Ball Grid Array 보드 어셈블리의 동적굽힘 신뢰성에 미치는 언더필의 영향

장재원*** · 방정환* · 유세훈* · 김목순** · 김준기†

*한국생산기술연구원 용접접합기술센터/마이크로조이닝센터, **인하대학교 금속공학과

Effects of Underfills on the Dynamic Bending Reliability of Ball Grid Array Board Assembly

Jae-Won Jang***, Jung-Hwan Bang*, Se-Hoon Yoo*, Mok-Soon Kim** and Jun-Ki Kim*†

*Advanced Welding & Joining Technology Center, KITECH, Incheon, Korea

**School of Materials Science & Engineering, Inha University, Incheon, Korea

(2011년 9월 27일 접수 : 2011년 11월 1일 최종수정 : 2011년 11월 7일 채택)

Abstract In this paper, the effects of conventional and newly developed elastomer modified underfill materials on the mechanical shock reliability of BGA board assembly were studied for application in mobile electronics. The mechanical shock reliability was evaluated through a three point dynamic bending test proposed by Motorola. The thermal properties of the underfills were measured by a DSC machine. Through the DSC results, the curing condition of the underfills was selected. Two types of underfills showed similar curing behavior. During the dynamic bending reliability test, the strain of the PCB was step increased from 0.2% to 1.5% until the failure circuit was detected at a 50 kHz sampling rate. The dynamic bending reliability of BGA board assembly using elastomer modified underfill was found to be superior to that of conventional underfill. From mechanical and microstructure analyses, the disturbance of crack propagation by the presence of submicron elastomer particles was considered to be mainly responsible for that result rather than the shear strength or elastic modulus of underfill joint.

Key words dynamic bending reliability, BGA board assembly, underfill.

1. 서 론

BGA (Ball grid array)는 칩패키지의 하부에 면배열로 형성된 패드 위로 사이즈가 대개 0.8 mm 이상인 작은 솔더볼을 어태치하여 범프를 형성시킨 것을 말한다.¹⁾ BGA 어셈블리는 면실장이기 때문에 많은 I/O와 높은 실장밀도가 요구되는 컴퓨터 칩셋, GPU 등의 용도에 사용이 확대되고 있다.

BGA 보드 어셈블리는 기판 위에 솔더페이스트를 인쇄한 다음 BGA 칩패키지를 마운트하고 리플로우 솔더링을 수행하는 표면실장기술(surface mount technology)을 통해 제조된다. BGA 보드 어셈블리의 신뢰성은 주로 솔더접합부의 금속적 및 기계적 특성에 의존하는 것으로 알려져 있다.²⁾

최근 휴대전화와 같은 모바일 기기에서의 볼 피치의 미세화 경향과 자동차 전장부품에서의 진동, 충격 등의 극심한 사용환경에 대한 신뢰성요구에 따라 솔더접합에 추

가로 BGA 보드 어셈블리의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 언더필과 같은 보강재 적용이 요구되고 있다.

언더필은 칩과 기판 사이의 열팽창계수 차이에 의한 접합부의 열응력을 완화하기 위해 사용되는 고분자 접착소재이며 솔더 접합부를 외부환경으로부터 차단하여 보호하는 역할도 한다. 언더필은 초기에 액체상태로서 칩과 기판 사이를 충전한 다음 열에 의해 경화되어 접합력을 나 타낸다.³⁾

기존의 언더필은 대개 기본 화학구조의 에폭시 레진을 기본 소재로 사용하여 제조되어 높은 접착강도와 함께 경화 후 취성이 큰 물성을 보이는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 이러한 특성은 열 사이클링 시험시의 열응력에 대한 신뢰성은 우수하나 최근 보드 두께의 감소 등에 있어서 기계적 충격 등을 완화시키는 데에는 효과적이지 못할 것으로 생각되고 있다.

본 연구에서는 BGA 보드 어셈블리의 충격환경에 대한 신뢰성을 향상시키기 위한 방법으로서 최근에 상용화되고 있는 고무변성 에폭시 레진이 사용된 언더필의 적용이 BGA 보드 어셈블리의 신뢰성에 미치는 효과를 보드의 충격에 의한 힘을 모사하는 동적굽힘시험을 통해 기존 언

†Corresponding author

E-Mail : jkim@kitech.re.kr (J. -K. Kim)

더필과 비교 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험재료

본 연구에 사용된 언더필의 종류와 특성을 Table 1에 나타내었다. UF-A는 일반적으로 사용되는 비스페놀 타입의 기본형 에폭시 레진이며, UF-B는 기본형 에폭시에 고무변성 에폭시가 혼합된 레진이 사용되었다. 경화제로는 아민에덕트가 동일하게 사용되었으며 이들 언더필 재료는 (주)하이텍코리아로부터 제공받았다.

