Journal of the KSTLE Vol. 21, No. 2, April 2005, pp. 71~76
The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers

구리 박막의 기계적 물성 평가 및 유한요소 해석

안중혁 · 김윤재*† · 박준협** · 김상주*** · 김영진**** · 이영제****‡

고려대학교 기계공학과 대학원, *고려대학교 기계공학과, **동명정보대학교 메카트로닉스공학과
***서울시립대학교 기계정보학과, ****성균관대학교 기계공학부

Evaluation of Mechanical Properties and FEM Analysis on Thin Foils of Copper

Joong-Hyok An, Yun-Jae Kim*†, Jun-Hyub Park, Sang-Joo Kim***, Young-Jin Kim**** and Young-Ze Lee****‡**

*Department of Mechanical Engineering, Korea University, *Korea University,*
***Department of Mechatronics, Tongmyong University of Information Technology*
****Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul*
*****Sungkyunkwan University*

Abstract – This paper compares of mechanical tensile properties of 6 kinds of copper foil. The beam lead made with copper foil. Different from other package type such as plastic package, Chip Size Package has a reliability problem in beam lead rather than solder joint in board level. A new tensile loading system was developed using voice-coil actuator. The new tensile loading system has a load cell with maximum capacity of 20 N and a non-contact position measuring system based on the principle of capacitance micrometry with 0.1nm resolution for displacement measurement. Strain was calculated from the measured displacement using FE analysis. The comparison of mechanical properties helps designer of package to choose copper for ensuring reliability of beam lead in early stage of semiconductor development.

Key words – thin film, mechanical property, chip size package.

1. 서 론

최근 반도체 소자의 수요는 이동용 전자 장비 등의 수요 증가에 따라 용량이 고집적화되고, 크기가 소형, 박형화되어 가고 있다. 기존의 패키지(package) 기술이 단지 반도체 소자를 외부 환경으로부터 보호하고 취급하기에 용이하도록 하는 기능을 갖던 것에 비하여, 최근에는 반도체 소자의 크기와 거의 동일한 패키지 기술을 요구하고 있다. 따라서 기존의 표면장착(surface mounting) 패키지를 대체하는 칩 크기 패키지(chip size package; CSP)가 개발되었다. 현재 개발이 완료되어 양산되고 있는 칩 크기 패키지 중의 하나가 TCP(Tape Carrier Package)이다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이, TCP는 폴리이미드(Poly Imide) 테이프에 전기적 연결을 위해서 구리 패턴(copper pattern)에 의해서 만들어진 빔리드(beam lead)가 부착되어 있고, 그 패턴 위의 엘라스토머(elastomer)에 반도체 소자가 올려져 있다. 반도체 소자와 엘라스토머를 외부 환경으로부터 보호하기 위해서 반도체 소자 주변이 인캡슐런트(encapsulant)에 의해 싸여져 있다.

TCP의 신뢰성은 기존 플라스틱 패키지와는 달리, 보오드(board)와 연결되는 솔더 조인트(solder joint)보다 빔리드에서 문제가 된다. 빔리드는 본딩 공정(bonding process)에 의해서 급격하게 단면이 변화하고 파손은 주로 이 부분에서 발생된다. Fig. 2는 TCP의 단면이며 그림에 표시된 것처럼 파손은 주로 본딩 패드(bonding

†주저자 : kim0308@korea.ac.kr
‡책임저자 : yzlee@skku.edu

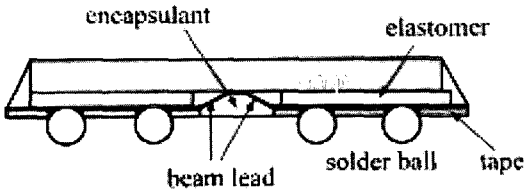

Fig. 1. Schematic diagram of cross section of TCP.

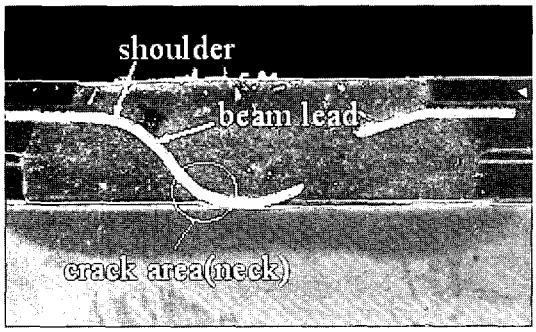

Fig. 2. SEM of cross section in TCP.

