한국공작기계학회지 Vol.18 No.4 2009. 8. pp. 401~409
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

반도체 패키지의 층간박리 파괴역학인자 해석 및 균열진전경로 예측

정남용*, 박철희+

(논문접수일 2009. 5. 12, 심사완료일 2009. 6. 1)

Analyses of Fracture Parameters and Prediction of Crack Propagation Path on Delamination in the LSI Package

Nam Yong Chung*, Cheol Hee Park+

Abstract

This paper presents a method of calculating the stress intensity factor (K) and crack propagation direction (θ_0) at the crack-tip that is associated with delamination in the large scale integration(LSI) package. To establish a reasonable strength evaluation method and life prediction , it is necessary to assess fracture parameters under various fracture conditions. Therefore, we conducted quantitative stress singularity analysis considering thermal stress simulating the changes of crack length (a), (h) and (v) in delamination using the 2-dimensional elastic boundary element method (BEM), and from these results predicted crack propagation direction and path.

Key Words : Large Scale Integration(LSI), Thermal Stress(열응력), Delamination(층간박리), Crack Propagation Angle(균열진전각), Bonded Interface Edge(접합계면단), Stress Intensity Factor(응력세기계수), Boundary Element Method(경계요소법)

1. 서 론

다량의 회로소자(cell)가 집성된 집적회로(IC: integrated circuit)를 기판 위에 상호 배선하여 대규모 집적화한 LSI(large scale integration) 반도체 부품은 시스템 설계의 소형화, 경제성, 신뢰성 등에 의해 고성능화의 목적으로 사용되고 있다. 재료로 사용되는 실리콘(Si) 칩(chip)과 금속제의 다이패드(die pad)는 200℃ 이상의 고온에서 수지(resin)재료로 몰딩제작 되므로 접합계면에는 냉각 후 열응력이 잔류하고 이종재료간의 재료물성치 차로 인해 접합계면단에는 응력특이성(stress singularity)이 나타난다[1].

응력특이점인 계면단에서는 균열이 발생하여 수지방향으로 진전하고, 수지와 다이패드의 접합계면은 수지방향의 균열과 함께 층간박리(delamination) 파괴를 일으킨다[2].

* 숭실대 기계공학과
+ 교신저자, 시립인천전문대학 (admin@gonghak21.com)
주소: 402-750 인천광역시 남구 인천대길 319

다양한 파괴조건하에서 접합계면과 수지균열선단에 대한 정량적인 파괴역학적 파라미터의 계산과 이를 토대로 한 균열진전 방향 예측은 반도체 패키지의 수명예측과 강도평가를 위해 매우 중요하다[3]. 반도체 패키지의 경우 열응력을 고려한 수치해석 및 실험연구[4-6]와 계면박리 및 균열발생으로 인한 파괴양상을 극초단파에 의해 비파괴적으로 검출하는 방법에 관한 연구[7~10] 등이 있지만, 반도체 패키지의접합계면에 층간박리가 있는 경우 파괴역학 인자를 이용한 수명예측 및 강도평가에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 반도체 패키지의 접합계면단의 응력특이점으로 부터 수지방향으로 초기균열이 발생·진전하면서 균열 길이의 증가와 함께 층간박리 파괴를 일으키는 경우 경계요소법(Boundary Elementary Method: BEM)을 이용하여 열응력에 의한 응력세기계수를 계산한 후 결과를 비교 검토하였고 계산 결과를 이용하여 수지의 균열 선단에서 균열의 진전방향과 경로를 예측하였다.

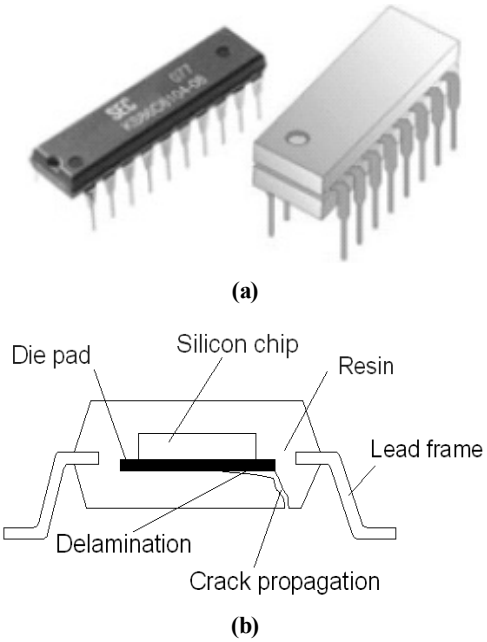
2. LSI 패키지의 열응력 해석

2.1 BEM 해석 모델

Fig. 1(a)는 반도체 패키지의 대표적인 형태로서 DIP의 리드 프레임(lead frame)이 양 측면에 일정간격으로 삽입되어 고밀도 집적회로칩을 탑재하는 표준 삽입형의 이중 직렬 패키지(Dual In-Line Package: DIP)의 형상을 보여준다.