실험에 사용된 칩패키지와 PCB의 외형 및 사양을 Fig. 1에 나타내었다. 칩패키지는 0.8 mm 피치의 8×8 어레이가 형성된 BT레진 BGA 패키지를 사용하였으며 Topline 으로부터 공급받았다. PCB는 130×30 mm 치수의 두께 1 mm FR-4 재질로 테이지체인이 형성되도록 제작하였다. 솔더볼은 직경 450 μm 의 SAC305를 사용하였다.

2.2 언더필 열분석

언더필의 경화온도와 경화시간을 결정하기 위해 TA사의 DSC Q-100을 사용하여 dynamic DSC와 isothermal DSC 시험을 수행하였다. Dynamic DSC는 40~250°C의 온도구간을 10°C/min의 승온 속도로하여 경화시작온도와 경화피크온도 및 발열량을 측정하였다. Isothermal DSC는 150°C에서 30분동안 시간에 따른 발열량을 측정하였으며 총 발열량으로 나누어 시간에 따른 경화도를 구하였다.

언더필의 경화 후 물성인 유리전이온도(T_g)는 dynamic DSC 시험으로 경화된 언더필의 경화물을 40~200°C 온도구간, 승온속도 5°C/min의 조건으로 DSC 분석을 통해 온도에 따른 열용량 기울기의 전이지점으로 측정하였다.

2.3 패키징 공정

보드 어셈블리 시편은 ENIG로 표면처리된 BGA 칩패키지에 SAC305 솔더볼을 어태치하여 범프를 형성시킨 다음 플라즈마 전처리를 하였고, OSP 표면처리된 FR-4 PCB에 플럭스를 도포한 후 마운트하여 피크온도 248°C의 리플로우 오븐을 통과시키는 표면실장공정으로 제작하였다. BGA 보드 어셈블리 제작 후 언더필 칩투에 영향을 미치는 잔류 플럭스는 초음파 세척으로 제거하였다.

언더필은 에어디스펜서를 사용하여 BGA 칩패키지의 가

Fig. 1. Layout and spec of BGA package and PCB.

장자리에 이중 L-line 타입으로 도포하였다. 언더필의 도포량이 달라지면 경화 후 필렛의 크기와 이에 따른 접합강도 등의 차이를 나타내기 때문에 언더필별로 공기압, 시간, 니들사이즈 등을 조절하여 동일한 부피가 도포되도록 하였다.

2.4 보드 어셈블리의 동적급힘시험

언더필에 따른 BGA 보드 어셈블리의 동적급힘신뢰성 평가를 위해 모토로라의 4점 동적급힘시험을 변형시킨 3-점 동적급힘시험을 실시하였다. 동적급힘시험은 모바일기기의 낙하 상황을 모사하기 위해 모토로라가 제안한 시험방법이다.⁶⁾

본 시험에서는 100 g 추의 자유낙하높이를 점진적으로 증가시키면서 BGA 보드 어셈블리의 후면에 충격을 가하고, 충격시 테이지체인의 단선여부를 실시간 모니터링하여 BGA 보드 어셈블리의 고장을 유발한 보드의 변형률을 측정하였다. 자유낙하높이에 따른 보드의 변형률은 스트레인 게이지를 이용하여 보정하였으며 테이지체인의 단선여부는 샘플링속도 50 kHz에서 100 Ω 이상의 저항이 감지되는 것을 기준으로 하였다.

2.5 언더필 접합부의 전단시험

언더필이 적용된 BGA 보드 어셈블리의 접합부 구조를 Fig. 2에 나타내었다. BGA 패키지의 접합강도는 솔더조인트와 언더필에 의한 것으로, BGA 보드 어셈블리의 동

Table 1. Ingredients and physical properties of underfill materials.⁵⁾

Sample	Resin	Hardener	Viscosity (Pa.s @25°C)	CTE (ppm/°C)
UF-A	Bisphenol type standard epoxy	Amine adduct	1.7	48
UF-B	Bisphenol type standard epoxy+ Elastomer modified epoxy	Amine adduct	1.8	48

Fig. 2. Structure of solder and underfill joint.

Fig. 3. Schematic view of die shear test.

적응힘 신뢰성에 미치는 언더필 물성의 영향을 조사하기 위해 솔더조인트를 제외한 언더필만의 접합강도와 인장강도를 측정하였다.

