

패턴 인식을 통한 미소 구조물의 변형 측정 기법 개발

박태상* · 백동천* · 이순복**

An Experimental Technique with Pattern Recognition for Deformation Measurement of Small Structures

T. S. Park, D. C. Baek and S. B. Lee

Abstract

For an accurate measurement of the material behavior of small structures, a new optical experimental technique is proposed to measure the deformation. The test method uses the dual microscope that can measure the relative deformation of two adjacent regions. The magnified view is captured by CCD cameras and the relative deformation can be measured by the pattern matching and tracing method. Using this experimental technique, the deformation of solder joints in electronic packaging and the strain of the nickel thin film are measured.

Key Words : Dual Microscope, Pattern Recognition, Nickel Thin Film, Solder Joint, Deformation Measurement.

1. 서 론

집적회로기술과 반도체 기술 발전에 따라 반도체 소자는 고성능, 고기능화가 꾸준히 이루어져 왔다. 이에 따라 반도체 실장 기술에 있어서도 이러한 고성능, 고기능화의 요구에 부응하기 위하여 집적화와 소형화가 이루어져 왔으며, 미세가공기술에 의한 마이크로센서등과 같은 MEMS 구조물의 부각은 미소 구조물의 영역을 더욱 넓혀 왔다. 이러한 미소 구조물은 실리콘(Silicon)재료 및 금속 재료 등으로 다양화되고 있으며 그 크기가 수 밀리미터에서 수 마이크로미터에 이르고 있다. 미소 구조물

은 기계적 특성이 두께나 기하학적 요소 및 공정, 환경에 의해서 큰 영향을 받기 때문에 벌크(bulk)재료와는 크게 다른 값을 갖게 되어, 기존에 구조물의 변형을 측정하기 위해 사용하던 스트레인 게이지 나 extensometer 등과 같이 비교적 큰 시편의 변형률 측정을 통하여 얻은 물성을 미소 구조물의 변형 해석에 사용하는데 어려움이 있다. 따라서 미소 구조물의 설계 및 신뢰성 확보를 위해 재료 물성의 측정 방법이 강구되어야 하며, 특히 변형 측정 방법에 있어 비접촉, 고정밀도를 요하는 측정방법이 절실하게 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 패턴 인식을 통한 변형률 측정 방법을 개발하고 이

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

를 반도체 패키징의 소더 조인트의 변형 측정 및 니켈 박막의 물성 측정에 응용하여 그 가능성을 검토하였다.

2. Dual Microscope의 개발

지금까지 박막의 평면 변형률을 측정하기 위한 연구로, ISDG (Interferometric Strain/Displacement Gage)를 사용하거나 Speckle moire를 이용한 변형장 측정과 같은 연구가 이루어져 왔다.^(1~2) 그러나 ISDG를 박막 시편에 적용하기 위해서는 굵으로 만든 마커(marker)를 추가로 제작하여야 하고, 레이저와 프린지 디텍터 (fringe detector)를 이용한 장비를 셋업하고 구동하는데 많은 노력을 필요로 한다. 또한 Speckle moire는 시편에 레이저를 조사할 때 생기는 speckle 패턴을 이용하여 변형장을 얻지만, 처리 속도가 낮고 필요한 해상도를 얻는데 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 dual microscope를 이용한 시편의 평면 변형을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 dual microscope를 제작하고 이를 이용한 변형률 측정방법을 제안하였다.

현미경은 작은 시편의 형상이나 크기를 측정하는데 일반적으로 사용되어왔으며, CCD 카메라를 이용한 패턴 인식 및 패턴 추적 기술과 접목되어 앞서 인식한 패턴의 위치를 추적하는 기술도 활발히 개발되고 있다. 그러나 CCD 카메라 해상도의 제한으로 인하여 한 화상에서 잡힌 이미지만으로 시편의 변형률을 측정하는 것에는 한계가 있다. 일반적인 640×480의 해상도를 갖는 CCD 카메라의 경우 현미경의 배율과 관계없이 최대 픽셀당 0.15%의 변형률을 측정할 수 있는 정도의 해상도를 갖는다.

