

전자패키지 신뢰성 평가를 위한 광학적 측정 기법

전자제품의 시장요구에 맞추어 전자패키지가 가볍고 얇고 복잡한 형태로 되어 감에 따라 전자패키지의 신뢰성이 매우 중요한 문제로 되어가고 있다. 이를 해결하기 위하여 다층화 미세 구조화된 전자패키지의 변형을 측정하고 평가할 수 있는 광학적인 기술들을 소개한다.

양 세 영 / 삼성전자, 선임연구원
이 순 복 / 한국과학기술원 기계공학과, 교수

e-mail : sblee@kaist.ac.kr

신뢰성 평가의 필요성

이제는 우리가 살아가는 사회가 정보기술시대로 되어가므로, 반도체산업의 발전과 더불어 더 많은 양의 정보를 경박 단순화된 제품에 넣어 다니고자 하는 소비자의 요구가 커졌다. 더 나아가 휴대용 기기의 기능이 디지털화를 지향하면서 다양한 기능의 반도체 소자를 보다 작은 전자제품 안에 집적하기 위해서 MCP(Multi Chip Package), SIP(System In Package), MSP(Multi Stack Package)와 같이 전자 패키지의 구조가 새롭고 복잡한 형태로 발전하게 되었다. 이러한 구조의 변화는 전자 패키지 개발과 기계적 신뢰성 연구분야에 새로운 바람을 불어넣었으며 빠른 시장 요구와 무결점(zero defect)에 대응하기 위한 예측 신뢰성 평가 기법의 중요성을 대두시켰다. 전자 패키지 설계 단계에서의 발빠른 신뢰성 평가는 파손 양상을 제조 이전에 알아 내어 실제 운전 중에 파손이 일어날 확률을 산출하고 그 파손을 방지하기 위한 설계 향상을 꾀하여 개발 기간과 단가를 낮추고 경쟁력을 높이는 효과를 가져다 준다

전자 패키지에서 발생하는 기계적 파손의 유형은 패키지 열 변형에 의한 접합부의 층간 분리, 접착 계면에서의 균열 발생과 진전, 소더 조인트의 피로파손 등이며 설계단계에서의 파괴역학적 해석 및 피로강도 해석기술과 관련된 기계적 신뢰성의 확보가 중요하다. 전자 패키지의 구조적 신뢰성을 향상시키기 위해서는 상기된 파손 양상을 유발하는 파손 기구를 명확히 이해하여 이를 대변할 수 있는 파손 인자를 결

정할 수 있는 해석, 실험, 그리고 평가 기법이 복합적으로 필요하며 결정의 정확도를 높이기 위해서 세 가지 기법의 상호 보완/검증의 절차가 필수적이다. 전자 패키지와 같은 복잡한 구조의 해석은 그 구조를 단순화하여 탄성 해를 구하는 것보다 유한요소법과 같은 수치해석을 통해 파손인자를 추출하며 신뢰도 조건의 TC(Thermal Cycle) 수명, 열 충격 수명, 기계적 굽힘 수명 등의 평가 기법을 통해 확률적 수명 데이터를 축적한다. 다양한 실험 기법 중 전자 패키지와 같이 작고 복잡한 거동을 보이는 구조에 대해 비접촉식이고 미소 국부 변형을 고분해능(측정 가능한 최소 변형 수준)으로 측정할 수 있으며 전체 변형(whole field) 거동 측정이 가능한 광학적 측정 기법이 그 응용성과 적합성에 있어서 탁월하다. 전자 패키지의 신뢰성 평가를 위한 광학적 측정 기법은 크게 그 원리에 있어 기하학적 광학 기법(geometric optical method)과 간섭식 광학 기법(interferometric optical method)으로 분류될 수 있고 측정 방식에 따라 면내 변위법(in-plane)과 면외 변위법(out-of-plane)으로 구분된다.