언더필에 따른 기판과의 접착력을 비교하기 위한 실험 방법을 Fig. 3에 나타내었다. 솔더범프가 형성되지 않은 BGA 칩패키지와 FR-4 PCB를 사용하여 필렛이 형성되지 않을 정도의 언더필을 도포한 다음 150°C에서 15min간 경화시켜 다이전단강도를 측정하였다. 다이전단시험은 Dage 4000을 사용하여 시험하중 100 kg, 전단속도 200 μm/s, 전단높이 100 μm의 조건으로 수행하였다.

언더필에 따른 경화물의 인장거동을 비교하기 위해 ASTM D 1002 규격에 따라 단일 겹치기 전단시험을 수행하였다. 실험방법을 Fig. 4에 나타내었다. 피착제로는 두께 1.4 mm의 SPRC340 강판을 사용하였으며 경화조건은 150°C 30min으로 하였다. 인장시험은 유압지그가 설치된 동일시마즈사의 AG-300KNX를 사용하였으며 인장속도는 1.3 mm/s로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 언더필의 경화거동

언더필의 경화온도를 측정하기 위한 dynamic DSC 그

Fig. 4. Single-lap shear test specimen according to ASTM D 1002.

Fig. 5. Dynamic DSC curves of underfills.

Fig. 6. Degree of Cure curves of underfills at 150°C calculated from isothermal DSC.

래프를 Fig. 5에 나타내었다. UF-B의 경화시작온도와 경화피크온도는 UF-A에 비해 높은 반면 경화발열량은 UF-A에 비해 적은 것을 알 수 있다. 이는 UF-B에 첨가된 고무변성 에폭시 레진의 분자량이 기본형 에폭시 레진에 비해 크기 때문에 경화반응이 느리고 반응기 개수가 감소된 데에 기인하는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 7. Weibull plot of 3-point dynamic bending test results for BGA board assemblies.

두 언더필의 경화피크온도보다 높은 온도인 150°C에 대하여 30분 동안 isothermal DSC를 통해 측정된 경화도를 Fig. 6에 나타내었다. UF-A와 UF-B의 경화도 80% 도달시간($t_{80\% \text{ DoC}}$)은 각각 4.3min과 3.7min이었으며 이를 통해 두 언더필의 경화조건을 150°C, 15min으로 결정하였다.

3.2 보드 어셈블리의 동적굽힘 신뢰성

표면실장공정을 통해 제작된 BGA 보드 어셈블리의 동적굽힘 시험결과를 Fig. 7에 와이블그래프로 나타내었다. Fig. 7에서 x축은 보드의 변형률이며 y축은 누적고장률을 나타낸다. 형상모수는 와이블그래프의 기울기에 관련되는 값이며 척도모수는 와이블그래프의 누적고장률 63.2%에 도달하는 변형률을 의미한다.

UF-B의 형상모수는 11.26으로 UF-A의 6.90에 비해 큰 값을 가지며 UF-B의 척도모수는 1.04로 UF-A의 0.94에 비해 약 1.1배 가량 증가한 것을 알 수 있다. 형상모수와 척도모수 모두에 있어서 UF-B가 UF-A보다 큰 값을 갖는다는 것은 UF-B 적용 시 보드 어셈블리의 동적굽힘 신뢰성이 향상되었음을 의미한다.

3.3 동적굽힘 신뢰성의 영향인자

UF-B가 UF-A보다 향상된 동적굽힘 신뢰성을 보이는 원인을 알아보기 위해서 언더필의 여러 가지 특성을 측정하였다. 언더필 종류에 따른 동적굽힘 신뢰성에 영향을 미치는 인자로 고려할 수 있는 언더필의 특성은 접합강도, 모듈러스, 파괴기구 등이 있다.

언더필의 접합강도를 비교하기 위한 다이전단시험 결

Fig. 8. Die shear strength of underfill joints.

Fig. 9. Single Lap shear curves of underfill joints.

과를 Fig. 8에 나타내었다. 언더필 재료를 제외한 다른 조건이 동일한 상황에서 동적굽힘 신뢰성이 우수한 UF-B를 적용한 경우의 다이전단강도는 36 MPa로 UF-A의 38 MPa에 비해 오히려 낮은 것을 알 수 있다. 이는 언더필의 접합강도는 동적굽힘 신뢰성의 주요 영향인자가 아님을 의미한다.

언더필의 모듈러스를 비교하기 위한 단일접치기 전단 시험 결과를 Fig. 9에 나타내었다. UF-B의 단일접치기 전단시 탄성모듈러스는 151.12 MPa로 UF-A의 168.93 MPa보다 작은 것을 알 수 있다. 언더필의 모듈러스가 패키지의 신뢰성에 미치는 영향에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았으나 접합강도와는 조화가 중요한 것으로 알려져 있다.⁷⁾ UF-B의 경우 UF-A에 비해 접합강도가 낮은 상태에서는 모듈러스가 작은 것이 동적굽힘 신뢰성에 효과적이었을 것으로 생각된다.