본 연구에서 개발된 dual microscope는 0~1.5mm 사이의 간격으로 떨어진 두 점을 각각 확대하여 얻은 영상으로부터 패턴 인식을 통하여 얻은 각 위치에서의 변위를 계산하여 변형률을 얻는다. 이 방법은 임의의 시편에 대하여 모두 적용할 수 있고, dual micrometer로부터 획득한 영상 사이의 간격과 배율을 조정하여 해상도를 임의로 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다.

변형률 측정 과정은 먼저 CCD 카메라의 픽셀 당 변위 정보를 알기 위해 100 마이크로 미터 간격으로 표시된 기준 격자를 대상으로 경계추출 알고리즘을 사용하여 보정을 수행한다. 두 CCD 카메라의 거리를 조절 나사를 통해 원하는 양만큼 이송시킨 후, dual microscope를 측정 대상물에 고정시킨다. 얻어진 화상으로부터 눈에 띄는 추적 가능한 패턴 형상을 획득하고 이 패턴 형상이 변형하는 시편 이미지에서 이송되는 양을 추적하였다. 본 연구의 실험에서 이미지 획득, 패턴 추적에 소요

되는 시간은 대략 80ms로, 대부분의 경우 1초에 10회의 데이터를 안정적으로 얻을 수 있었다. Fig. 1 에 개발된 dual microscope를 나타내었다.

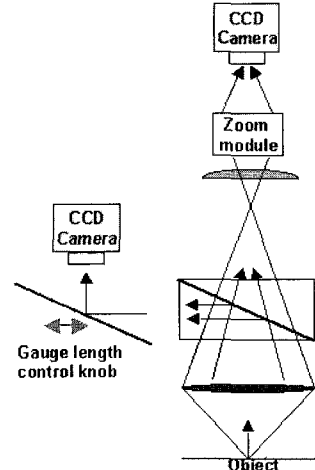


Fig. 1 (a) Schematic diagram of dual microscope

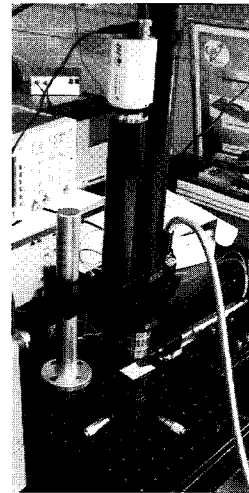


Fig. 1 (b) Photograph of dual microscope

3. 전자패키지 소더 조인트의 변형 측정

표면 실장형 전자 패키지 기술의 경박 단소화로 인하여, BGA(Ball Grid Array)를 이용한 표면 실장 기술은 특히 널리 쓰여지고 있다. 서로 다른 열팽창 계수를 갖는 재료들로 구성되어 있는 전자 패키지는 전원 공급, 외부 환경 온도의 변화 등에 의한 열응력에 노출되어 있으며, 특히 BGA 소더 조인트의 경우 리드(lead) 없이 소

더 재료만으로 열하중을 지지하게 되어 소더의 저주기 피로가 파손의 큰 원인으로 지적되어 왔다. 이 소더 조인트의 기계적 신뢰성을 평가하기 위해 Fig.2와 같은 시험기가 구성되었다.⁽³⁾

현재 이 시스템은 모터구동방식 정밀변위시험기, 하중 및 변위를 측정할 위한 주변 측정기기, 시험기 제어와 실험데이터의 저장을 위한 퍼스널 컴퓨터로 이루어져 있다. 이송부를 움직이는 제어부는 모터 드라이버(driver)와 제어용 PC로 구성되는데, 펄스신호발생과 데이터 수집에는 상용 보드(data acquisition board)를 사용하였다. 퍼스널컴퓨터와 인터페이스를 통해 실험 중 측정되는 신호를 실시간(real time)으로 분석, 저장할 수 있는 데이터 분석 프로그램을 자체 제작하여 실험의 자동화를 꾀하였다. Fig. 2 에 실험기를 나타내었다.