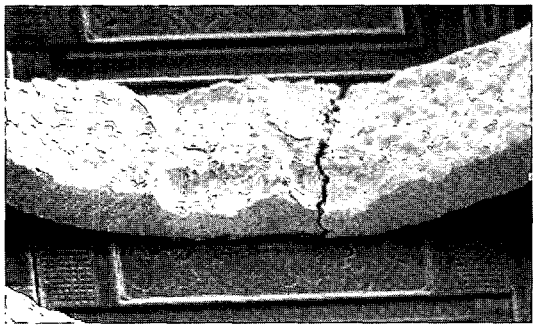

Fig. 3. SEM of beam lead crack in TCP.

pad)에서 일어난다. Fig. 3은 실제 빔리드의 파손 예이다.

현재 TCP의 신뢰성 평가를 위해서 온도사이클링(temperature cycling test; T/C test) 시험을 수행하고 있는데, 이 온도사이클링 시험을 수행하는 데는 매우 많은 시간이 소요되고, 특히 시제품이 제작된 후 수행할 수 있기 때문에, 만약 문제가 있을 경우에는 개발기간에 많은 영향을 준다. 본 연구에서는 개발 초기 단계에서 전산해석에 의한 신뢰성 평가 시에 기본이 되는 기계물성을 구하기 위해서 기계적으로 구동되는 시험기를 개발하고, 빔리드의 원재료인 동박막(copper foil)의 기계물성을 비교하였다. 또한, 본 연구에서는 실험과 간단한 전산해석을 통해 재료의 기계물성을 구하는 방법을 정립하였다.

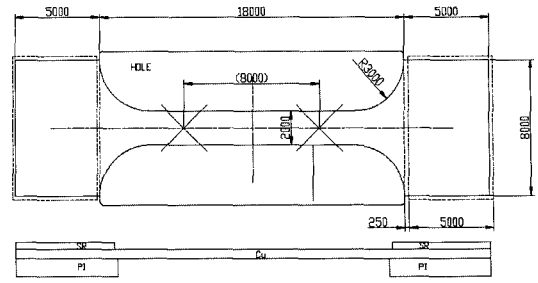

Fig. 4. Tensile Testing Specimen (㎛).

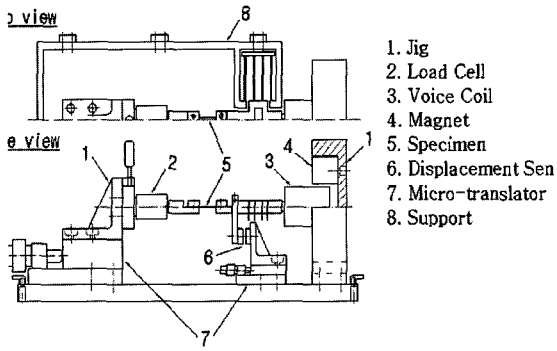

Fig. 5. Details of mechanical testing machine developed.

2. 구리박막의 시험

2-1. 시편 형상

실험에 사용된 시편의 재질은 전해도금에 의해서 15 ㎛ 구리박막을 형성하고 구리박막 위에 무전해도금으로 Sn을 0.45 ㎛로 올린 후 열처리를 통해서 순수 Sn의 두께가 0.26 ± 0.04 ㎛가 되도록 만들어진 박막이며, 형상은 Fig. 4와 같다. 중앙의 8 mm 부분이 실험의 관심대상으로 폭은 2 mm, 두께는 15.26 ㎛이다. 여기에 2.1절의 내용을 입력한다.

2-2. 시험기 구성

본 실험에서는 구리 박막 시편에 대해 보다 정확한 기계적 물성을 얻기 위한 시험기를 고안하였다. 시편에 하중을 가하는 장치로서 Voice-Coil을 사용하여 정교하고 신속한 하중조건을 구현할 수 있다. 더불어 정교한 측정을 위해 매우 작은 크기의 하중(20 N)을 측정할 수 있는 Load Cell을 사용하였다.

