

전도성 접착제를 이용한 패키징 기술

김종웅 · 이영철 · 노보인 · 윤정원 · 정승부*

Recent Advances in Conductive Adhesives for Electronic Packaging Technology

Jong-Woong Kim, Young-Chul Lee, Bo-In Noh, Jeong-Won Yoon and Seung-Boo Jung*

(2009년 5월 20일 접수; 2009년 6월 18일 게재확정)

Abstract: Conductive adhesives have recently received a lot of focus and attention from the researchers in electronics industry as a potential substitute to lead-containing solders. Numerous studies have shown that the conductive adhesives have many advantages over conventional soldering such as environmental friendliness, finer pitch feasibility and lower temperature processing. This review focuses on the recent research trends on the reliability and property evaluation of anisotropic and non-conductive films that interconnect the integrated circuit component to the printed circuit board or other types of substrate. Major topics covered are the conduction mechanism in adhesive interconnects; mechanical reliability; thermo-mechanical-hygroscopic reliability and electrical performance of the adhesive joints. This review article is aimed at providing a better understanding of adhesive interconnects, their principles, performance and feasible applications.

1. 서 론

전자 제품의 소형·경량화 및 고성능화 추세에 따라 빠른 신호처리가 가능한 고성능 반도체 칩의 개발 및 칩과 칩 또는 칩과 주변 디바이스들 간의 상호 신호전달을 위한 전자패키징 (electronic packaging) 기술 발전이 크게 요구되고 있다. 특히, 전자 및 반도체 패키징 분야에 있어서 재료, 부품, 기관 및 모듈 (module)의 고성능화 (high performance), 고집적화 (high density integration), 다기능화 (multi functionality) 및 소형화 (miniaturization)에 대한 요구가 점차 증대되고 있는데, 이러한 요구조건들을 만족시키기 위한 패키징 기술의 첫 번째 기술 요소로는 미세피치·다편화를 들 수 있지만, 패키지의 고성능화 및 친환경화 또한 최근 널리 부각되는 중요한 항목들이라 할 수 있다.

1차 패키징 레벨에 있어서 이들을 두루 만족시키는 기술로는 단연 플립칩 기술 (flip chip technology)을 들 수 있다. 플립칩 기술은 다이의 전면 (active face)에 전도성 물질을 이용하여 범프를 형성시키고, 이를 뒤집어서 다이의 전면이 기관을 향하도록 한 후 다양한 접합물질을 사용하여 접합하는 기술을 말한다.¹⁻³⁾ 이 때 다이와 기관 간의 전기적 접속을 위하여 형성시키는 범프가 기계적 접합의 역할까지 수행하도록 형성시키는 것이 솔더 등을 이용한 저융점 금속범프 기술이고, 반면 기계적 접합 및 전기적 접속을 위해 범프 이외의 다른 물질을 추가적으로

삽입하여 접합하는 기술도 있는데, 이의 대표적인 것이 전도성 필름 또는 페이스트를 이용한 접합기술이다. 최근에는 범프의 용융 및 추가 접합물질의 적용 없이 금속과 금속을 초음파를 통해 접합시키는 기술도 연구 중이지만 접합물질의 다양화 및 신뢰성의 측면에서 아직 완성도가 취약해 널리 적용되고 있지는 않은 실정이다.

주지하다시피 플립칩 기술에 현재까지 가장 널리 적용되고 있는 범프재료는 솔더이다. 환경 규제에 따라 납이 제거된 무연솔더 범프는 대개 우수한 기계적·전기적 특성을 보이고 있으나, 접합 공정 또는 사용 중에 취약한 금속간 화합물이 생성 및 성장하는 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점은 피치가 미세화 됨에 따라 접합 품질 저하에 더욱 크게 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다.^{4,7)} 이에 반해, 전도성 접착제를 이용하는 adhesive법은 금속간 화합물 성장에 따른 취성과파괴는 예방할 수 있으나 상대적으로 높은 접속저항, 습윤 분위기나 열충격 환경에서의 낮은 신뢰성 등의 문제점을 나타낸다고 보고되고 있으므로 해당 공정에 적용하기 전에 사전 검증과정을 반드시 거쳐야 한다고 할 수 있다. 본 고에서는 현재 업계에서 가장 널리 쓰이는 전도성 접착제 (conductive adhesive) 중, 전도성 입자 (conductive particle)를 포함하고 있는 필름 형태의 접착제인 ACF (Anisotropic Conductive Film)와 전도성 입자를 포함하지 않는 NCF (Non Conductive Film) 관련 국내·외 연구결과들도 보고하였다.

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

2. Conductive adhesives

전도성 접착제는 일반적으로 전기적 절연체인 폴리머 물질에 전도성 입자를 분산시켜서 제조한다. 이 때 전도성 입자의 함유량이 높을수록 접합 후의 접속부 전기저항이 낮아지게 되는데, 이를 설명하는데 도입하는 가장 일반적인 이론은 percolation theory이다.⁸⁻¹⁰⁾ 이 이론에 따르면, 전도성 입자의 함유량이 낮을 경우에는 입자 함유량이 증가함에 따라 전기 저항이 완만하게 감소하게 되지만, 함유량이 특정 임계치를 초과하게 될 경우에는 전기 저항이 급속하게 감소하여 이후에는 함유량을 더 늘려도 사실상 추가적인 저항치 감소를 보이지 않게 된다. 이 임계치를 percolation threshold라고 하는데, percolation threshold는 분산된 전도 입자 간 접촉가능 여부를 판단하게 해주는 기준으로, 이를 초과하는 함유량을 보일 경우 전도 입자간 접촉이 이루어져 접합 이후 전 방향으로 전도가 이루어지게 된다. 이러한 percolation threshold를 초과하는 만큼의 전도성 입자를 함유하는 adhesive를 ICA (Isotropic Conductive Adhesive)라고 하고, 그 이하를 함유하는 것을 ACA (Anisotropic Conductive Adhesive)라고 한다.