Fig. 1(b)는 수지방향으로 균열이 진전하면서 다이패드(die pad)와 수지(resin)의 이종접합계면에 수평 층간박리 파괴를 일으키는 모습을 나타낸다. Fig. 2는 Fig. 1을 BEM 해석모델로 설정한 것으로 패키지의 대칭성을 고려하였고, 모델의 각부치수는 b=40mm, c=2mm, d=5mm, e=38mm, L=50mm, H=30mm이며, 구속조건은 그림과 같다.

다이패드와 수지의 접합계면단 점 P에서 응력특이성이 최대인 것으로 나타났다[11]. 응력특이점 P로부터 진행되는 균열의 유형을 Fig. 3과 같이 시뮬레이션 하였고, Fig. 3(a)는 응력특이점 P에서 수지방향의 균열이 발생한 후 층간박리 없이 진전하는 경우, Fig. 3(b), 3(c)는 수지방향으로 균열이



(a)

(b)

Fig. 1 Structure of LSI package

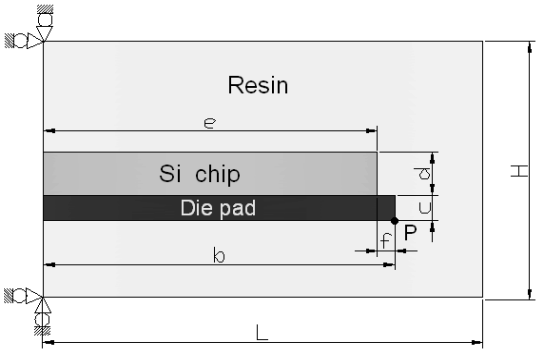


Fig. 2 Model of BEM analysis and stress singularity point in LSI package

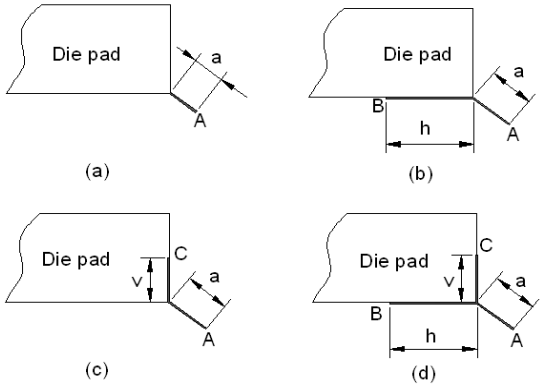


Fig. 3 Model for crack propagation from stress singularity point P

Table 1 Mechanical and physical properties of materials

Mechanical properties / Materials of LSI package	Young's modulus E[GPa]	Poisson's ratio ν	Coefficient of thermal expansion $\alpha(10^{-6}/℃)$
Si chip	200	0.3	3.0
Die pad	150	0.3	5.0
Resin	15	0.35	30

우선 진전된 후 다이패드와 수지의 접합계면에서 수평과 수직의 층간박리가 각각 발생하는 경우를 보여주며, Fig. 3(d)는 수지방향으로 균열이 진전된 후 수평과 수직으로 동시에 박리가 발생하는 혼합박리를 보여준다. 여기서, a는 수지방향의 균열길이, h와 v는 수평 및 수직박리에 의한 각각의 균열길이를 나타내며, 점 A, B, C는 균열유형에 대한 균열선단(crack-tip)을 표시한다.

Table 1은 IC 패키지 재료들에 대한 물성치를 나타낸다.

2.2 해석 조건

2.2.1 층간 박리가 없는 경우

응력특이점 P에서 균열이 발생하여 수지방향으로만 균열이 진전하는 경우 선행연구에서 구해진 초기균열 진전각 θ_0 =-63.36°[11]를 적용하여 균열길이 a=0.01mm 부터 0.1mm까지 0.01mm씩 증가시키면서 응력해석을 하였다.

해석의 정밀도를 높이기 위해 서브요소로 분할하였고 영역수 4개, 선분수 17개, 전체 절점수는 326개 이다.

2.2.2 층간박리가 있는 경우

(a) 수평박리와 수지균열

수지균열 a=0.1mm 까지 진전된 후 수평층간박리에 의 한 균열길이 h가 발생하여 a=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm 일 때 h=1, 2, 2.5, 2.8 3.33mm로 하여 a/h = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3인 경우 응력해석을 실시하였고 영역수 4개, 선분수 19개, 전체 절점수 398개로 하였다.