시편의 변위를 측정하기 위해 정전용량형(Capacitance) 센서를 사용하였다. 실험에 사용된 센서의 측정 범위는 1250 ± 625 ㎛이며, Noise Level은 0.05% 이하이

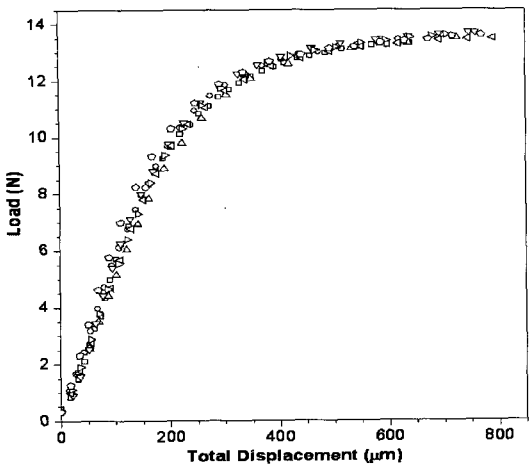

Fig. 6. Digitized Data of type BOS specimens.

다. 이 변위 센서는 설정에 따라 최고 $250 \pm 12.5\ \mu m$의 세밀한 측정 범위를 가진다.

시험기와 시편의 중심축을 맞출 수 있도록 스프링 타입의 지지대를 제작하였다. 이 지지대는 보다 정확한 실험을 위해 고안된 것으로 스프링 부분과 시편을 연결하는 부분, 그리고 지지부분 모두가 일체형으로 제작되었다.

2-3. 실험 내용 및 결과

총 6가지 종류의 시편에 대해 평균 5회의 실험을 수행하였다. 직접적으로 얻을 수 있는 데이터는 하중과 전변위이며 데이터 전체는 Fig. 6과 같이 이산화(digitizing)하여 결과분석에 사용하였다.

3. 유한요소해석

3-1. 목적

본 실험의 목적은 얇은 박막 재료에 대한 실험을 효과적으로 수행하는 새로운 시험기를 개발하고 실제로 적용해 보는 것과 함께, 실험결과인 하중-전변위 데이터만을 이용하여 간단하게 진응력-변형율 곡선을 모사하는 데에 있다.

실제로 재료의 진파단응력, 진파단변형률을 정확히 구하기 위해서는 특수한 장비를 이용한 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 하지만 여기에서는 그런 복잡한 과정을 생략하고 탄성계수, 공칭항복강도, 공칭인장강도의 세 가지 물성을 간단한 과정을 통해 구한 후, 이 물성들을 이용해 유한요소 해석을 수행하여 재료의 근사적인 진응력-변형률 곡선을 예측해보고자 한다.

3-2. 탄성 해석

주요 기계물성인 탄성계수, 항복강도, 인장강도를 구하기 위해서는 재료의 응력-변형률 곡선이 필요하다. 실험에서는 변위와 하중만을 측정하고 있고, 시편의 단면이 일정하지 않기 때문에 측정된 변위로 표점거리(Interesting Range) 부분의 변형률을 구할 수는 없다.

표점거리 부분의 변위를 구하기 위하여 Fig. 7과 같이 시편과 같은 형상의 모델에 대해 임의의 탄성계수와 하중을 주고 탄성해석을 실시하였다. 해석 결과 전변위(D)와 표점변위(d)와의 비는 탄성계수, 하중에 상관없이 약 0.455이다. 이 변위비로 표점거리 부분의 변위와 공칭 변형률을 구하고, 하중데이터와 초기단면적을 이용하여 공칭 응력을 구하였다. 탄성계수, 항복강도, 그리고 인장강도의 기계물성은 각 시편데이터를 공칭응력-변형률 데이터로 변환한 후 Fig. 8과 같이 구한다. 시편별 기계물성은 Table 1에 제시하였다.

3-3. 소성 해석

파단에 이르기까지의 재료의 소성거동은 다음 식(Ramberg-Osgoods Eq.)을 따를 것이라고 가정하였다.

$$E\varepsilon = \sigma + \alpha\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{n-1}\sigma \tag{1}$$

식 (1)에서 n은 소성경화지수(plastic hardening exponent)이고, α는 항복상계값(yield offset)이다. n과 α는 다음 식들에 의해 결정된다고 가정하였다.

$$\frac{S_{TS}}{S_y} = \left(\frac{1}{0.002n}\right)^{1/n}\exp\left(-\frac{1}{n}\right) \tag{2}$$

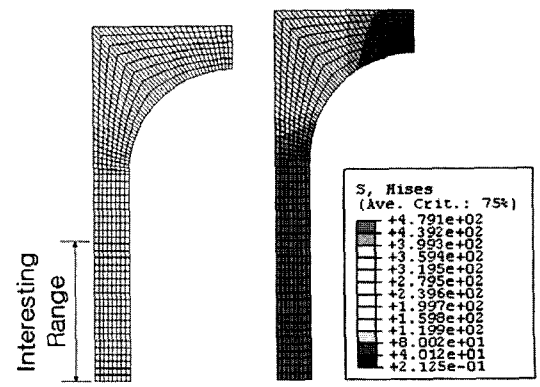

Fig. 7. FEM model and contour.