필름 형태의 ACA를 ACF라고 하는데, ACF를 이용한 접합은 고온에서 압축력을 가해 이루어져 전도성 입자가 눌러진 상태에서 matrix가 curing되어 단단해지므로, 전기 신호는 전도성 입자만을 타고 흐르게 된다. Fig. 1 (a)에 나타낸 모식도에서 알 수 있듯이 전도성 입자의 함유량이 크지 않으므로 입자간의 접촉은 발생하지 않아 측면으로의 전도는 이루어지지 않게 되고, 칩과 기판의 범프 및 패드 사이에 전도성 입자가 눌러진 상태로 끼어있게 되므로 전도성 입자만을 따라 전기 신호가 흐르게 된다. 한편 전도성 입자를 전혀 함유하지 않은 adhesive도 현재 사

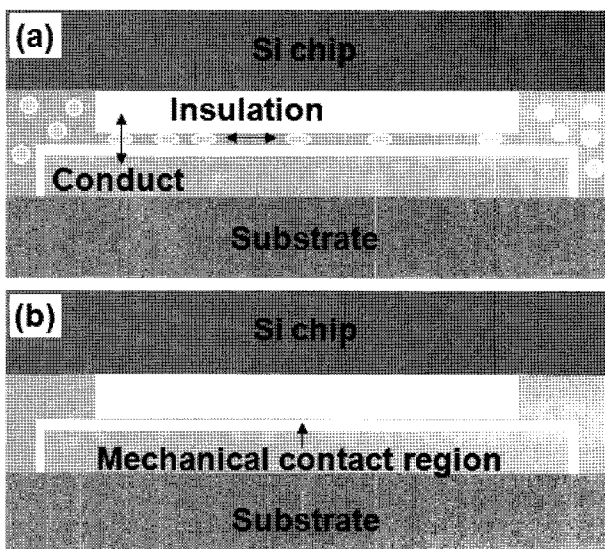


Fig. 1. Schematic structure of the Si chip to substrate bonding using ACF (a) and NCF (b).

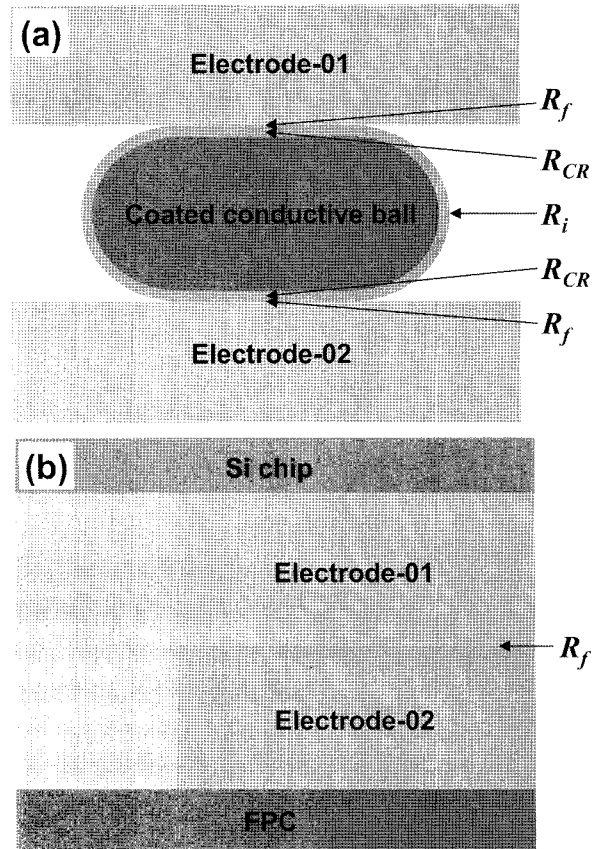


Fig. 2. Components of electrical connection resistance considered: (a) ACF joint and (b) NCF joint.

용되고 있는데, 이를 NCA (Non Conductive Adhesive)라고 한다. ACF와 마찬가지로 필름 형태의 NCA를 NCF라고 하는데, 이 때 NCF는 전도성입자를 전혀 함유하지 않으므로 전기적 접속에는 관여하지 않으며, 다만 칩과 기판을 기계적으로 접합하는 역할만 수행하게 된다. Fig. 1 (b)에 NCF를 이용한 접합부 형상을 나타내었는데, 그림에서 알 수 있듯이 칩의 범프와 기판의 패드가 직접 맞닿은 상태에서 matrix가 curing되어 굳어지므로 범프 및 패드의 표면이 충분히 평탄할 경우 ACF에 비해 접촉 면적이 훨씬 넓어질 수 있음을 알 수 있다.¹¹⁾

솔더 등을 이용한 용융접합과는 달리 adhesive를 이용한 접합에서는 금속과 금속이 단지 물리적으로 접촉만 되어 있으므로 접촉 면적이 전기적 특성에 가장 큰 영향을 끼치게 된다. 따라서 접촉 면적이 ACF의 그것보다 NCF를 사용한 경우 훨씬 넓어지게 되어 접속이 발생할 때의 저항은 NCF의 경우 낮을 것임을 예상할 수 있다. 하지만 접촉부위에 발생하는 저항성분을 조금 더 면밀히 살펴보면, ACF를 사용할 경우와 NCF를 사용할 경우 전혀 다른 저항치가 측정될 수 있음을 알 수 있는데, 이를 Fig. 2에 모식적으로 나타내었다. Fig. 2는 ACF와 NCF를 사용한 접합부의 저항 성분을 나타내고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 ACF의 경우 전도성 입자 부위에서 R_f , R_{CR} 및 R_i 와 같은 3가지 저항성분이 존재하는 반면 NCF의 경우에는 R_f 만 존재하게 된다. 여기서 R_i 는 접촉 부위의 산화물

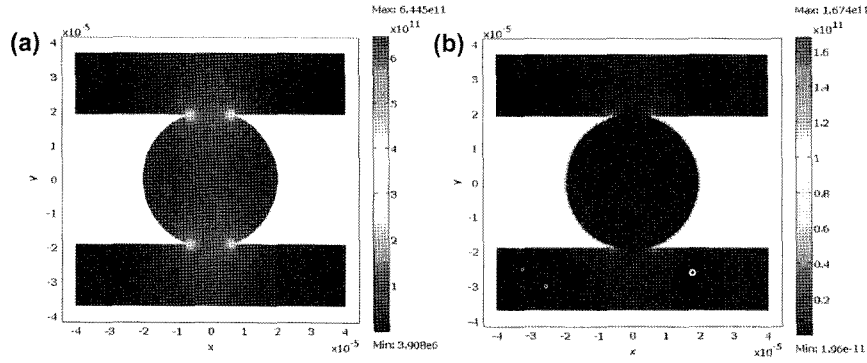


Fig. 3. Distribution of the current density: (a) conducting solid sphere and (b) silver coated glass sphere.¹⁴⁾

층 또는 다른 절연층의 존재에 의한 필름저항 혹은 tunneling 저항을 의미하고, R_{CR} 은 전도성 입자의 둥근 형상에 의한 전자 흐름의 휘어짐으로 증가하는 저항 성분, 마지막으로 R_i 는 전도성 입자의 비저항으로 인해 증가하는 저항 성분을 의미한다.^{12,13)}

ACF 접합부에서는 전도성 입자의 존재로 인하여 이와 같은 3가지 저항성분이 접촉저항을 구성하는 반면, NCF 접합부의 경우 입자에 의한 R_i 와 R_{CR} 이 없으므로 접촉저항은 낮은 값을 나타내게 된다. 이와 같은 저항 성분의 이론적 검증을 위하여 여러 가지 계산 모델이 제안되어 있다. 이 때 고려하여야 할 것은 전도성 입자의 탄성 변형만 계산에 반영할 것인지, 소성 변형도 반영해야 하는 것인지가 되는데, 여러 가정을 바탕으로 다양한 모델이 제시되어 있으므로 테스트 샘플의 접촉 저항을 간단히 계산하는데 적용할 수 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 최근에는 유한요소모델링