(b) 수직박리와 수지균열

수지균열 a=0.1mm 까지 진전된 후 수직층간박리에 의한 균열길이 v가 발생하여 a=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm일 때 v=0.5, 0.75, 0.833, 0.875, 1mm로 하여 a/v = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1에 대한 응력해석을 하였다. 영역수 4개, 선분수 19개, 전체 절점수는 354개로 하였다.

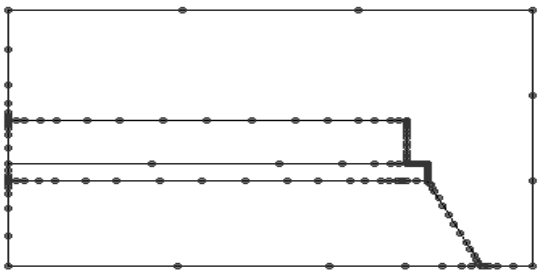


Fig. 4 Mesh pattern of BEM for dual delamination in LSI package

(c) 혼합박리와 수지균열

수지균열길이 a=0.1mm 까지 진전 하였을 때 혼합박리가 발생하여 균열길이의 비 a/h=0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 및 a/v=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1이 동시에 변화하는 경우 응력해석을 하였다.

Fig. 4는 영역수 4개, 선분수 21개, 전체 절점수 410개로 분할된 BEM 응력해석모델의 요소분할 형상을 보여준다.

3. 응력세기계수 해석

3.1 층간박리의 경우

3.1.1 층간박리 계면선단의 응력장

층간 박리에 의한 다이패드와 수지의 접합계면균열은 Fig. 5와 같은 이종재의 계면균열 모델이 적용된다. 균열선단으로부터 임의의 각 θ, 임의의 거리 r 위치에 있는 점의 응력장은 θ=0°일 때 다음과 같은 복소응력장의 식으로 표시된다.

$$\sigma_y + i\tau_{xy} = \frac{(K_1 + iK_2)}{\sqrt{2\pi r}}\left(\frac{r}{l}\right)^{i\epsilon} \tag{1}$$

$$\epsilon = \frac{1}{2\pi}\ln\left(\frac{k_1\mu_2 + \mu_1}{k_2\mu_1 + \mu_2}\right) \tag{2}$$

$$k_j = \begin{cases} 3-4\nu_j \ (plane\ strain) \\ \dfrac{3-\nu_j}{1+\nu_j} \ (plane\ stress) \end{cases} \quad (j=1,2) \tag{3}$$

여기서, ϵ은 이종재료 정수, μ는 전단탄성계수이고, σ_y와 τ_{xy}는 각각 수직응력 및 전단응력 성분을 나타내며, l은 기준길이로서 균열길이를 나타낸다. K_1, K_2는 계면균열에 대한 복소 응력세기계수이고, 균질재의 균열에 대한 모드 I, 모드 II의 응력세기계수 K_I, K_{II}와 다르고, 항상 혼합모드 균열이 되며 K_I, K_{II}와 직접적인 대응은 되지 않는다.

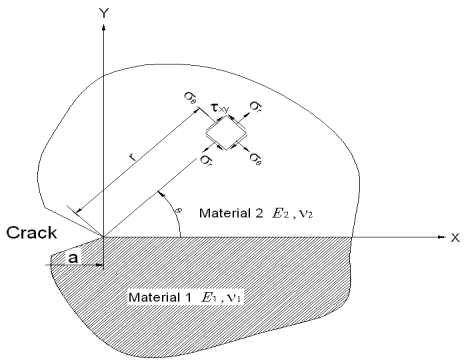


Fig. 5 Crack-tip stress field in the bonded dissimilar materials

3.1.2 층간박리의 응력세기계수 계산

다이패드와 수지의 접합계면에서 층간박리 파괴가 있는 경우 균열선단의 응력세기계수는 BEM 열응력해석 결과를 다음식에 적용하여 외삽으로 구하였다.

$$K_1 = \lim_{r\to 0}\sqrt{2\pi r}\,(\sigma_y \cos Q + \tau_{xy}\sin Q) \tag{4}$$

$$K_2 = \lim_{r\to 0}\sqrt{2\pi r}\,(\tau_{xy} \cos Q - \sigma_y\sin Q) \tag{5}$$

$$Q = \epsilon \ln(r/a) \tag{6}$$

3.2 수지균열의 경우

3.2.1 균열선단의 응력장과 균열진전 방향

수지방향으로 균열이 진전하는 경우 균질재 혼합모드 균열모델이 적용되고 균열진전 방향을 예측하기 위해서는 혼합모드 파괴기준의 적용이 필요하다. Fig. 5에서 재료상수가 같으면 균질재 모델이 되고 극좌표로 나타내는 응력장은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\sigma_r &= \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} cos\frac{\theta}{2}\left\{K_I\left(1+\sin^2\frac{\theta}{2}\right)+\frac{3}{2}K_{II}\sin\theta - 2K_{II}\tan\frac{\theta}{2}\right\} \\
\sigma_\theta &= \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\cos\frac{\theta}{2}\left\{K_I\cos^2\frac{\theta}{2}+\frac{3}{2}K_{II}\sin\theta\right\} \\
\tau_{r\theta} &= \frac{1}{2\sqrt{2\pi r}}\left\{K_I\sin\theta + K_{II}(3\cos\theta - 1)\right\}
\end{aligned} \tag{7}$$