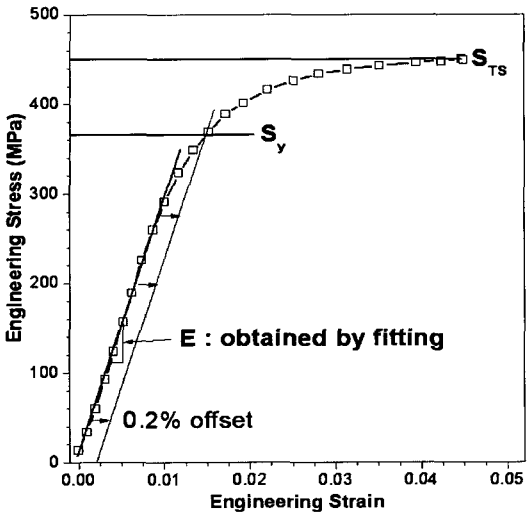

Fig. 8. Mechanical properties.

Table 1. Mechanical Properties (Avg. & Std-deviation)

Specimen Type	E (GPa)	S_y (MPa)	S_{TS} (MPa)	n	α
AW	32.1	348.85	453.21	10.4	0.184
	1.37	12.76	6.99	0.57	0.0137
AZ	36.1	337.96	449.74	9.94	0.215
	2.37	20.73	8.91	1.31	0.0236
BOS	30.7	339.06	450.69	9.95	0.182
	2.88	17.67	4.03	1.26	0.0262
BOT	34.2	333.18	454.82	9.25	0.199
	2.92	6.87	2.67	0.44	0.018
CX	32.7	328.08	449.45	9.17	0.199
	2.86	7.23	3.64	0.44	0.0166
CY	33.5	329.89	446.64	9.41	0.203
	1.62	6.97	2.49	0.42	0.0132

$$\alpha = \frac{0.002E}{S_y} \tag{3}$$

식 (2)는 비선형 방정식으로 적용하기가 까다로우므로 식 (4)와 같은 근사식을 사용하였다. 식 (3), (4)를 이용하여 구한 n과 α는 Table 1에 제시되어 있다.

$$\frac{1}{n} = 0.629 - 1.536\left(\frac{S_y}{S_{TS}}\right) + 1.723\left(\frac{S_y}{S_{TS}}\right)^2 - 0.814\left(\frac{S_y}{S_{TS}}\right)^3 \tag{4}$$

소성해석 결과로 전변위-하중 곡선을 구하였으며 Fig. 10과 같이 각 시편별 데이터와 함께 나타내었다. Fig.

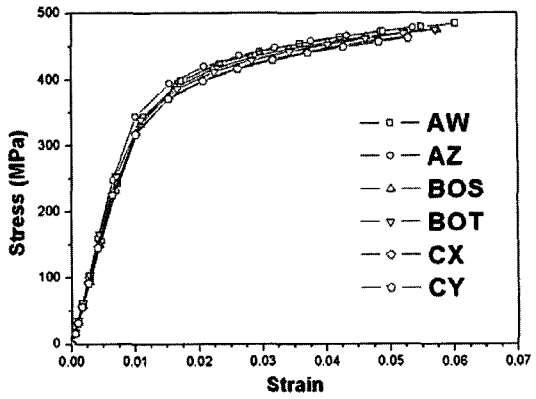

Fig. 9. Strain-Stress Curve of FEM Result.

10의 각 그래프의 가운데 실선은 평균치를 이용한 해석 결과이고, 점선은 표준편차를 적용했을 때의 해석 결과의 범위이다. 이상과 같은 과정으로 실제 재료의 진응력-변형률 곡선을 구할 수는 없지만 전체적으로 해석 결과는 실제 데이터를 근사적으로 추종하고 있으므로 이로부터 Fig. 9처럼 근사적인 진응력-변형률 곡선을 얻을 수 있다. 이 결과는 실제 재료의 진응력-변형률 관계와 차이는 있지만 보수적으로는 충분히 적용 가능할 것이다.