기법을 통하여 금속 입자의 경우와 폴리머 입자에 금속을 코팅한 경우를 비교하여 어플리케이션을 제안한 연구 결과도 발표된 바 있다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 두 경우의 전류밀도 분포와 그 수치가 다르므로 각각의 특성에 잘 부합하는 어플리케이션을 설정할 필요가 있다.¹⁴⁾

3. Mechanical reliability

Adhesive를 이용한 플립칩 패키지의 기계적 신뢰성을 평가하기 위한 시험법으로 가장 널리 적용되고 있는 것들이 4점 반복 굽힘 시험 (4 point bending test) 및 박리 시험 (peel test)이다.^{15,16)} 먼저 4점 반복 굽힘 시험을 통하여 ACF와 NCF (전도성 입자의 유무를 제외한 나머지 부분 동일) 접합부의 기계적 신뢰성을 평가한 결과를 살펴보고자 한다. Fig. 4 (a)에 나타난 장치를 이용하여 Fig. 4 (b)

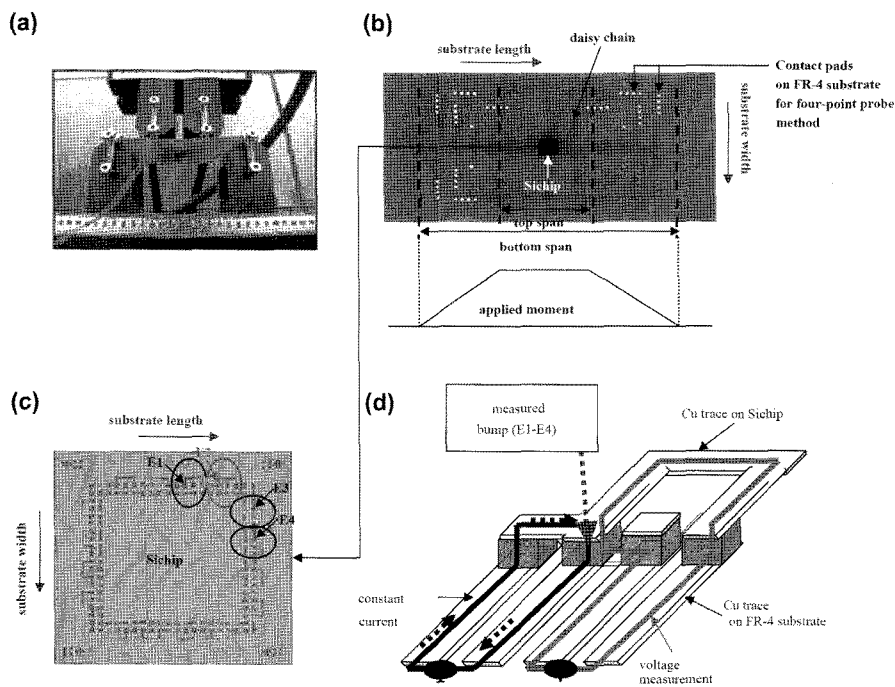


Fig. 4. Four-point bending tester and specimen used: (a) loading sample in the test machine, (b) FR-4 test specimen, (c) schematic of the Si chip and (d) schematic circuitry of the four-point probe method to measure the electrical resistance of a single bump interconnection. The marked symbols (E1-E4) in (c) indicate the bumps where the electrical resistance was measured under four-point bending fatigue test.¹⁵⁾

에 나타난 최종 샘플을 시험하였는데, 이 때 샘플의 파괴 유무를 판단하기 위하여 DC 전기저항을 실시간으로 측정하였다. 굽힘 시험은 FR4 기판을 고정시킨 상태에서 상부의 2 점에 압축 하중을 반복 적용하여 실시하였고, 이 때 0.01 A의 전류 인가로 인한 DC 전기저항이 200 Ω 이 넘는 시간을 파괴시간으로 설정하였다. 이 연구에서 적용한 굽힘시험은 변위제어가 아닌 하중제어 방식으로 실시하였는데, 이 때 샘플의 최대 강도값을 알기 위하여 3점 굽힘 시험을 50 kgf의 하중 조건에서 10 mm/min의 속도로 인가하여 별도 측정하였다. 3점 굽힘 시험을 통해 ACF 및 NCF 접합 샘플의 최대 파괴 하중은 각각 75, 98N 으로 측정되었으며, 이를 기준으로 각각 30%의 하중을 반복 인가하여 4점 굽힘 시험을 실시하였다. 전기저항은 Kelvin structure를 통해 회로 전체의 저항이 아닌 접합부 위만을 저항을 개별적으로 측정하였는데, Fig. 4 (c)에 나타낸바와 같이 E1, E2, E3 및 E4의 구간으로 나누어 각각의 저항을 측정하였다. Kelvin structure의 전기저항 측정 메커니즘은 Fig. 4 (d)에 나타내었다.

Fig. 5는 ACF를 이용한 패키지의 반복 굽힘 하중에 따른 DC 전기저항의 변화를 측정 위치별로 나타낸 것이다. 일반적으로 패키지의 굽힘 하중에 대한 저항성은 다양한 변수에 의해 지배되는데, 대표적인 것으로 기판의 두께와 탄성계수, 접합 물질, 범프 array 구성, 패드 크기, span (패키지와 지지점과의 간격), 인가하중의 집중 정도, 패키지의 stiffness 및 시험 온도 등을 들 수 있다. 하중이 샘플에 인가되면 하부 기판이 먼저 굽혀지게 되고, 이후 반복 하중이 가해짐에 따라 패키지 전체가 굽혀지게 되어 최종적인 파괴에 이른다. 반복 하중 인가의 초기 단계에는 낮

은 전기저항이 측정되지만, 반복하중에 의해 접합부 내부에 크랙이나 층간분리 (delamination) 등이 발생할 경우 저항값이 점차 증가하게 된다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 E3와 E4 위치에서의 저항값 변화가 E1과 E2의 그것에 비해 상대적으로 안정적인 것을 알 수 있는데, 이는 기판의 length 방향으로의 굽힘 응력이 width 방향으로의 그것보다 크기 때문이다. 이러한 결과는 NCF 접합부에서도 동일하게 나타났으며, 이를 통해 4점 반복 굽힘 시험의 경우 length 방향으로의 warpage가 width 방향으로의 그것보다 더 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 인가하중의 주파수에 따른 ACF와 NCF 접합부의 수명을 나타내는데, 그림을 통해 주파수가 높아지면 수명이 급격히 짧아지고, NCF 접합부의 수명이 ACF 접합부의 수명보다 훨씬 길다는 것을 알 수 있다. 주파수에 따른 수명의 변화를 통해 반복하중이 빠르게 가해질 경우 제품의 수명이 급격히 짧아질 수 있음을 추론할 수 있고, NCF 접합 샘플의 높은 수명을 통해 반복 굽힘하중에 대한 신뢰성은 초기 샘플의 강도에 의해 크게 지배됨을 알 수 있다.