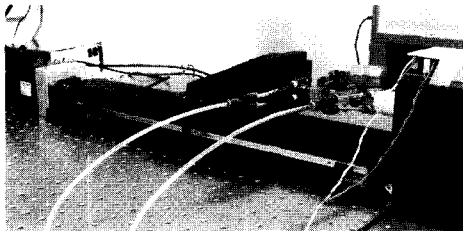


Fig. 2 Micro-mechanical tester



Fig. 3 Solder joints specimen

제작된 시험기를 이용하여 소더 범프의 피로 실험을 수행하였다. Fig. 3와 같은 소더 범프 시편을 제작하였다. 제작된 소더 조인트 시편은 실제 plastic BGA에 사용되는 소더 조인트와 동일한 형상과 조성을 갖도록 제작되었다. 이 피로 시편은 760 μ m의 지름을 갖는 4개의 소더볼을 사용하여 범핑(bumping)과 조인팅(jointing), 두 번의 리플로우 과정을 통해 두 PCB (printed circuit board) 사이에 소더 조인트를 형성 시켰다.

시편의 변위를 측정하기 위하여 그립 양단에 Fig. 4 과 같이 LVDT를 고정시켜 상대변위를 feedback 제어 하였다. 시험기 제어를 위해 제어 PC에서 펄스(pulse)를



Fig. 4 AC LVDT and grips for measuring the relative displacement between specimen grips

입력하여 구동하도록 하였고, 제어 가능한 이송거리가 50nm가 되도록 시험기를 구성하였다. 소더 조인트에 가해지는 변형만을 측정하기 위하여 LVDT를 될 수 있는 한 시편에 가깝게 위치시키는 하였으나, LVDT로 측정하는 변위는 그립부와 PCB, 시편을 부착시키기 위한 접착제의 변형이 포함되어 있다. 이를 보정하기 위하여 Fig. 5, 6 과 같이 PCB 만의 하중 변위 신호를 얻어 LVDT 신호를 보정하고, dual microscope로 이를 검증 하였다.