4. 결 론

본 실험에 사용된 Voice-coil type 시험기는 보다 정확한 인장시험 및 피로시험을 위해 고안되었다. 변형률을 직접 구할 수 없다는 한계점은 있으나, 매우 정확하고 빠른 하중조건을 구현할 수 있고 그에 따른 데이터 측정이 가능하였다.

시험기의 검증 과정으로서 6가지 종류의 구리박막 시편에 대해 탄성계수, 항복강도, 인장강도의 기계물성을 구하였다. 기계물성과 Fig. 9의 응력-변형률 관계는 시편별로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 이어질 피로시험에서는 보다 가시적인 차이를 찾아낼 수 있을 것이며, 그 때 본 실험 데이터는 매우 유용하게 쓰일 것이다.

또한 실험 데이터와 유한요소 해석을 이용하여 소성구간의 재료의 거동을 예측해 보았다. 비록 예측결과가 실험 데이터와 일치하지는 않았으나 보수적인 면에서 실제로 사용하기에 충분한 수준이었다. 이 방법은 실험과정 및 해석과정이 매우 간단하다는 점을 감안한다면 매우 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

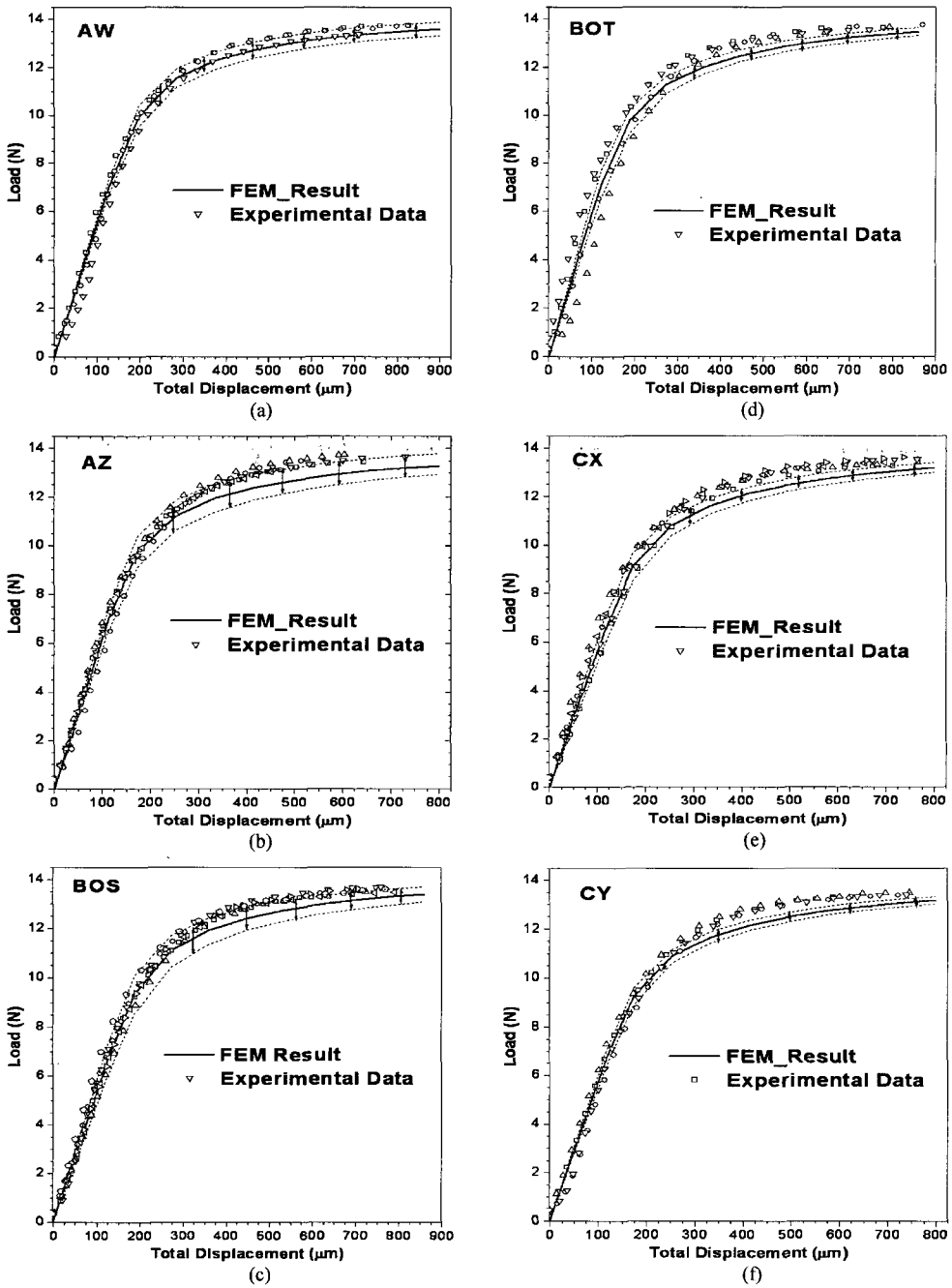

Fig. 10. Total Displacement vs. Load between FEM & Experimental Data. (a) AW, (b) AZ, (c) BOS, (d) BOT, (e) CX, (f) CY.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다. 과제번호(KRF-2002-042-D00002)

기호약속

E: 탄성계수 (Elastic Modulus)

S_{TS}: 공칭인장강도 (Eng. Tensile Strength)

S_y: 공칭항복응력 (Eng. Yield Strength)

참고 문헌

1. Wang, Z. P., et al, "Board Level Reliability of Chip Scale Package," Proceedings of IMAPS98, pp 513-518, 1998.
2. Qiao, Q., Gordon, M. H., Schmidt, W. F., Li, L., Ang, S. S. and Huang, B., "Development of a Wafer-Level Burn-in Test Socket for Fine-Pitch BGA Interconnect," Proceedings of Electronic Components & Technology Conference, 50th, pp 1147-1151, 2000.
3. Lee, Y. J. and Eyre, M. W., "Effects of Lead Bonding Process on Reliability of Chip Scale Package," Proceedings of Electronic Components &Technology Conference, 50th, pp 1392-1397, 2000.
4. Ghaffarian, R. and Kim, N. P., "Reliability and Failure Analyses of Thermally Cycled Ball Grid Array Assemblies," Components and Packaging Technologies, IEEE Transactions, Vol. 23, No3, pp 528-534, 2000.
5. Lee, Soon-Bok and Ham, Suk-Jin, "Accelerated Testings and Reliability Assessments of Soler Joints in Electronics Packaging," Proceedings of SEMICON Korea Technical Symposium, 99, pp 205-212, 1999.