여러 가지 혼합모드 파괴조건이 제안되고 있지만, 일반적으로 혼합모드 파괴기준은 접선방향 응력최대($\sigma_{\theta\max}$)설이 사용된다. σ_θ값이 최대 또는 $\tau_{r\theta}$가 0이 되는 방향으로 균열은 진전하므로 균열진전방향 θ_0는 다음식과 같다.

$$K_I\sin\theta_0 + K_{II}(3\cos\theta_0 - 1) = 0 \tag{8}$$

식 (11)을 θ_0에 대해 정리하면

$$\theta_0 = 2 \cdot \tan^{-1}\left\{\frac{1}{4}\left(\frac{K_I}{K_{II}}\right) \pm \frac{1}{4}\sqrt{\left(\frac{K_I}{K_{II}}\right)^2 + 8}\right\} \tag{9}$$

본 연구에서 θ_0의 부호는 반시계방향을 (+)로 하였다.

3.2.2 수지균열의 응력세기계수 계산

수지방향으로 진전되는 균질재 혼합모드 균열의 경우 모드 I과 모드 II균열에 대해 직교좌표의 응력성분으로 표시한 응력세기계수는 다음식에 의해 외삽으로 구한다.

$$K_I = \lim_{r\to 0}\sqrt{2\pi r} \cdot \sigma_y \tag{10}$$

$$K_{II} = \lim_{r\to 0}\sqrt{2\pi r} \cdot \tau_{xy} \tag{11}$$

여기서, r은 균열선단으로부터 임의의 거리이고 σ_y는 균열길이 a와 연결된 가상계면에서 BEM 해석으로 구한 열응력의 수직응력성분이고 τ_{xy}는 전단응력성분이다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 층간박리가 없는 경우

응력특이점 P에서 수지방향으로만 균열이 진전할 때 균열길이 a=0.01～0.1mm 까지 0.01mm씩 미소 증가 시키면서 수지의 균열선단 A의 응력세기계수 K_{IA}, K_{IIA}를 계산하였

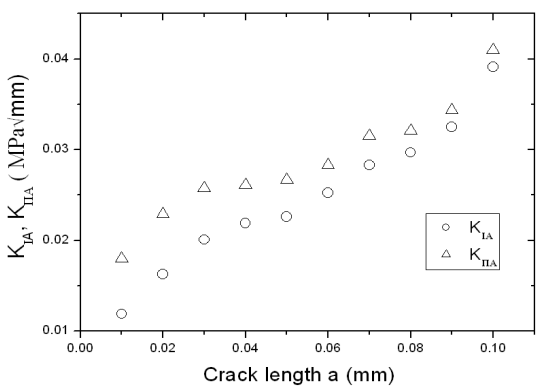


Fig. 6 Stress intensity factor at crack-tip A without delamination

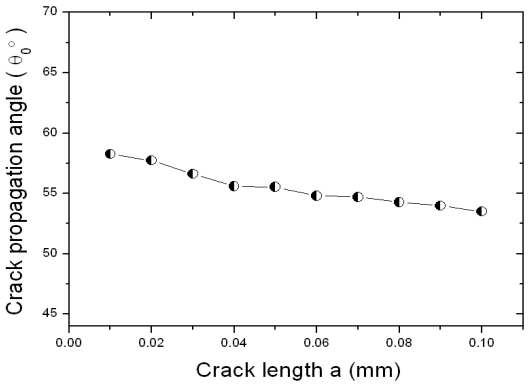


Fig. 7 Crack propagation direction at crack-tip A without delamination

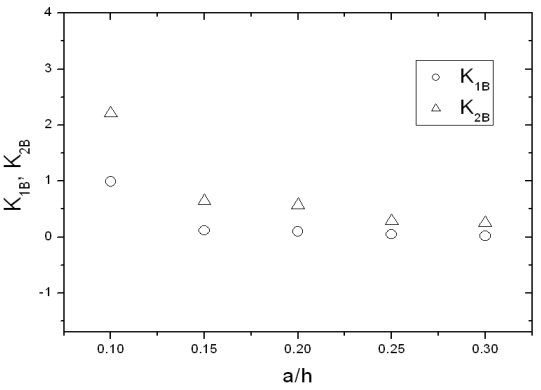


Fig. 9 Stress intensity factor at crack-tip B with horizontal delamination

다. K_{IA}, K_{IIA}의 결과를 이용하여 식 (8)에서 균열진전방향 θ_0를 계산하였고 Fig. 6은 균열길이 a의 증가 할 때 응력세기계수 K_{IA}, K_{IIA}가 증가하는 것을 보여준다. K_{IIA}가 K_{IA}보다 큰 것으로 나타났다. Fig. 7은 a가 증가할 때 균열진전각 θ_0의 변화를 보여주며, 초기균열 진전각 -63.36° 보다 점점 감소하는 것으로 나타났다.