한편 최근 KAIST에서는 adhesive 접합부의 박리시험을 통하여 OSP (Organic Surface Preservation) 표면처리 기술의 adhesive 적용 가능성을 시험하여 보고한 바 있다.¹⁶⁾ 이에 따르면, OSP 처리가 ACF와의 접합을 촉진하는 일종의 촉진제 역할을 하여 ACF와의 접합력을 향상시키고, 결과적으로 장기 신뢰성 시험 이후에도 OSP와 ACF와의 계면박리 현상을 현저히 줄여준다고 한다. Fig. 7이 해당 논문에서 나온 결과를 요약하고 있는데, Cu foil에 OSP 처리 없이 ACF를 통하여 기판과 접합 후 박리시험을 실시

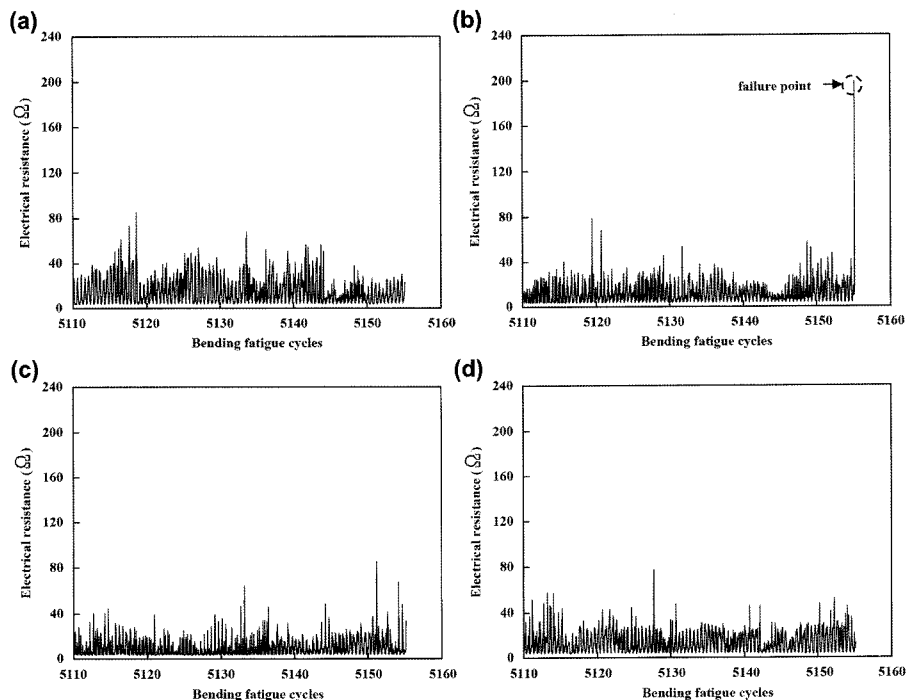


Fig. 5. Measured electrical resistance for the ACF package under bending fatigue test (1 Hz): (a) E1, (b) E2, (c) E3 and (d) E4 (see Fig. 4(c)).

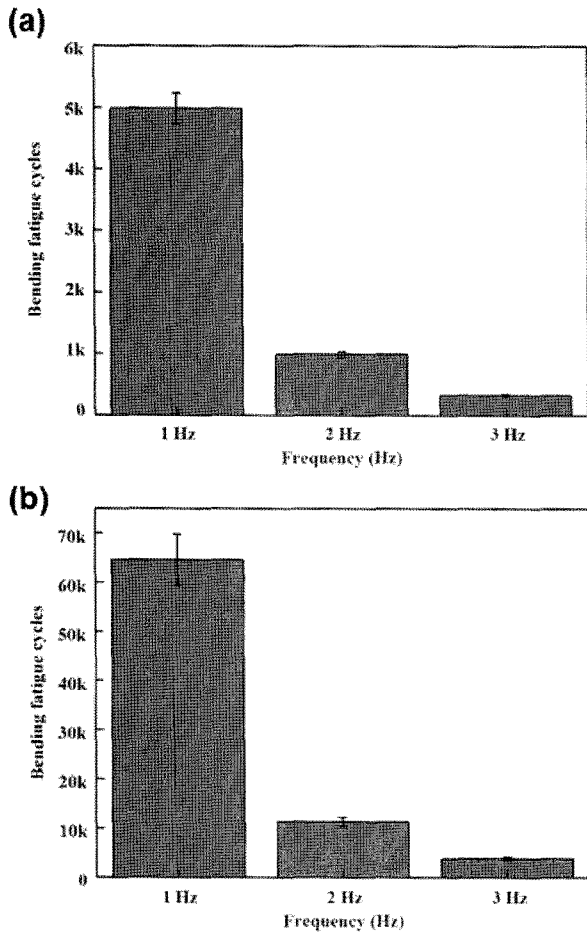


Fig. 6. Plots of bending fatigue cycles to failure for the packages with adhesives: (a) ACF and (b) NCF.

하면, Fig. 7 (a)에 나타나 바와 같이 ACF와 Cu foil의 계면에서 박리가 일어나지만, OSP 처리 이후 접합부를 시험한 경우 ACF 내부에서 파단이 발생한다고 한다. 이를 통해 기존의 ENIG 또는 bare Cu 보다는 OSP 처리가 기계적 신뢰성 향상에 더 도움이 될 수 있는 것으로 결론 내리고 있다.

4. Thermo-mechanical-hygroscopic reliability

전자 패키지의 열적 신뢰성을 평가하는 대표적인 시험법은 열충격 시험 또는 온도 싸이클 시험이지만, 대개의

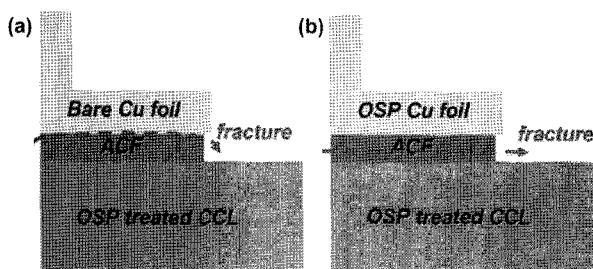


Fig. 7. Schematics of the fracture paths: (a) OSP CCL-bare Cu foil and (b) OSP CCL-OSP Cu foil.¹⁶⁾