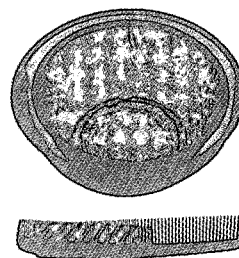


그림 1 일상 생활에서의 모래레 무늬

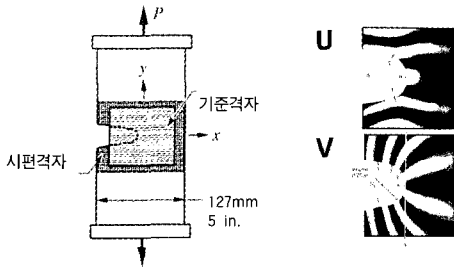


그림 2 면내 변위 측정을 위한 모아레 기법

기하학적 광학 기법

격자간 간격, 피치(pitch)가 미소하게 다른 두 개의 규칙적인 격자가 겹쳐지면 그림 1과 같이 모아레 무늬가 형성된다. 이는 주파수가 약간 다른 두 고주파 파동이 중첩되면 저주파의 맥놀이 파동이 파생되는 것과 같은 원리로 이해할 수 있다. 모아레 무늬의 가장 큰 특징은 눈으로는 인지할 수 없는 두 격자간의 미소 이동 또는 미소 피치 변화를 증폭해서 나타내어준다는 것이다. 이러한 원리를 응용하여 전자패키지의 미소 변형을 측정하기 위한 기하학적 광학 기법에는 모아레 기법(면내 변위), 그림자식 모아레 기법(면외 변위), 영사식 모아레 기법(면외 변위)이 존재한다. 모아레 기법은 그림 2와 같이 피치가 동일한 두 격자 중 하나는 변형될 시편에 부착하고 다른 하나는 시편 전면에 중첩시켜 실시간으로 모아레 데이터를 획득하여 이를 통해 면내에 발생한 변형 또는 변형률을 산출한다.

면외 변위를 측정하기 위한 그림자식 모아레 기법은 그림 3과 같이 시편에 근접한 기준 격자와 격자를 통해 생성된 그림자 간의 중첩에 의해 휨양상(warpage)을 실시간으로 측정하게 된다.

영사식 모아레 기법(그림 4)은 측정 표면 위에 규칙성을 갖는 격자 패턴을 변형 전과 후에 각각 조사한 후 이 두 데이터를 중첩하여 모아레 무늬를 얻는다. 영사식 모아레 기법 역시 실시간 이미지 처리를 적용하거나 광학계에 변화를 가하여 실시간 측정이 가능하다.

난반사면 측정이 가능한 기하학적 광학 기법의 장점은 측정을 위한 시편 준비과정이 필요 없고 그 응용 폭이 넓어 금속 리드프레임(lead frame), 회로

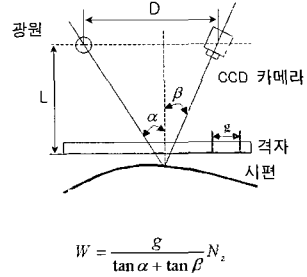


그림 3 그림자식 모아레 기법의 개략도(면외 변위)

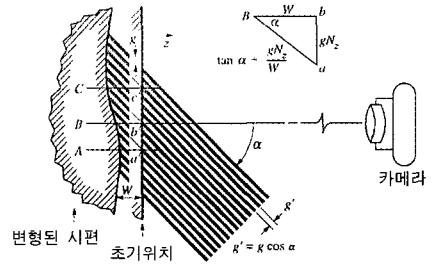


그림 4 영사식 모아레 기법의 개략도(면외 변위)

기판(PCB), EMC(Epoxy Molding Compound), bare die 등 다양한 형태의 전자패키지의 변형 측정이 가능하다는 것이다. 그 외에도 측정 분해능과 측정범위를 주어진 문제에 적합하게 격자 피치의 조절을 통해 쉽게 변화시킬 수 있다. 더 나아가, 광학계 구성 비용이 저렴하다는 강점을 지닌다. 그러나 보다 미소한 변형을 측정하기 위해 분해능을 증가시키는 데 기술적/광학적으로 한계가 존재해 기하학적 기법은 상대적으로 큰 시편의 큰 변형(100~10 μ m 수준)을 측정하는 데 폭넓게 이용되고 있으며 보다 작은 변형(<10 μ m)을 측정하기 위해서는 이와는 차별화된 간섭식 광학 기법이 존재한다.