4.2 층간박리가 있는 경우

4.2.1 수평 층간박리와 수지균열

응력특이점 P에서 초기에 a=0.01～0.1mm 까지 수지균열이 진전한 후 수평층간박리에 의한 균열길이 h가 발생하여 a = 0.1～1mm, h=1～3.33mm 까지 변화 할 때 균열선단 A와 B에서 균열길이의 비 a/h= 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3에 대한 응력세기계수 K_{IA}, K_{IIA}와 K_{1B}, K_{2B} 계산하였다. Fig. 8은 a/h가 증가할 때 K_{IA}, K_{IIA}가 감소 하는 것을 나타내고 a/h가 증가할수록 모드 I, II에 대한 값의 차는 작아짐을 보여준다. 또한, Fig. 9에서 K_{1B}, K_{2B} 값들은 a/h가 중가 할 때 모두 감소하였고 K_{1B}과 K_{2B}대한 값의 차도 작아지는 것으로 나타났다.

4.2.2 수직 층간박리와 수지균열

응력특이점 P에서 수지방향으로 균열길이 a=0.1mm 까지 진전 한 후 수직층간박리에 의한 균열길이 v가 발생하는 것으로 보고 균열길이의 비 a/v를 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1로 변화시켜 가며, 균열선단 A에서 K_{IA}, K_{IIA}와 이종접합계면 균열선단 C에서 K_{1C}, K_{2C}를 계산하였다.

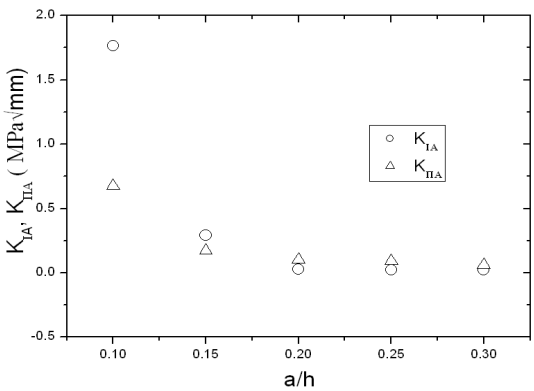


Fig. 8 Stress intensity factor at crack-tip A with horizontal delamination

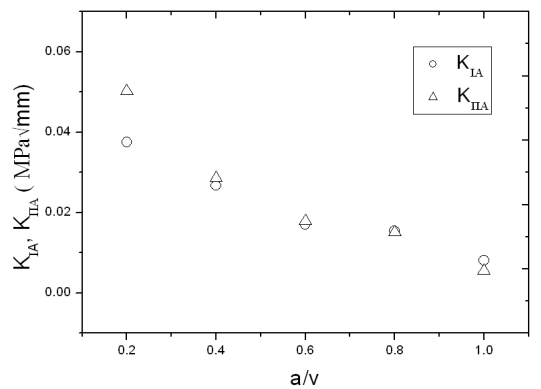


Fig. 10 Stress intensity factor at crack-tip A with vertical delamination

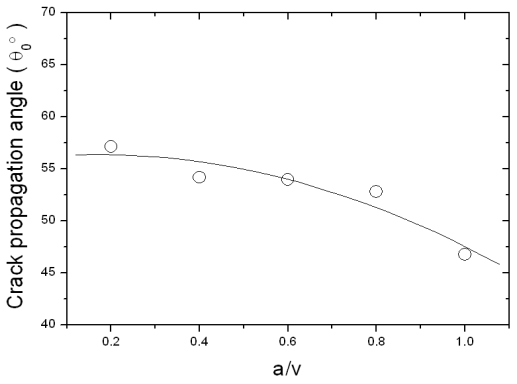


Fig. 11 Crack propagation angle at crack-tip A with vertical delamination

K_{IA}, K_{IIA}결과를 이용하여 균열선단 A의 진전방향을 계산하였다. Fig. 10은 a/v가 증가할 때 K_{IA}, K_{IIA}값이 점점 감소함을 보여주며, Fig. 11은 a/v가 증가할 때 θ_0값이 감소하는 것을 보여준다.