경우 기판에 adhesive를 이용한 접합 이외에 솔더를 이용한 접합이 동시에 실시되므로 adhesive 접합 이후 솔더 리플로우에 의한 영향을 살펴보는 것도 필요하다.¹¹⁾ Fig. 8 (a)와 (b)는 각각 ACF와 NCF를 이용하여 접합한 패키지의 DC 전기 저항을 리플로우 횟수에 따라 측정한 결과이다. 본 논문에서도 Kelvin structure를 통하여 전기 저항을 측정하였고, 인가전류에 따라 측정 전압이 선형적으로 증가하게 되는 Ohmic contact의 경우에만 그 기울기를 저항값으로 그래프에 나타내었다. 여기서 리플로우 온도와 시간은 최고온도 240°C에서 1분으로 하여 반복 실시하였다. 또한 초기 플립칩 접합 시 접합력에 의한 영향도 살펴보기 위하여 접합력에 따른 DC 저항 변화치도 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8 (a)에 나타난 바와 같이 ACF 접합부의 경우 리플로우 횟수가 증가함에 따라 모든 접합력 조건에서 저항값이 증가하였다. 이는 ACF의 curing 온도 이상의 구간에서 일정 시간 유지되는 동안 matrix 및 전도성 입자의 팽창에 의해 접합부 면적이 줄어들었음에 기인한다. 이 중 적정 접합력 구간으로 사전 평가되었던 60N에서 70N 인가 샘플의 경우 약 100% 이상 저항이 증가하는 것으로 나타났지만, 이보다 높은 접합력으로 제작한 샘플의 경우 리플로우 2회 또는 3회 실시 시 Ohmic 현상이 더

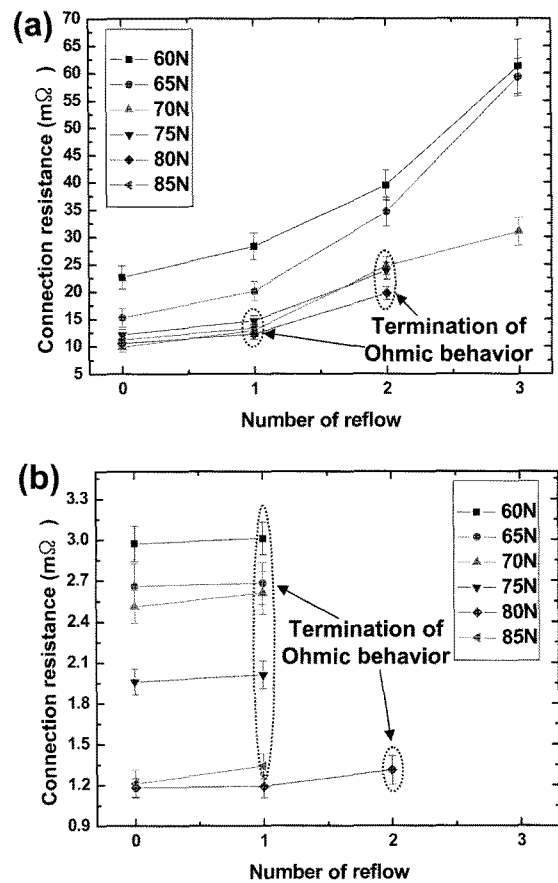


Fig. 8. Variations of connection resistance of joints bonded in various bonding forces with number of reflow: (a) ACF joints and (b) NCF joints.¹¹⁾

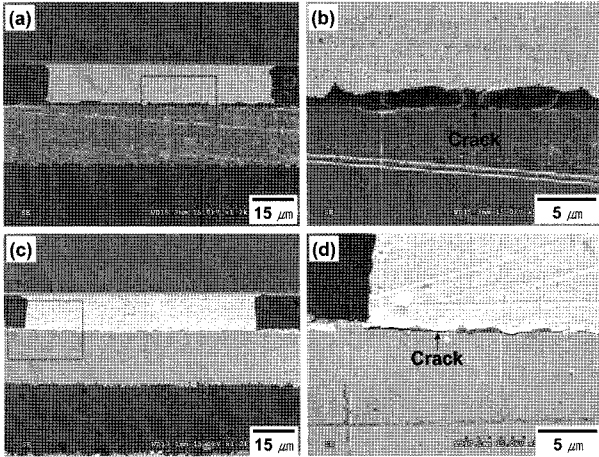


Fig. 9. Cross-sectional views of the reflowed adhesive joints; (a), (b) reflowed ACF joint for one time bonded in 85 N, and (c), (d) reflowed NCF joint for two times bonded in 85 N.

이상 나타나지 않는 것을 알 수 있다. Fig. 8 (b)에 나타난 NCF 접합부의 저항 측정치에서는 이러한 Ohmic 거동 파괴가 보다 빈번히, 그리고 보다 빠르게 나타남을 알 수 있었는데, 이를 통해 NCF 접합부의 경우 기계적 접합강도는 ACF보다 우수할 수 있지만 열적 신뢰성은 그렇지 못할 수도 있음을 알 수 있다.

이와 같은 Ohmic 현상의 파괴 원인에 대해 알아보기 위하여 리플로우 시험 후 단면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에 나타난 샘플들의 접합력은 모두 85N이었다. 그림에서 ACF 접합부의 경우 전도성 입자 하단부, 즉 ACF와 기판의 패드 부에서 층간 분리가 일어난 것을 알 수 있고, NCF 접합부의 경우 Au 범프와 패드 사이에 크랙 또는 층간 분리가 발생한 것을 알 수 있다. 이러한 층간 분리 또는 크랙의 발생은 금속과 금속간의 접촉을 불안정하게 만들어 결과적으로 Ohmic 현상의 파괴를 유도한 것으로 결론 내리고 있다. 이와는 별도로 초기 접합력을 상대적으로 낮게 설정하여 접합한 샘플의 경우 Fig. 9에서와 같은 층간 분리 또는 크랙이 발견되지 않았다. 반면 Au 범프와 패드 사이

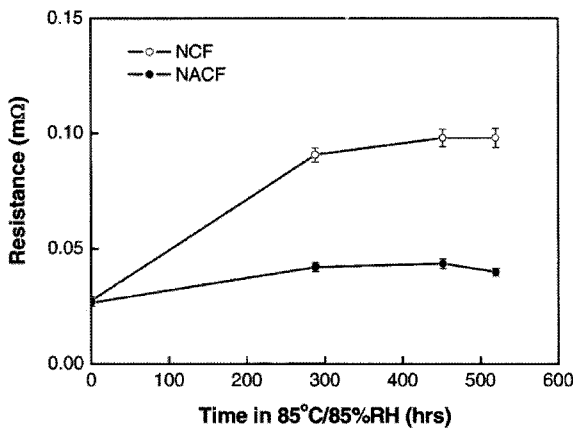


Fig. 10. Reliability of NCF and NCF containing nano Ag particles (NACF) under 85°C/85% RH.⁸⁾

의 간격은 크게 증가한 것을 확인할 수 있었는데, 이를 통해 Fig. 8에 나타난 DC 전기 저항 증가 원인을 알 수 있다.