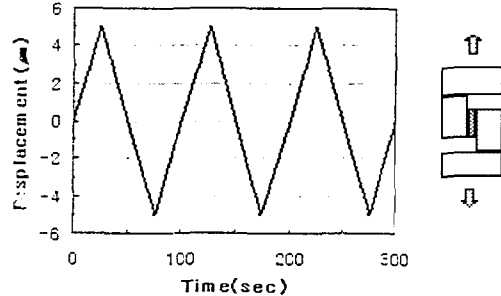


Fig. 5 Applied displacement profile to calibrate machine stiffness

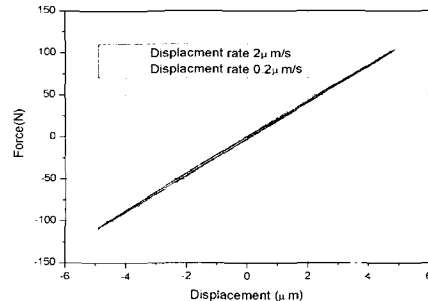


Fig. 6 Force versus parasitic displacement with varying the displacement rate

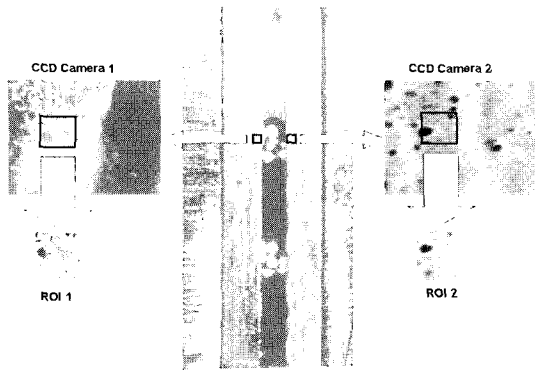


Fig. 7 CCD camera images of dual microscope on solder joints specimen

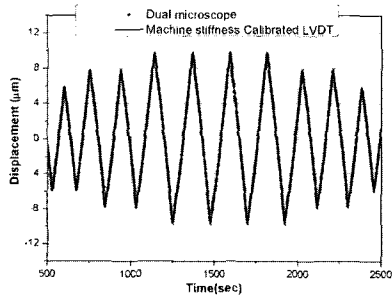


Fig. 8 Dual microscope measurement and machine stiffness calibrated LVDT measurement

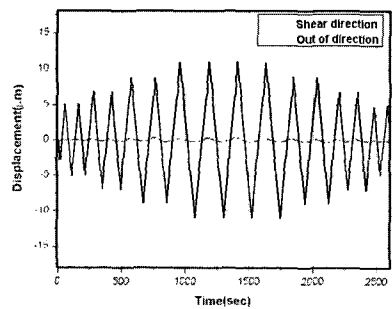


Fig. 9 Two dimensional deformation of solder joints

Fig. 7과 같이 0.52mm의 높이를 갖는 소더 조인트 양 끝의 위치에 dual microscope의 두 CCD 카메라를 위치 시키고, 패턴으로 취할 ROI (region of interest)를 선택 해 그 패턴의 이송량을 측정하여 소더 조인트 양단의 상대적 변위를 얻었다. 각 카메라의 시야 영역의 크기는 $200 \times 150 \mu\text{m}$ 이며, 이때 ROI의 이송 측정의 분해능은 픽셀당 약 0.3마이크로이며 서브 픽셀 (sub pixel) 알고리

즘을 통해 더욱 향상 시킬 수 있었다. Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 보정된 LVDT 신호가 dual microscope 를 통해 얻은 변형과 정확히 일치함을 확인 할 수 있으며, 아울러 Fig. 9 는 2차원 변형 측정을 통해 축에서 벗어난 방향의 변형을 정량화 하여 나타낸것이다.

4. Nickel 박막의 변형 측정

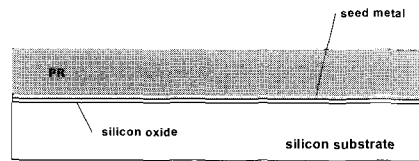


Fig. 10 (a) oxidation & CVD and PR coating

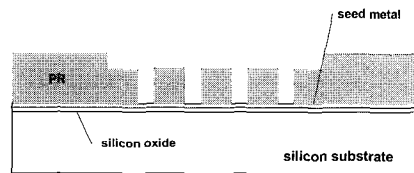


Fig. 10 (b) MESD(multi expose single develop)

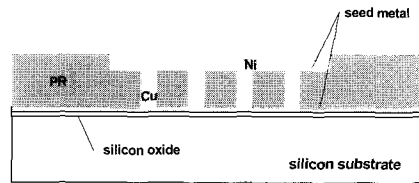


Fig. 10 (c) electro plating

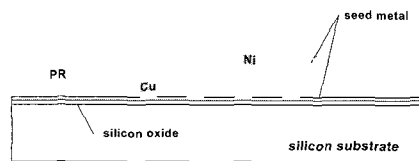


Fig. 10 (d) remove PR

MEMS 구조물로 많이 쓰이는 nickel 박막의 기계적 물성을 측정하기 위해서 인장 실험을 수행하였다. 실험을 위해 반도체 공정을 이용하여 시편을 제작하였다.

Fig. 10과 같이 실리콘 웨이퍼에 산화층을 형성시켜 stress buffer 층을 만들고 전기 도금을 위한 seed 메탈을 CVD (chemical vapor deposition) 한 후, $100 \mu\text{m}$ 이상의 두꺼운 PR(photo resistance AZ9690)을 코팅하여 올

렸다. 두 번의 노광과 develop을 통해 PR 물드를 제작하고, 전기 도금 방법으로 seed 메탈이 노출된 곳을 통하여 구리 베이스를 만들고, 그 위에 다시 seed 메탈을 올린 후 전기 도금으로 시편 부분이 될 니켈을 증착 시켜 Fig. 11과 같은 최종 형상을 가진 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 두께 20 μ m, 폭 500 μ m, 게이지 길이 1mm로 설계 제작되었다.