4.2.3 혼합박리와 수지균열

응력특이점 P에서 균열길이 a=0.1mm 까지 진전 한 후 혼합박리가 발생할 때 균열길이의 비 a/h=0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 및 a/v=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1을 동시 변화시키면서 균열선단 A의 K_{IA}, K_{IIA}와 이종접합계면 균열선단 B, C의 K_{1B}, K_{2B}, K_{1C}, K_{1C}를 계산하였다. K_{IA}, K_{IIA}의 결과를 이용하여 균열선단 A의 진전방향을 계산하였다.

Fig. 12는 a/h와 a/v가 동시변화 할 때 균열선단 A, B, C

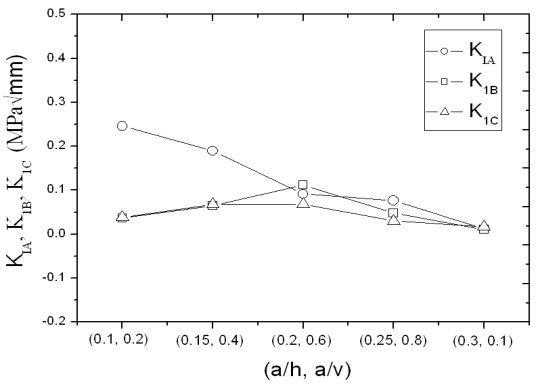


Fig. 12 Stress singularity factors at crack-tip A, B and C with mixed delamination

에서 응력세기계수 K_{IA}, K_{1B}, K_{1C}를 비교한 것으로(a/h, a/v)가 (0.1, 0.2)일 때 균질재의 모드 I의 응력세기계수 K_{IA}가 가장 크고 값의 차가 크지만(a/h, a/v)가 증가하여(0.3, 1)이면 값의 차는 아주 작은 것을 보여준다. 또한, Fig. 13는 a/h와 a/v가 동시변화 할 때 균열선단 A, B, C에서 응력세기계수 K_{IIA}, K_{2B}, K_{2C}를 비교한 것으로 처음에는 균질재의 모드 II의 응력세기계수 K_{IIA}가 가장 크고 값의 차가 크지만 a/h와 a/v가 증가할수록 값의 차는 작아지는 것을 보여준다.

Table 2는 응력특이점 P에서 0.1mm의 수지균열 진전 후 수평박리가 발생하여 a=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm이면서 h=1, 2, 2.5, 2.8, 3.33mm인 경우 균열선단 A, B의 응력세기계수 결과와 균열선단 A로 부터 균열진전방향 θ_0를 계산한 결과를 보여준다.

a 및 a/h가 증가할수록 응력세기계수는 감소하며, θ_0는 a=0.1～1mm의 범위에서 증가 하는 것으로 나타났다. 또한,

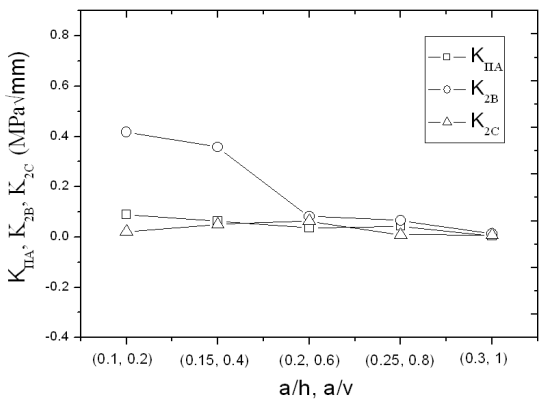


Fig. 13 Stress singularity factors at crack-tip A,B and C with mixed delamination

Table 2 Fracture parameters at crack-tip A, B with horizontal delamination

Horizontal delamination						
Crack: a(mm)	a/h	Crack tip : A			Crack tip : B	
		K_{IA} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{IIA} $(MPa\sqrt{mm})$	$\theta_0(^\circ)$	K_{1B} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{2B} $(MPa\sqrt{mm})$
0.1	0.1	1.767	0.6787	-34	0.995	2.214
0.3	0.15	0.292	0.175	-46.4	0.119	0.651
0.5	0.2	0.0272	0.1035	-64	0.1001	0.572
0.7	0.25	0.023	0.092	-65.85	0.046	0.291
1	0.3	0.0204	0.0641	-64.58	0.019	0.249

Table 3 Fracture parameters at crack-tip A, C with horizontal delamination

Vertical delamination						
Crack: length a(mm)	a/v	Crack-tip A			Crack-tip C	
		K_{IA} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{IIA} $(MPa\sqrt{mm})$	$\theta_0(°)$	K_{1C} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{2C} $(MPa\sqrt{mm})$
0.1	0.1	0.0375	0.0502	-57.15	4.28	5.041
0.3	0.15	0.0267	0.0286	-54.16	2.405	2.493
0.5	0.2	0.017	0.0179	-53.90	1.905	2.09
0.7	0.25	0.0155	0.0152	-52.83	1.359	1.86
1	0.3	0.0081	0.0056	-46.79	0.398	0.458

이종접합계면의 균열선단 B에서 전단응력에 의한 응력세기계수 K_{2B}는 수직응력에 의한 K_{1B}보다 큰 것으로 나타났다.