최근에는 나노선과 나노입자 등을 이용하여 adhesive의 신뢰성을 향상시키려는 연구도 진행된 적이 있고^{8,17)}, NAND flash memory에서의 ACF 적용 가능성을 신뢰성 평가를 통해 확인하려는 연구도 KAIST에서 진행된 바 있다.¹⁸⁾ 나노 Ag 입자를 NCF에 합성하여 85°C/85% RH에서 신뢰성을 평가한 결과를 Fig. 10에 나타내었는데, 이와 같이 나노 사이즈의 Ag 입자를 NCF에 첨가하면 구조는 ACF와 유사해지지만, Ag 입자의 크기가 워낙 작기 때문에 극 미세피치 (30 μm이하)에도 적용 가능한 NCF의 특성 또한 가지게 된다. 논문에 따르면 나노 입자를 함유한 NCF의 초기 접촉저항치는 기존의 ACF에 비해 크게 작고 기존의 NCF와 유사한 값을 나타내며, Fig. 10에 나타난 바와 같이 신뢰성 시험이 진행되는 과정에서 기존 NCF에 비해 저항 증가치는 크게 낮은 것을 알 수 있다. 결과적으로 나노 사이즈의 금속 입자를 NCF에 함유시킬 경우 보다 우수한 신뢰성 및 낮은 초기 접촉저항을 달성할 수 있다고 논문은 결론을 내리고 있다. KAIST에서 발표한 최근 논문에 따르면 ACF는 기존의 디스플레이 분야에서의 여러 어플리케이션 외에도 NAND flash memory 등의 반도체 패키징 분야에도 적용될 수 있다고 한다.¹⁸⁾ Fig. 11에 그 예가 나타나 있는데, 논문에 따르면 다양한 신뢰성 평가 이후 분석 결과 ACF의 특성에 따라 다른 형태의 파괴 모드가 나타날 수 있고, 또한 접합조건 및 ACF 특성 최적화에 따라 보다 우수한 신뢰성 결과가 나올 수 있으므로 어플리케이션에 맞는 적절한 사전연구가 필요하다고 한다.

5. Electrical performance

Adhesive 접합부의 전기적 성능은 DC 신호가 흐를 경우에는 전기 저항으로, 고주파 신호가 흐를 경우에는 임피던스, S-parameter 등을 측정하여 평가할 수 있다. 고주파 신호전달 특성을 평가하기 위해서는 고주파 신호가 통과될 수 있는 회로가 되어야 하는데, 이 경우 그라운드

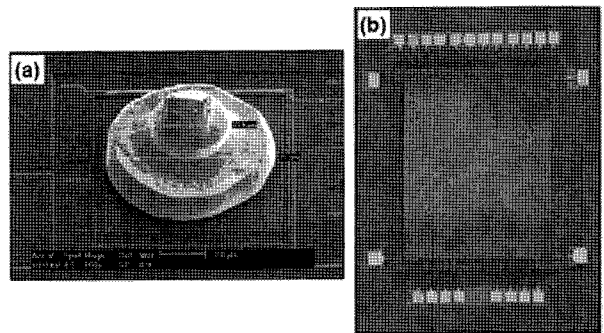


Fig. 11. Tilted top view of an Au stud bump on a chip (a) and photographic image of an ACF flip chip assembly (b).¹⁸⁾

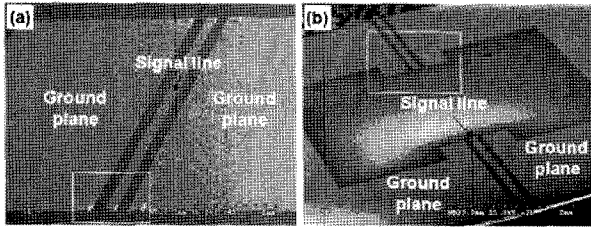


Fig. 12. SEM images of the active face of the Au-bumped CPW chip (a) and the CPW quartz substrate (b).

(ground)와 신호선 (signal line)의 간격 및 간격을 매우는 매질의 특성이 완전히 균일해야 하므로 일반적인 DC 신호전달 용 회로는 사용이 어렵다. 이 경우 가장 많이 사용하는 설계구조가 CPW (Co-Planar Waveguide) 및 마이크로스트립 (microstrip) 형태이다. CPW는 신호가 흐르는 신호선과 그라운드를 동일한 면에 형성하여 그 간격을 일정하게 함으로써 선로 내 동일한 특성 임피던스 (characteristic impedance)가 유지되게 하는 구조이고, 마이크로스트립은 신호선이 있는 면의 반대면 전체에 그라운드 면을 형성시킴으로써 모든 신호선이 동일한 레퍼런스 전위를 가지게 하는 구조이다. 어느 것이나 신호선과 그라운드 간의 간격이 일정하고 그 간격을 매우는 매질의 특성도 균일하게 제작해야 하므로, 일반 PCB를 이용한 CPW 혹은 마이크로스트립 기판 제작에는 어려움이 있다. 최근 발표된 논문에서 따르면 adhesive의 전기적 특성을 평가하기 위하여 기판을 quartz wafer를 이용하여 제작하였는데, 이 경우 제작 편의상 금속 패턴은 CPW 구조로 설계 및 제작하였다.¹⁹⁾ Fig. 12에 CPW 구조로 제작된 다이와 기판의 표면 형상을 나타내었다.

접합 이후에는 vector network analyzer (VNA)를 이용하여 신호선에 고주파 신호를 흘려주고, 이 때 측정된 전압값으로 다양한 파라미터를 추출하게 된다. 고주파 신호는 기판의 한쪽 패드 (포트)를 통해 인가되며, 이 시그널은 adhesive 접합부를 통해 칩으로 전달되고, 다시 반대편 접합부를 따라 내려와 최종적으로 기판의 상대 포트를 따라 빠져나오게 된다. 이때 각 포트에서 발생하는 전위값을 이용하여 S-parameter (Scattering-parameter) 그래프를 추출하게 되며, 이를 고주파 특성 해석에 이용하게 된다. 추출된 S-parameter 그래프는 기판과 다이에 형성된 신호선의 영향을 그대로 포함하고 있으므로 적절한 de-embedding algorithm을 통하여 플립칩 인터커넥트만의 고주파 특성을 추출하는 것이 중요하다. 이에 관한 자세한 내용 및 측정 세부사항 등은 참고문헌에 자세히 소개되어 있다.^{20,21)}

Fig. 13은 이러한 전기적 특성 평가 결과의 한 예를 나타낸다. 그림에 나타난 결과를 위하여 고주파 신호를 인가하기 위해서는 다이와 기판 모두 고주파에 적합하게 설계되어야 하는데, 이 연구에서는 이를 위하여 다이의 경우 GaAs로, 기판의 경우 quartz wafer를 이용하여 제작하였다. Quartz wafer는 SiO₂로 이루어져 비저항이 대단히