간섭식 광학 기법

기하학적 광학 기법의 분해능이 격자의 피치에 의해 결정되는 반면 간섭식 광학 기법은 광원의 파장에 의해 정의된다. 일반적으로 단파장 평행 레이저광을 광원으로 사용하므로 0.3~0.6 μ m의 고분해능의

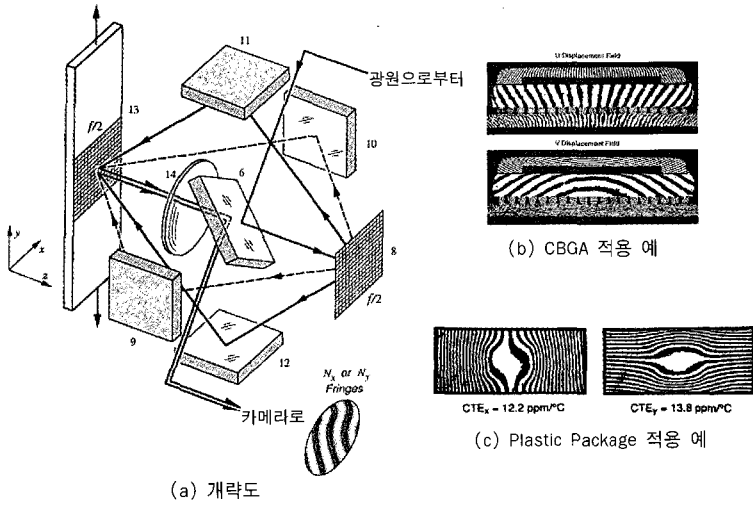


그림 5 면내 변위 측정을 위한 모아레 간섭계

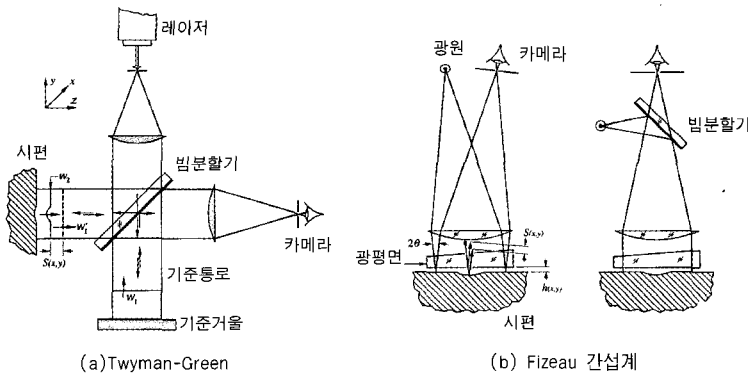


그림 6 간섭식 면외 변위 측정법의 개략도

구현이 가능하다. 측정면이 반사면이어야 되는 제한점이 존재하나 간섭무늬의 위상 값을 추출하는 위상천이기법 등을 적용하면 그 분해능이 0.01 μm 영역까지 향상되는 첨단 기법이다. 간섭식 광학 기법에는 반사식 모아레 간섭계(면내 변위), Twyman-Green 간섭계(면외 변위), Fizeau 간섭계(면외 변위) 등이 존재하며 비반사면에 적용이 가능한 전자스패클 패턴 간섭계(면내/면외 변위) 등이 존재한다.

반사식 모아레 간섭계는 측정하고자 하는 면에 고주기(800~2,000lines/mm) 회절 격자를 부착하고 단파장 평행 레이저광을 양방향에서 조사하여 그 때 반사되어 나오는 두 빛의 간섭무늬를 통해 미소 면내 변위를 측정하는 기법이다. 본 기법을 통해

전자 패키지의 제조/사용 단계에서의 열적/기계적/Hygro 변형 등을 측정할 수 있으며 그 응용의 폭은 기존의 L/F 패키지에서 최근의 BGA, Flip-chip, MCP, 그리고 향후의 SIP, SOC 등 광범위하다(그림 5). 반사면의 면외 변위를 측정하기 위한 Twyman-Green과 Fizeau 간섭계의 개략도는 그림 6과 같다. 면외 변위가 없는 이상적인 광 평면(optical flat)에서 반사되어 나오는 파면(wave front)과 변위가 존재하는 시편 표면에서 반사되어 나오는 파면이 중첩되어 발생하는 간섭무늬를 통해 미소 휨 양상을 측정한다. 최근의 전자 패키징은 back-lap을 통한 die thinning 공정으로 반사면을 쉽게 얻을 수 있어 제조 공정 시 발생하는 chip의 휨 양상을 측정할 수 있으며 박막(thin film) 구조의 열적/기계적 변형 측정에도 폭

