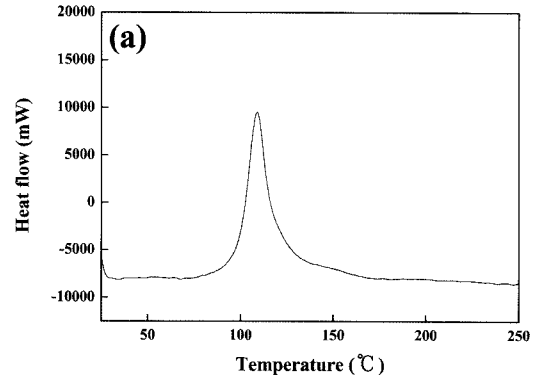


Fig. 2. Thermal property of non-conductive paste: (a) DSC results with heating rate of $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, (b) conversion fraction for curing process with heating rate of $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and (c) activation energy during curing reaction.

$$\frac{da}{dt} = q \frac{da}{dT} = k(T)f(a) \quad (1)$$

위 식에서 $f(\alpha)$ 는 변환 의존 함수(conversion-dependent function)이고 $k(T)$ 는 Arrhenius 식에 의해 정의되는 반응률 상수(rate constant)이다.

$$f(a) = (1-a)^n \quad (2)$$

$$k(T) = A \exp(-E/RT) \quad (3)$$

위 식에서 A는 지수 상수(preexponential constant), E는 활성화 에너지(activation energy)이고 R은 기체 상수(gas constant)이다.

(1)식에 (2)와 (3)식을 대입하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{da}{dt} = q \left(\frac{da}{dT} \right) = A(1-a)^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (4)$$

(4)식을 온도와 변환 함수로 적분하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$g(a) = \int_0^a \frac{da}{(1-a)^n} = \frac{AE}{qR} \int_{\infty}^x \frac{\exp(-x)}{x^2} dx = \frac{AE}{qR} p(x)$$

$$p(x) = \int_{\infty}^x \frac{\exp(-x)}{x^2} dx \quad (5)$$

위 식에서 $x=E/RT$ 이다.

Kissinger는 동역학적 요소가 최대일 때의 온도를 이용하였고, $d(d\alpha/dt)/dt$ 가 0일 때 동역학적 요소가 최대이기에 아래와 같이 표현할 수 있다.^{4,5)}

$$\frac{qE}{RT_m^2} = An(1-a)_m^{n-1} \exp\left(-\frac{E}{RT_m}\right) \quad (6)$$

Fig. 2(c)는 Kissinger 방법을 이용하여 비전도성 접착제의 경화 반응 동안의 활성화 에너지를 구한 결과이다. Kissinger 방법으로 계산된 활성화 에너지는 64.40 kJ/mol로 계산되었다. 활성화 에너지는 화학 반응에 필요한 에너지를 의미하고 그 값이 낮을수록 쉽게 반응함을 의미하고 에폭시 수지의 전이가 쉽게 발생하는 것을 의미한다.

Fig. 3은 승온 속도 5°C/min의 조건에서 실시한 TMA 실험 결과이다. 유리전이온도를 기준으로 두 개의 열팽창 계수값 (α_1, α_2)을 갖는 것을 확인할 수 있으며, 특히 유리전이온도 이후 에폭시 수지의 급격한 길이 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 비전도성 접착제의 α_1 과 α_2 는 각각 59 ppm/°C와 78 ppm/°C임을 확인할 수 있다. 이는 폴

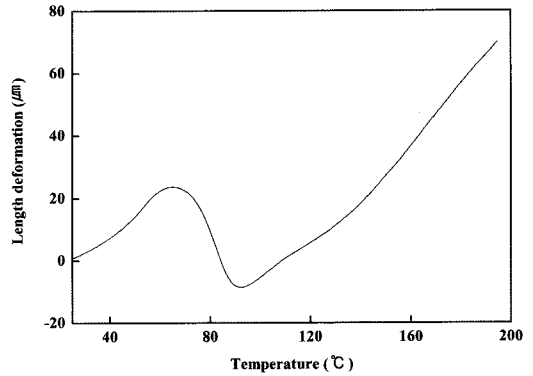


Fig. 3. TMA results of non-conductive paste with heating rate of 5°C/min.

리머의 가교 결합이 유리전이온도를 기준으로 변화하였음을 나타내며, 유리전이온도 이후 폴리머의 가교 결합이 느슨해지는 것을 의미한다. 열팽창 계수가 작은 비전도성 접착제가 작은 열팽창 계수의 특성을 갖는 실리콘 칩과 큰 열팽창 계수의 특성을 갖는 기판 사이의 열 응력을 완화 시킬 것으로 사료된다.