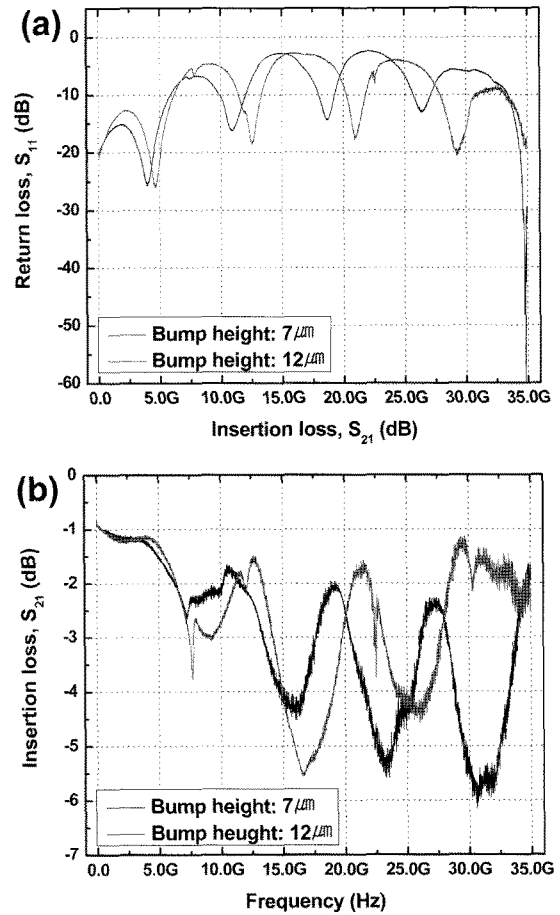


Fig. 13. Measured S-parameters of the flip chip module using NCF with different ENIG bump heights: (a) return loss (S₁₁) and (b) insertion loss (S₂₁).

높아 고주파 기판 재료로서 적합하며, Si 반도체 프로세스를 이용하여 금속패턴을 형성시킬 수 있으므로 정밀도가 높은 CPW 또는 마이크로스트립 형태의 기판을 제작할 수 있다는 장점이 있다. 이들의 금속 패턴은 기본적으로 50 Ω의 특성 임피던스를 가지도록 설계하게 되며, 이 연구에서도 이에 맞추어 회로를 설계하였다. Fig. 13은 이러한 GaAs 다이와 기판을 NCF를 이용하여 접합한 후 network analyzer를 이용하여 S-parameter를 측정된 결과를 나타내는데, 그림에서 알 수 있듯이 Au 범프의 높이가 달라질 경우 측정되는 S₁₁ (return loss)과 S₂₁ (insertion loss)이 다르게 측정되었다. 구체적으로 범프 높이가 높은 것의 공진 주파수가 다소 고주파 대역으로 이동한 것을 알 수 있고, 투과 손실의 정도도 약간 차이가 나는 것을 알 수 있다. 범프의 높이뿐만 아니라 대부분의 재료 및 구조 요소들이 고주파 성능에 영향을 끼치게 되므로 다양한 분석 및 해석을 통해 최적의 전기적 성능을 찾아내는 것이 중요하다고 할 수 있다.

신뢰성 평가 동향에서 소개한 나노 입자의 첨가는 장기 신뢰성뿐만 아니라 전기적 특성에도 영향을 끼칠 수 있으므로, 신뢰성 향상을 위해 나노 입자를 첨가하기 이전에 먼저 전기적 성능을 충분히 검증하는 것이 필요하다

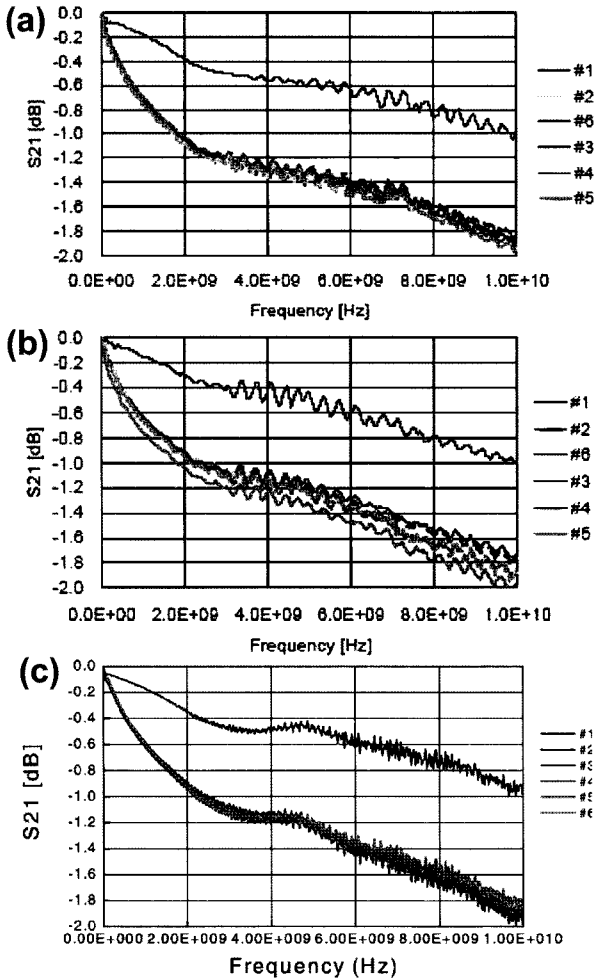


Fig. 14. Vector network analyzer measurement results: (a) typical ACF joints with micro-sized fillers, (b) NCF joints and (c) NACF joints.⁸⁾

다. 최근 연구 동향을 살펴보면 이와 관련된 결과가 나타나 있는데, Fig. 14 (a), (b) 및 (c)는 각각 ACF, NCF 및 나노 입자를 첨가한 NCF의 구조와 특성을 나타낸다.⁸⁾ 그림에서 알 수 있듯이 3가지 경우에서 거의 동일한 손실 계수가 측정되었고, 이를 통해 나노 입자의 크기, 조성 등을 보다 최적화 할 경우 보다 우수한 전기적 성능도 달성할 수 있을 것이라 결론을 내리고 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 대표적인 adhesive로 사용되고 있는 ACF와 NCF를 플립칩 패키지에 적용하였을 때의 다양한 신뢰성 및 특성평가 결과들을 리뷰하였다. 구체적으로는 ACF와 NCF 접합부의 전도 메커니즘을 알아보고, 이 메커니즘에 기반한 여러 실험 기법으로 패키지의 기계적, 열적 신뢰성 및 전기적 성능 평가 결과를 나타내었다. 전도성 입자의 유무에 따라 기계적 신뢰성 및 열적 신뢰성 결과가 다소 다르게 나타나는 것을 알 수 있었는데, 기계적 강도가 우수하다고 하여 열적 응력 하에서의 장기 신뢰성 또한 우수하게 나타나지는 않았다. 따라서 사용된

재료의 종류에 따라 특별히 취약한 환경을 찾기 위한 노력이 부가적으로 요구된다고 할 수 있겠다. 기본적인 전기적 성능은 vector network analyzer 등을 통해 평가할 수 있는데, 전기적 성능은 장기 신뢰성에도 영향을 미치게 되는 다양한 구조 또는 재료 요소들에 의해 크게 좌우되므로 이들을 동시에 고려하려는 노력이 또한 필요하다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구결과의 일부는 지식경제부 산하 산업기술연구회가 지원하는 협동과제의 지원으로 이루어진 결과입니다.