넓게 응용이 가능해 향후의 WLP(Wafer Level Packaging)와 MEMS 패키징에도 적용이 가능하다. 전자 스패클 패턴 간섭계(ESPI : Electronic Speckle Pattern Interferometer)는 단파장 레이저 광원을 비 반사면에 조사하였을 때 반사된 빛들의 상호 다중 중첩에 의해 생성되는 고유의 간섭 무늬인 스패클 패턴을 이용하여 변형을 측정한다. 변형 전의 기준(reference) 스패클 패턴을 저장한 후 변형 후와 중첩하여 간섭 무늬를 획득한다. 시편 준비 과정이 필요 없고 실험 setup이 상대적으로 간단한 장점이 있지만 측정 해상도가 떨어져 갈수록 작아지는 전자 패키지에 대응하기에는 한계가 있다.

전자 패키지 미소 변형 측정을 통한 신뢰성 평가를 위해서는 극고온/극저온 상태에서, 또는 기계적 하중 상태에서 실시간으로 측정 가능하여야 하며 위에서 소개된 기법들은 열 챔버나 미소인장시험기에 장착되어 그 역할을 원활히 수행하고 있다. 이들 기법들을 이용한 측정 데이터의 재현성 및 정확성은 이미 검증 단계를 넘어서 성숙 단계에 와있다. 더 나아가, 보다 높은 분해능을 실현하고 데이터 해석의 편리를 위해 위상천이기법, 노이즈 필터링, 실시간 변형을 해석과 같은 이미지처리 기법과의 연계가 활발히 이루어지고 있다. 한편, 위에 소개된 광학 측정기법들 외에도 WSI(White-light Scanning Interferometer), Shearing 간섭계, PMP(Phase Measuring Profilometry), DIC(Direct Image Correlation) 등 최근 각광을 받고 있는 다양한 측정 방법들이 존재한다. 재미있는 사실은 소개된 다양한 기법들은 모두 나름대로의 장점이 있는 반면 단점 또한 지니고 있어 주어진 엔지니어링 문제를 모두 해결해 줄 수 있는 수퍼 측정기는 없다는 것이다. 고분해능을 위해서는 측정 범위가 희생되어야 하며 실시간을 위해서는 정확도의 수준을 낮출 수밖에 없다. 측정장비를 판매하고자 하는 업체의 카탈로그에만 의존해서는 안되고, 냉철하고 객관적으로 측정 원리를 숙지하고 그 효용성을 타진해야 한다. 전자 패키지의 변형 거동과 같이 다양한 재료가 만나 복잡한 거동을 하는 엔지니어링 문제를 해결하기 위한 바람직한 자세는 측정 원리를 정확히 이해하여 그

문제에 맞도록 재구성하는 것이며 이 때 가장 필요한 요소가 측정자의 노하우일 것이다.

전자 패키지의 변형을 정확히 측정하면 파손이 유발된 메커니즘을 이해할 수 있고 그 메커니즘을 대변할 수 있는 파손인자의 실험치를 확보할 수 있으며 기타 다른 해석/평가 기법의 결과와 상호 비교 검증할 수 있다. 실험을 통한 전자 패키지 기계적 신뢰성 평가 기술이 광범위하게 적용될 경우 설계 단계에서의 품질 인증 작업을 통해 개발 주기가 빠른 패키지 시장에서 재설계에 따른 비용을 절감할 수 있으며, 좀더 가혹한 환경에서 사용 가능한 부품/제품의 개발, 유지를 통해 기존 시스템의 효율성이 증가됨은 물론 극한 환경 제품이라는 새로운 시장에 참여할 수 있는 기회도 얻을 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- (1) Se Young Yang, "Reliability Evaluation for Flip-Chip Electronic Packages Using Optical Measurement Techniques", Ph.D. Thesis, DME 20005180, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST), 2005.
- (2) D. Post, B. Han, P. Ifju, "High Sensitivity Moire", Springer-Verlag (New York, 1994).

기계용어해설

홀센서(Hall Sensor)

전자유도에 의한 홀 효과를 이용한 Pick-up 센서, rpm 측정 및 물체의 유무 감지와 근접(Gap) 센서로도 이용

초미세발포 플라스틱 기어(Microcellular Plastic Gear)

폴리머 내부에 30m 이하의 미세한 크기를 갖는 많은 기포들이 생기도록 사출성형한 플라스틱 기어