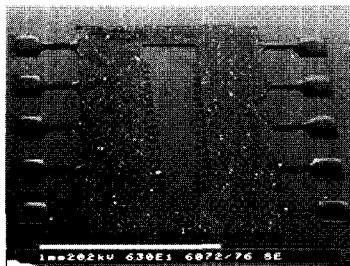


Fig. 11 (a) Nickel tensile specimen

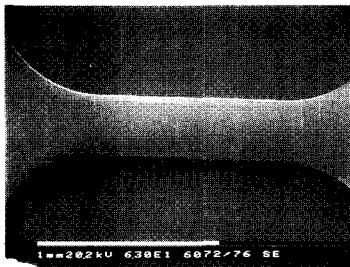


Fig. 11 (b) SEM image

박막의 인장 실험을 위해 Fig. 12와 같이 시험기를 제작하였다. 이 시험기는 piezoelectric actuator를 이용하여, 하중을 위한 측정기기, 시험기 제어와 실험 데이터 저장을 위한 퍼스널 컴퓨터로 이루어져 있다.

Piezoelectric actuator를 이용한 시험기와 dual microscope를 이용한 변형률 측정 장비를 사용하여, 시험기의 하중 방향과 시편의 방향이 일치하도록 현미경을 통해 축을 일치시킨 후, 제작한 시편을 XYZ stage 위에 접착제로 고정시키고 PZT actuator에 부착된 로드셀의 그립에 접착제로 부착하였다. AD 보드를 통하여 piezoelectric actuator를 구동시키면서 시편의 하중과 패턴 인식을 통해 얻은 1mm의 게이지 거리를 가지는 표점의 변위를 PC에 저장하였다. Fig. 13은 dual microscope의 CCD 카메라부터 얻은 시편의 표면 형상이며, 이렇게 획득한 시편 표면의 미세한 결이나 먼지 등 패턴 인식에 용이한 ROI를 취해 변위를 측정하였다.