Fig. 4는 열충격 시험과 항온항습 시험동안 비전도성 접착제를 사용한 플립칩 패키지의 전기 저항 변화를 관찰한 결과이다. 플립칩 패키지의 초기 저항은 $1.2 \times 10^{-3} \Omega$ 임을 확인할 수 있으며 열충격 사이클과 항온항습 유지 시간이 증가할수록 패키지의 전기 저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 플립칩 패키지의 내부에 패키지의 저항을 증가시키는 요인이 발생한 것을 의미한다. 열충격

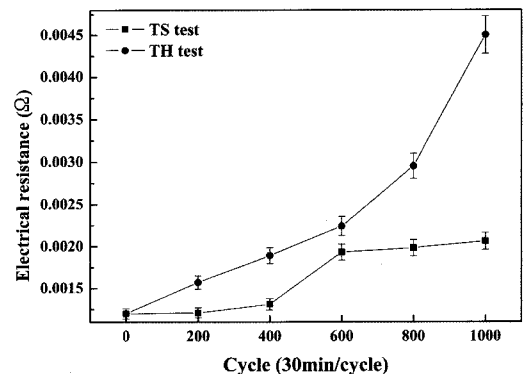


Fig. 4. Results of electrical resistance with flip chip package during reliability tests.

시험의 경우, 플립칩 패키지의 전기 저항이 400 싸이클 이후로 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있으며 이러한 현상은 400 싸이클 이후에 축적된 열 응력으로 인하여 Au 범프 사이의 변형이 발생한 것으로 예상된다. 항온항습 시험의 경우, 유지 시간이 길어짐에 따라 플립칩 패키지의 전기 저항이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있으며 400 시간 이후에 상대적으로 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이는 비전도성 접착제가 400 시간 동안 흡수한 습기와의 반응이 400 시간 이후에 활발해졌기 때문이라 사료된다. 또한 비전도성 접착제가 사용된 플립칩의 경우, 열충격 시험보다 항온항습 시험에 더욱 민감하게 전기 저항이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 열충격 시험동안 비전도성 접착제를 사용한 플립칩 범프의 단면을 SEM을 이용하여 관찰한 결과이다. 열충격 싸이클이 증가할수록 Au 범프와 Au 범프 사이의 균열(crack)에 의해 범프와 범프의 접촉 면적이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상으로 인해 패키지의 전기 저항이 증가하는 것으로 사료된다. 열충격 싸이클이 증가할수록 패키지의 열 응력이 증가하여 열 응력에 의한 휨 현상이 발생하는 것으로 사료된다. 따라서 열 응력을 감소시키는 비전도성 접착제의 선택이 중요한 것으로 판단된다. 또한 열충격 싸이클이 증가할수록 비전도성 접착제를 사용한 플립칩 패키지에서 기판과 비전도성 접착제 사이의 층

간 분리(delamination) 현상도 발생하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 패드와 비전도성 접착제, 칩과 비전도성 접착제, 기판과 비전도성 접착제의 사이에서 층간 분리 현상이 많이 발생한다. 이러한 현상은 패키지의 전기 저항의 증가 요인이 되며 패키지의 신뢰성을 저하시키는 큰 원인이 된다.

Fig. 6은 항온항습 시험동안 비전도성 접착제를 사용한 플립칩 범프의 단면을 SEM을 이용하여 관찰한 결과이다. 항온항습 유지 시간이 증가할수록 열충격 시험과 비교할 때, 칩과 비전도성 접착제, 기판과 비전도성 접착제 사이의 층간 분리 현상이 플립칩 패키지의 신뢰성에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 이러한 층간 분리 현상에 의해 열충격 시험동안의 패키지의 전기 저항보다 항온항습 시험동안의 패키지의 전기 저항이 크게 증가하는 것으로 사료된다. 일반적으로 습기가 존재하게 되면 비전도성 접착제와 기판, 패드, 칩 사이의 수소 결합을 대신하게 되고 수소 반응을 통하여 이극성 상호 반응(dipolar interaction)과 분산 상호 반응(dispersive interaction)을 감소시킨다. 이로 인하여 에폭시 수지는 팽창하게 되고 패드와 비전도성 접착제, 칩과 비전도성 접착제, 기판과 비전도성 접착제 사이의 접합 강도를 저하시키게 된다. 따라서 접합 강도가 우수한 비전도성 접착제가 패키지의 신뢰성을 증가시키는 중요한 요인이라 할 수 있다.