Table 3은 응력특이점 P에서 0.1mm의 수지균열 진전 후 수직박리가 발생하여 a=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm일 때 c=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm로 균열이 진전하는 경우 균열선단 A, C의 응력세기계수 결과와 균열선단 A로 부터 균열진전방향 θ_0를 계산한 결과를 보여준다. a와 a/v가 증가 할수록 균열선단 B와 C에서 응력세기계수는 감소하고 균열선단 C의 전단응력성분에 의한 응력세기계수 K_{2C}는 수직응력에 의한 K_{1C} 보다 크며, 균열길이 a가 증가 할 때 θ_0값은 점점 감소한다.

Table 4는 응력특이점 P에서 0.1mm의 수지균열 진전 후 혼합박리가 발생하여 a=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1mm로 더욱진전할 때 다이패드와 수지의 이종접합계면에서 균열길이 h와 v도 동시진전하여 균열길이의 비(a/h, a/v)=(0.1, 0.2), (0.15, 0.4), (0.2, 0.6), (0.25, 0.8), (0.3, 0.1)인 경우 균열선단 A, B, C에서 응력세기계수와 균열선단 A에서 균열진전방향 θ_0를 계산한 결과를 보여준다.

균열선단 A, B, C에서 응력세기계수는 균열길이의 비(a/h, a/v)가 증가 할 때 감소하는 것으로 나타났다. 균열선단 A, C의 경우 수직응력에 의한 응력세기계수 K_{1A}는 전단응력에 의한 응력세기계수 K_{2B}보다 크지만 균열선단 B에서는 전단응력에 의한 응력세기계수 K_{2B}가 수직응력에 의한 응력세기계수 K_{1B}보다 큰 것으로 나타났다. 또한, 균열선단 A에서의 θ_0는 균열길이의 비(a/h, a/v)가 증가함에 따라 증가와 감소를 반복하는 것으로 나타났다.

4.3 균열진전경로의 예측

응력특이점 P에서 초기의 수지균열 a가 0.01mm에서 0.1mm까지 진전한 후 층간박리와 함께 0.1, 0.3, 0.5, 0.7,

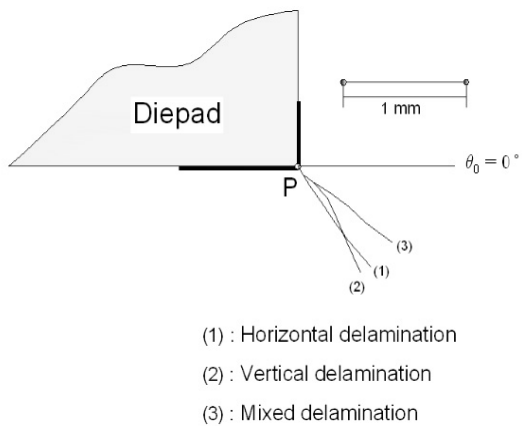


Fig. 14 Prediction of crack propagation path in LSI package

Table 4 Fracture parameters at crack-tip A, B and C with mixed delamination

Mixed delamination								
Crack: length a(mm)	(a/h, a/v)	Crack-tip A			Crack-tip B		Crack-tip C	
		K_{IA} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{IIA} $(MPa\sqrt{mm})$	$\theta_0(°)$	K_{1B} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{2B} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{1C} $(MPa\sqrt{mm})$	K_{2C} $(MPa\sqrt{mm})$
0.1	(0.1, 0.2)	0.246	0.090	-33.39	0.037	0.417	0.038	0.021
0.3	(0.15, 0.4)	0.189	0.062	-31.02	0.065	0.358	0.068	0.051
0.5	(0.2, 0.6)	0.092	0.036	-34.87	0.112	0.082	0.069	0.064
0.7	(0.25, 0.8)	0.077	0.043	-42.54	0.044	0.066	0.031	0.009
1	(0.3, 1)	0.013	0.005	-34.49	0.011	0.013	0.017	0.008

1mm로 증가 할 때 3가지 층간박리의 유형에서 구한 θ_0의 결과를 이용하여 균열진전경로를 예측하였다.

Fig. 14는 층간박리와 함께 균열이 진전할 때 진전경로를 비교하기 위해 각각의 균열길이 a가 증가 할 때마다 균열진전 방향 θ_0의 결과를 이용하여 균열을 진전시킨 그림이다.