언더필 자체의 경화 후 물성인 유리전이온도(T_g)는 에폭시를 포함한 모든 비결정질 고분자에서 나타나며, 고분자가 가열됨에 따라 열팽창계수, 열용량, 모듈러스 등이 불연속적으로 변화하면서 고분자의 성질이 유리상태에서 고무상태로 변화하는 온도를 의미한다. 유리전이온

Fig. 10. Modulated DSC curves for UF-A and UF-B.

Fig. 11. SEM images of fracture surface after single lap shear tests; a) UF-A and b) UF-B.

도는 접착제의 조성, 경화조건 등에 의해 영향을 받으며 경화도, 화학적 결합구조의 건전성 등을 평가하는 지표로 사용된다.^{8,9)}

언더필이 경화된 상태에서 modulated DSC 방법으로 측정한 유리전이온도를 Fig. 10에 나타내었다. UF-A와 UF-B의 유리전이온도는 각각 113.47°C와 113.44°C로 차이가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 고무변성 에폭시 레진의 첨가가 경화 후 화학적 결합구조에 별다른 영향을 미치지 않은 것을 의미한다.

언더필에 따른 파괴기구를 조사하기 위해 파단면을 SEM으로 관찰하여 Fig. 11에 나타내었다. UF-A 파단면의 경우 매끄러운 파면이 관찰된 반면에 UF-B 파단면에서는 1 μm 미만의 미세한 입자와 거친 파면을 볼 수 있다. 이는 UF-B의 경우 미세입자 형성으로 인해 크랙의 전파경로가 굴절되었음을 나타낸다.

이러한 미세입자는 고무변성 에폭시 레진을 첨가한 경우에 경화과정에서 형성되는 고무상으로 알려져 있다. 이러한 미세한 고무입자는 에폭시 경화물의 인성을 증가시

키는 것으로 알려져 있는데¹⁰⁾ 언더필에 있어서는 보드의 동적굽힘으로 인한 변형을 흡수하여 크랙의 발생을 억제하고, 크랙 생성 후에도 전파경로를 방해하여 솔더접합부를 보호하는 효과가 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

BGA 보드 어셈블리에 있어서 고무변성 에폭시 레진이 첨가된 언더필의 적용은 비스페놀 타입의 기본형 에폭시 레진만을 함유한 언더필에 비해 향상된 동적굽힘 신뢰성을 나타내었다.

언더필의 접합강도, 모듈러스, 파괴기구 중에서 접합강도와 모듈러스는 동적굽힘 신뢰성에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단되는 것에 비해 고무변성 에폭시 레진 첨가에 따른 경화시 미세 고무상 입자의 형성과 이로 인한 낙하충격의 흡수 및 크랙전파의 방해에 따른 파괴기구가 동적굽힘 신뢰성에 영향을 미친 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 국가플랫폼기술개발사업(과제 번호 10033493)과 한국생산기술연구원의 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. Gilleo, Area Array Packaging Process Professional, 1st ed., p. 172-173, McGraw-Hill, USA (2003).
2. F. Liu, G. Meng, M. Zhao and J. F. Zhao, Microelectron. Reliab., **49**(1), 79 (2009).
3. K. Gilleo, Area Array Packaging Process Professional, AUSTRLN ed., p. 20, McGraw-Hill, USA (2003).
4. D. T. Hsu, H. K. Kim, F. G. Shi, H. Y. Tong, S. Chungpaiboonpatana, C. Davidson and J. M. Adams, Microelectronics J., **31**(4), 271 (2000).
5. Private Communication, p. 4-5, Hi-Tech Korea Co. Ltd., Korea (2011) (in Korean).
6. W. Liu, N. -C. Lee, A. Porras, M. Ding, A. Gallagher, A. Huang, S. Chen and J. C. Lee, in Proceedings of IEEE 59th Electronic Components and Technology Conference (San Diego, CA, May 2009) p. 994. DOI : 10.1109/ECTC.2009.5074134.
7. M. D. Fitton and J. G. Broughton, Int. J. Adhesion and Adhesives, **25**(4), 329 (2005).
8. K. E. Min, J. S. Lee, S. Yoo, M. S. Kim and J. K. Kim, Kor. J. Mater. Res., **20**(12), 681 (2010) (in Korean).
9. J. Rieger, Polymer Test., **20**(2), 199 (2001).
10. B. J. P. Jansen, K. Y. Tamminga, H. E. H. Meijer and P. J. Lemstra, Polymer, **40**, 5601 (1999).