참고문헌

1. J. H. Lau, Flip Chip Technologies (McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 25-59 (1995).
2. J. H. Lau, Low Cost Flip Chip Technologies for DCA, WLCSP, and PBGA Assemblies (McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 1-17 (2000).
3. Jong-Woong Kim, Dae-Gon Kim, Won Sik Hong and Seung-Boo Jung, "Evaluation of Solder Joint Reliability in Flip-Chip Packages during Accelerated Testing", Journal of Electronic Materials, 34, 1550 (2005).
4. Jeong-Won Yoon, Bo-In Noh, Young-Ho Lee, Hyo-Soo Lee and Seung-Boo Jung, "Effects of isothermal aging and temperature-humidity treatment of substrate on joint reliability of Sn-3.0Ag-0.5Cu/OSP-finished Cu CSP solder joint", Journal of Alloys and Compounds, 48, 1864 (2008).
5. De-Shin Liu, Chia-Yuan Kuo, Chang-Lin Hsu, Geng-Shin Shen, Yu-Ren Chen and Kuo-Cheng Lo, "Failure mode analysis of lead-free solder joints under high speed impact testing", Materials Science and Engineering A, 494, 196 (2008).
6. Jung-Sub Lee, Kun-Mo Chu, Rainer Patzelt, Dionysios Manassis, Andreas Ostmann and Duk Young Jeon, "Effects of Co addition in eutectic Sn-3.5Ag solder on shear strength and microstructural development", Microelectronic Engineering, 85, 1577 (2008).
7. Yi-Shao Lai, Po-Chuan Yang and Chang-Lin Yeh, "Effects of different drop test conditions on board-level reliability of chip-scale packages", Microelectronics Reliability, 48, 274 (2008).
8. Yi Li, Myung Jin Yim, Kyoung Sik Moon and C.P. Wong, "Novel Nano-Scale Conductive Films With Enhanced Electrical Performance and Reliability for High Performance Fine Pitch Interconnect", IEEE Transactions on Advanced Packaging, 32, 123 (2009).
9. J. H. Constable, "Analysis of the Constriction Resistance in an ACF Bond", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 29, 494 (2006).
10. J. Liu, "Recent advances in conductive adhesives for direct chip attach applications", Proceedings of the First IEEE International Symposium on Polymeric Electronics Packaging, 107 (1997).
11. Jong-Woong Kim, Dae-Gon Kim, Young-Chul Lee and Seung-Boo Jung, "Analysis of Failure Mechanism in Aniso-

tropic Conductive and Non-Conductive Film Interconnections”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 31, 65 (2008).

12. Myung-Jin Yim and Kyung-Wook Paik, “Design and Understanding of Anisotropic Conductive Films (ACFs) for LCD Packaging”, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A, 21, 226 (1998).

13. Jong-Woong Kim, Dae-Gon Kim, Ja-Myeong Koo, Jeong-Won Yoon, Sunglak Choi, Kyung-Sik Kim, Jae-Do Nam, Hoo-Jeong Lee, Jinho Joo and Seung-Boo Jung, “Characterization of Failure Behaviors in Anisotropic Conductive Interconnection”, Materials Transactions, 48, 1070 (2007).

14. Ranjith Divigalpitiya, “Electrical Characteristics of Contacts Made With Anisotropic Conductive Adhesives: Current Density Distributions at the Contact”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 31, 216 (2008).

15. Bo-In Noh, Jeong-Won Yoon, Jong-Woong Kim, Jong-Bum Lee, Noh-Chang Park, Won-Sik Hong and Seung-Boo Jung, “Reliability of Au bump flip chip packages with adhesive materials using four-point bending test”, International Journal of Adhesion and Adhesives, 29, 650 (2009).

16. Hyoung-Joon Kim and Kyung-Wook Paik, “Adhesion and Reliability of Anisotropic Conductive Films (ACFs) Joints on Organic Solderability Preservatives (OSPs) Metal Surface Finish”, Journal of Electronic Materials, 37, 1003 (2008).

17. Hsien-Chie Cheng, Wen-Hwa Chen, Chieh-Sheng Lin, Yung-Yu Hsu and Ruoh-Huey Uang, “On the Thermal-Mechanical Behaviors of a Novel Nanowire-Based Anisotropic Conductive Film Technology”, IEEE Transactions on Advanced Packaging, 32, 546 (2009).

18. Kyung-Woon Jang, Chang-Kyu Chung, Woong-Sun Lee and Kyung-Wook Paik, “Material properties of anisotropic conductive films (ACFs) and their flip chip assembly reliability in NAND flash memory applications”, Microelectronics Reliability, 48, 1052 (2008).

19. Jong-Woong Kim, Young-Chul Lee, Sang-Su Ha, Ja-Myeong Koo, Jae-Hoon Ko, Wansoo Nah and Seung-Boo Jung, “Electrical characterization of adhesive flip chip interconnects for microwave application”, Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, MOEMS, 72, 023007 (2008).

20. Myung Jin Yim, In Ho Jeong, Hyung-Kyu Choi, Jin-Sang Hwang, Jin-Yong Ahn, Woonseong Kwon and Kyung-Wook Paik, “Flip Chip Interconnection With Anisotropic Conductive Adhesives for RF and High-Frequency Applications”,

IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 28, 789 (2005).

21. Jong-Woong Kim, Wansoo Nah and Seung-Boo Jung, “Transmission property of flip chip package with adhesive interconnection for RF applications”, Microelectronic Engineering, 86, 314 (2009).



- 김종웅(金鍾雄)
- 1978년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 패키징 연구소
- 전자 패키징, RF 패키징
- E-mail : wyjd@skku.edu



- 이영철(李潑澈)
- 1983년생
- 성균관대학교 신소재공학과 대학원
- 전자 패키징, RF 패키징
- E-mail : scien83@skku.edu



- 노보인(盧寶仁)
- 1976년생
- 성균관대학교 신소재공학과
- 전자 패키징, 패키지 신뢰성
- E-mail : nohbi@skku.edu



- 윤정원(尹貞元)
- 1977년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 패키징 연구소
- 전자 패키징, 패키지 신뢰성
- E-mail : jwy4918@skku.edu



- 정승부(鄭承富)
- 1959년생
- 성균관대학교 마이크로 전자 및 반도체 패키징 기술개발 사업단
- 전자 패키징 공정, 3-D 패키지
- E-mail : sbjung@skku.ac.kr