층간박리 파괴 없이 균열이 진전하는 초기의 미소 균열구간 (0.01～0.1mm)과 층간박리와 함께 진전하는 균열진전구간 (0.1～1mm)에 대한 균열진전경로는 육안으로 뚜렷하게 비교하는 것이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 진전경로를 그린 후 150배율로 확대하여 나타내었다.

혼합박리가 발생하는 경우의 진전경로가 기준선으로부터 가장 작은 기울기를 나타내었고 수직박리를 갖는 경우의 진전경로는 기준선으로부터 가장 큰 기울기를 갖는 것으로 나타났다.

5. 결 론

LSI 반도체 패키지의 접합계면단의 응력특이점에서 수지방향의 초기균열이 발생·진전 후 접합계면에 층간박리가 발생하면서 접합계면 균열길이와 수지균열이 증가하는 경우 BEM 수치해석 모델을 설정하여 열응력을 해석하였고 그 결과로부터 응력세기계수와 균열진전경로를 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) LSI 패키지의 접합계면의 응력특이점에서 수지방향으로 균열이 발생·전전하면서 수평 층간박리, 수직 층간박리, 혼합박리가 발생할 경우 BEM에 의한 열응력을 해석한 후 해석결과를 이용하여 응력세기계수와 균열진전방향을 예측하는 방법을 제시하였다.

(2) LSI 패키지의 접합계면에 층간박리가 발생하지 않는 경우 수지의 균열선단 A의 응력세기계수는 균열길이 a의 증가에 따라 증가하지만 층간박리가 발생 한 후 균열선단 A의 응력세기계수는 감소하였다.

(3) LSI패키지의 접합계면에 수평 층간박리, 수직 층간박리, 혼합박리가 발생할 경우 접합계면의 균열선단 B점 및 C점에서의 응력세기계수는 균열길이의 비 a/h, a/v의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

(4) LSI 패키지의 수지균열의 균열진전방향 θ_0는 층간박리의 유형과 균열길이의 비 a/h, a/v에 따라 크게 영향을 받으며, 균열길이 a=1mm이하의 구간에서 균열진전경로는 혼합 박리일 경우 기준선으로부터 가장 작은 기울기를 갖는다.

후 기

본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어 졌음.

참 고 문 헌

(1) Chung, N. Y. and Park, C. H., 2005, “Analysis of Stress Singularities on Interfaces of Friction Welded Dissimilar Materials,” *Transaction of the KSAE*, Vol. 13, No. 2, pp. 142~148.

(2) Ju, Y., Saka, M., and Abe, H., 2001, “Detection of Delamination in IC Packages Using the Phase of Microwaves,” *International Journal of NDT & E*, Vol. 34, pp. 49~56.

(3) Chung, N. Y. and Song, C. H., 1996, “Prediction of Propagation Path for the Interface Crack in Bonded Dissimilar Materials,” *Transaction of the KSAE*, Vol. 4, No. 3, pp. 111~121.

(4) Miura, H., Nishimura, A., Kawai, S., and Nishi K., 1998, “Residual Stress in Resin-Molded IC Chips,” *Transaction of the JSME*, Vol. 55, No. 516, pp. 1763~1770.

(5) Miura, H., Nishimura, A., Kawai, S., and Murakami, G., 1990, “Effect of Package Structures on the Residual Stress of Silicon Chips Encapsulated in IC Plastic Packages,” *Transaction of the JSME*, Vol. 56, No. 522, pp. 175~181.

(6) Sato, M., Ruuki, R., Yoshoka, S., and Inoue, A., 1994, “Analysest of Delamination Arrest Effect of Dimples on Interface in LSI Package,” *Transaction of the JSME*, Vol. 60, No. 577, pp. 1985~1991.

(7) Lee, K. Y., Moon, H. S., Lee, T. S., and Kim, K. S., 1995, “Plastic IC Package Cracking Analysis due to Thermal Stress,” *Transaction of the KSME*, Vol. 19, No. 12, pp. 3197~3204.

(8) Lee, K. Y. and Yang, J. H., 1998, “Viscoelastic Cracking Analysis of Plastic IC Package with Polyimide Coating Layer,” *Transaction of the KSME*, Vol. 22, No. 10, pp. 1930~1937.

(9) Park, S. S., Pahn, L. O., and Earmme, Y. Y., 1994, "A Fracture Mechanics Approach on Delamination and Package Crack in Electronic Packaging(2)," *Transaction of the KSME*, Vol. 18, No. 8, pp. 2158~2166.
(10) Alpen, P. and Lee, K. C., 2000, "A Simple Model for the Mode I Popcorn Effect for IC Packages," *Microelectronics Reliability*, Vol. 40, pp. 1503~1508.
(11) Chung, N. Y., 2008, "Prediction of Crack Propagation Path Using Boundary Element Method in IC Packages," *Transaction of the KSAE*, Vol. 16, No. 3, pp. 15~22.