6. Park, Jun-Hyub, Lee, Hyouk, Moon, Ho Jeong and Oh, Se Yong, "An Experimental Study of Fatigue Strength Characteristics of Beam Lead Material in MicroBGA Package," Proceedings of Electronics Manufacturing Technology Symposium, Twenty-Fourth IEEE/CPMT, pp 222, 1999.
7. Tu, P. L., Chan, Y. C., Hung, K. C. and Lai, J. K. L., "Comparative Study of Micro-BGA Reliability Bending Stress," Advanced Packaging, IEEE Transactions, Vol. 23, No 4, pp 750-756, 2000.
8. Mertol, A., "Application of the Taguchi method to chip scale package (CSP) design," Advanced Packaging, IEEE Transactions, Vol. 23, No 2, pp 266-276, 2000.
9. Xie, D. J., Chan, Yan C., Lai, J. K. L., and Hui, I. K., "Fatigue Life Estimation of Surface Mount Solder Joints," IEEE Transactions on Components, Packaging, and manufacturing Technology - Part B, Vol. 19, No. 3, pp 669-678, 1996.
10. Gurumurthy, C. K., Jiao, J., Norris, L. G., Hui, C. Y., and Krammer, E. J., "A Thermo-Mechnical Approach for Fatigue Testing of Polymer Bimaterial Interfaces," Journal of Electronic Packaging, Transactions of the ASME, Vol. 120, pp 372-378, 1998.
11. Yu, Q. and Shiratori, M., "Fatigue-Strength Prediction of Microelectronics Solder Joints Under Thermal Cyclic Loading," IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology - Part A, Vol. 20, No.3, pp 266-273, 1997.
12. Fu, U. Y., Ume, I. C., and McDowell, D. L., "Thermal Stress and Fatigue Analysis of Plated - Through Holes Using an Internal State Variable Constitutive Model," Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 30, pp 1-17, 1998.
13. Kim, Yun-Jae, Huh, Nam-Su, Kim, Young-Jin, Yang, Jun-Seok, "Engineering Leak-Before-Break Analyses of Pressurized Piping: Part -Crack Opening Displacement," JSME International Journal, Series A, Vol. 47, No.4, pp 591-599, 2004.