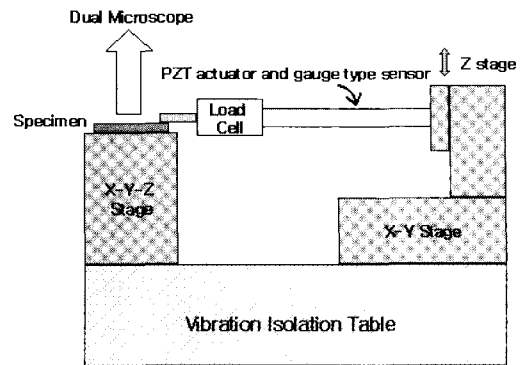


Fig. 12 (a) Tensile tester using PZT actuator Schematic diagram

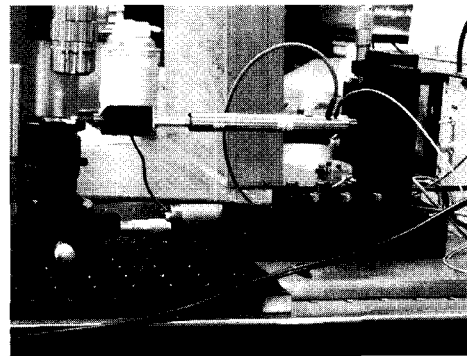


Fig. 12 (b) test apparatus

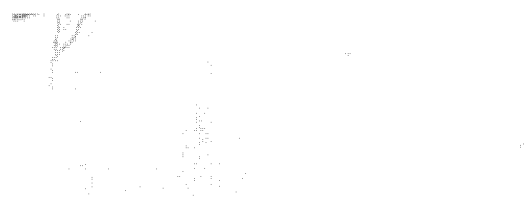


Fig. 13 Dual microscope images of nickel thin film

시편에 가해진 하중과 dual microscope로 얻은 표점의 변위를 Fig. 14와 Fig. 15에 각각 도시하였다. 이로부터 얻은 시편의 변형률과 응력을 도시하면 Fig. 16 과 같다. 이로부터 얻은 니켈 박막의 탄성 계수는 대략 145 Gpa 이었다. 인장시 탄성 영역에서의 불균일한 곡선은 시편을 부착한 스테이지의 불안정으로 인하여 현미경의 초점이 변화하여 생긴 현상으로 향후 현미경의 피사계 심도의 조절과 스테이지의 안정화로 향상될 수 있을 것이다.

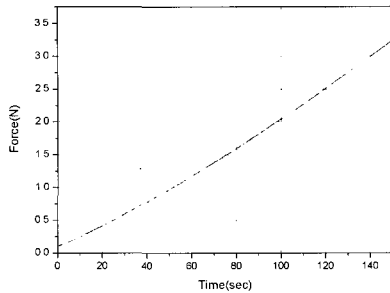


Fig. 14 Applied force versus time

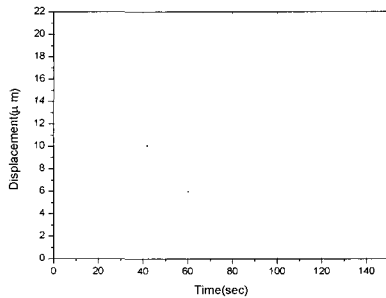


Fig. 15 Displacements from dual microscope versus time

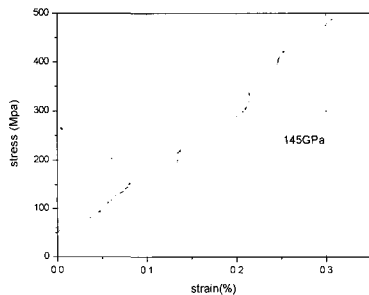


Fig. 16 Stress versus Strain of nickel thin film

5. 결론

본 연구에서 개발된 dual microscope는 임의의 간격

으로 떨어진 두 점을 각각 확대하여 얻은 영상으로부터 패턴 인식을 통하여 얻은 각 위치에서의 변위를 계산하여 변형률을 얻는다. 이 방법은 임의의 시편에 대하여 모두 적용할 수 있고, dual micrometer로부터 획득한 영상 사이의 간격과 배율을 조정하여 해상도를 임의로 조절할 수 있어 미소 구조물의 변형 측정에 유리한 장점을 지니고 있다. 아울러 이 패턴 인식을 통한 변형률 측정 방법은 점점 더 해상도를 올려나가는 디지털 CCD 카메라 기술의 향상과 이미지 처리에 걸리는 시간을 단축시킬 프로그램 기법 개발 및 퍼스널 컴퓨터의 연산 속도의 증가로 인하여 그 잠재적 효용성이 더욱 크다 하겠다.

본 연구에서 개발된 패턴 인식을 통한 변형 측정 기법을 전자 패키지 소터 조인트와 니켈 박막의 변형률 측정에 도입하여 그 유용성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광·열유체 마이크로부품 기술 개발 사업의 세부 과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) W. N Sharpe, Jr., et al, 1997, "A New Technique for measuring the mechanical properties of Thin Films", Journal of microelectromechanical systems, Vol. 6, No. 3, pp. 193~199.
- (2) Andrew J. Moore and John R. Tyrer, 1996, "Two dimensional strain measurement with ESPI", Optics and lasers in engineering, Vol. 24, pp. 381~402.
- (3) Tae-Sang Park and Soon-Bok Lee, 2002, "Mechanical fatigue tests of under mixed mode loading cases" 52nd ECTC 2002, San Diego, pp. 979~984.