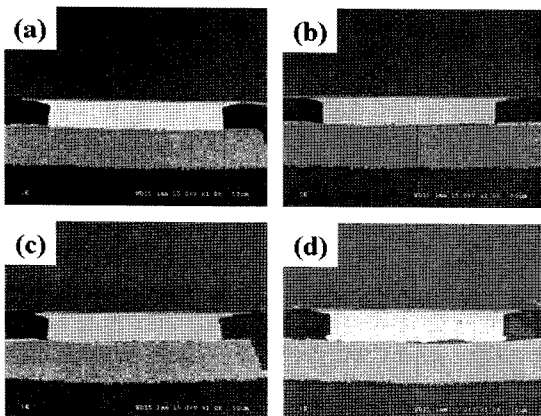


Fig. 5. SEM images with Au bump during thermal shock test: (a) 200 cycles, (b) 400 cycles, (c) 600cycles and (d) 1,000 cycles.

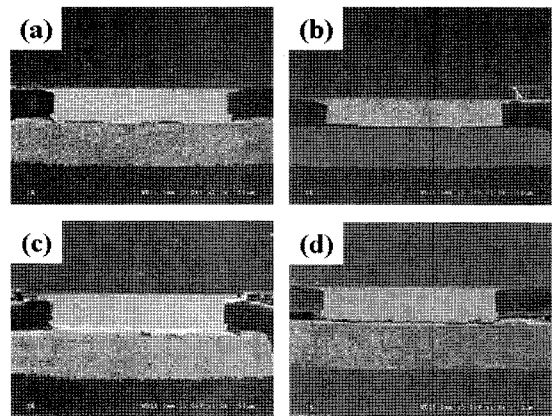


Fig. 6. SEM images with Au bump during temperature and humidity test: (a) 100 hr, (b) 200 hr, (c) 400 hr and (d) 500 hr.

3. 결 론

본 실험에서는 아로마틱 아민 타입과 비스페놀-A 수지 타입 에폭시 수지 60%, 경화제 25%, 실리카 10%, 기타 물질 5%로 구성되어 있는 비전도성 접착제의 물성을 평가하고 Au 범프와 연성 기관으로 형성된 플립칩 패키지에 적용한 후 패키지의 신뢰성을 평가하였다. 열충격 시험과 항온항습 시험동안 Au 범프와 Au 범프 사이의 균열, 칩과 비전도성 접착제, 기관과 비전도성 접착제 사이의 층간 분리에 의해 플립칩 패키지의 전기 저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 비전도성 접착제가 사용된 플립칩 패키지에서는 외부 온도 차이에 의한 열 응력보다 외부의 습기에 더욱 민감하다는 것을 확인할 수 있다. 이는 비전도성 접착제에 사용된 에폭시 수지가 수분에 반응하여 팽창함에 따라 발생하는 현상으로 사료된다. 따라서 비전도성 접착제를 선택함에 있어서 비전도성 접착제의 흡습을 특성도 고려되어야 하는 중요한 인자라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역 기술 개발 프로그램 (MOCIE : No.RTI04-03-04)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. P. T. Vianco, K. J. Puttlitz and K. A. Stalter, "Handbook of Lead-free Solder Technology for Microelectronic Assemblies", Marcel Dekker Inc., New York (2004)
2. R. Tummala, "Fundamentals of Microsystems Packaging", McGraw-Hill, New York (2001)
3. J. S. Hwang, "Environment-Friendly Electronics: Lead-free Technology", Electrochemical Publications Ltd., Port Erin (2001)
4. Y. He, "DSC and DEA studies of underfill curing kinetics", *Thermochim. Acta*, 367-368, 101-106 (2001)
5. D. T. Hsu, H. K. Kim, F. G. Shi, H. Y. Tong, S. Chungpaiboonpatana, C. Davidson and J. M. Adams, "Curing kinetics and optimal cure schedules for underfill materials", *Microelectr. J.*, 271-275 (2000)
6. Y. F. Duann, T. M. Liu, K. C. Cheng and W. F. Su, "Thermal stability of some naphthalene- and phenyl-based epoxy resin", *Polym. Degrad. Stabil.*, 305-310 (2004)
7. C. L. Chiang, C. C. M. Ma, F. Y. Wang and H. C. Kuan, "Thermo-oxidative degradation of novel epoxy containing silicon and phosphorus nanocomposite", *Eur. Polym. J.*, 825-830 (2003)
8. Y. S. Cho, M. J. Shim and S. W. Kim, "Thermal degradation kinetics of PE by the Kissinger equation", *Mater. Chem. Phys.*, 52, 94-97 (1998)
9. C. S. Wang and C. H. Lin, "Novel phosphorus-containing epoxy resin. Part II: curing kinetics", *Polymer*, 41, 8579-8586 (2000)