

温度サイクル負荷時における LSI パッケージの 異種材料界面はく離の発生傾向に関する解析*

齋藤 武博*¹, 松山 英人*², 戸谷 真之*³

Linear Fracture Mechanics Analysis of Interfacial Delamination in LSI Packages under Temperature Cyclic Loading

Takehiro SAITOH, Hidehito MATSUYAMA and Masayuki TOYA

A study is made for interfacial delaminations between dissimilar materials in LSI plastic packages caused by temperature cyclic loading. Combining a thermoelastic finite element method for nonlinear contact problems and linear fracture mechanics approach, stress intensity factors at the tips of growing delaminations are obtained for the packages with Cu alloy or 42 alloy (Fe-42%Ni) leadframe. The tendency of delamination growth are compared for the two configurations of delamination; one along the interfaces between the top surface of the die pad and die-bonding layer and the other along those between the bottom surface of the die-pad and encapsulant resin. It is concluded that the former case is more likely to occur for the package with Cu alloy leadframe while for packages with 42 alloy leadframe, the latter case is more likely to occur.

Key Words: Structural Analysis, Thermal Stress, Finite Element Method, Fracture Mechanics, Stress Intensity Factor, Delamination, Reliability, LSI Package

1. 緒 言

LSI(大規模集積回路)は, 多様な材料から構成され, その機能が発現されるが, 異なる機械的性質を有する材料が接合されると, 構成材料間の熱膨張の相違からさまざまな温度環境において熱応力が発生する. 熱応力は, 異種材料間の界面はく離を発生させる原因であり, また異種材料間のはく離が発生すると, LSI を構成する材料中にクラックが生じ, デバイスの信頼性低下を招くことがある. LSI のパッケージとしては, SiO₂ を充てんした熱硬化性樹脂を用いてトランスファモールドされるプラスチックパッケージ(図 1)が現在主流を占めているが, このタイプのパッケージでは, 過度の熱応力が原因で異種材料間の界面はく離^{(1)~(6)}, 封止樹脂クラック^{(1)~(3)(7)~(9)}, パッシベーションクラック^{(10)~(12)}などが生じることが知られている.

著者らは, すでに, 温度サイクル(150°C~-65°C)負荷時にダイパッド(リードフレーム)/封止樹脂接合端

から発生する封止樹脂クラックに関する数値解析を時系列的な異種材料界面はく離の発生プロセスを想定して行い, パッケージ内に生じる異種材料界面はく離が封止樹脂クラックの発生に及ぼす影響をリードフレーム材料(Cu 合金と 42 合金)別に明らかにした^{(1)~(3)}. またリードフレーム材料に Cu 合金と 42 合金を用いた実パッケージの温度サイクル試験を行い, 数値解析結果と比較検討した. その結果, 試験結果と解析結果はクラックの発生可能性や発生方向ともによく一致することを確認し, 線形破壊力学的解析の有効性を報告した^{(1)~(3)}. しかしながら, 近年のパッケージの多様化や, 大容量化・高機能化による LSI 素子の大型化に対

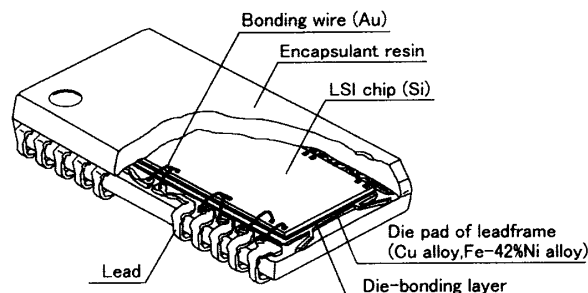


Fig. 1 Schematic structure of a plastic package called small outline J lead (SOJ)

* 原稿受付 1997年6月18日.

*¹ 正員, 日本電気(株)半導体高密度実装技術本部 (☎ 229-1198 相模原市下九沢 1120).

*² (株)NEC 情報システムズ科学技術システム事業部 (☎ 213-0012 川崎市高津区坂戸 3-2-1).

*³ 正員, 鹿児島大学工学部 (☎ 890 0065 鹿児島市郡元 1-21-40).

応して、デバイスの信頼性を確保するためには、より詳細な力学的解析が必要である。とりわけ、封止樹脂にクラックが生じる初期的な損傷過程は、パッケージを構成する異種材料間の界面はく離であるから、界面はく離の発生傾向を把握することは重要である。

そこで、本報では、リードフレーム材料にCu合金と42合金(Fe-42%Ni)を用いたパッケージの内部にさまざまなはく離が生じたと想定して、温度サイクル負荷時におけるパッケージ内のダイボンディング層およびダイパッド裏面の界面はく離の発生傾向について議論する。

2. 解析方法

2.1 有限要素法による応力解析 解析対象としたパッケージは、350 mil 幅のSOJパッケージである(図1)。図2に解析モデル(パッケージの1/2部分)と各部の寸法を示す。解析モデルは、パッケージ短辺断面の二次元平面ひずみ状態とし、リードの存在は考えないものとする。ダイボンディング材料はエポキシ樹脂(Agペースト)とし、リードフレームには代表的材料であるCu合金と42合金を用いた場合を想定した。また有限要素法による応力解析の条件として、次のような仮定を設定した。

パッケージを構成する材料は、すべて等方性を有する線形弾性体であるとする。表1に解析に用いた材料物性を示した。温度サイクルの条件は、150°C〜

65°Cと設定し、応力の発生源は構成材料間の熱膨張係数の違いのみとする。また、封止温度(175°C)を無応力状態とし、-65°Cにパッケージ全体が均一に冷却されたとき、最も高い応力が発生するものとする。すなわち、温度荷重として240°Cを与え、-65°Cにおけるパッケージの内部応力を計算する。ただし、本解析では、後述するようにパッケージを構成する異種材料間に種々の界面はく離を設けているため、異種材料が接触する場合には一体となって変形する連続条件^{(13)~(15)}を導入する熱応力解析コード⁽¹⁾⁽²⁾を用いて応力計算を行った。図3にメッシュ分割の一例を示す。図3(a)は全体図、(b)ははく離先端部近傍の拡大図である。はく離先端部近傍は、一辺2 μm~10 μmの三角形に分割した。要素は三角形一次要素とし、要素数は16 960~21 210、接点数は8 600~10 830とした。

2.2 界面はく離の応力拡大係数の定義 異材界面はく離先端近傍に振動特異応力が生じることをWilliams⁽¹⁶⁾が最初に指摘して、その後、各種の境界条件における異材界面はく離先端近傍の弾性解がErdogan⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾、England⁽¹⁹⁾、Rice and Sih⁽²⁰⁾などによって導出されている。いま、図4に示すように、 $y > 0$ を材料1、 $y < 0$ を材料2とする異種材料が接された半無限板に全長 $2a$ の界面はく離が存在する場合を考

Table 1 Material Properties

Material	Young's modulus at -65°C (E:GPa)	Poisson's ratio (ν)	Thermal expansion coefficient ($\alpha: \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$)	
Resin	21.1	0.3	17.93	
Leadframe material	Cu alloy	112.7	0.3	17.5
	42 alloy	145.0	0.3	4.0
Die-bonding material	11.8	0.3	42.58	
LSI chip (Si)	169.5	0.3	3.0	

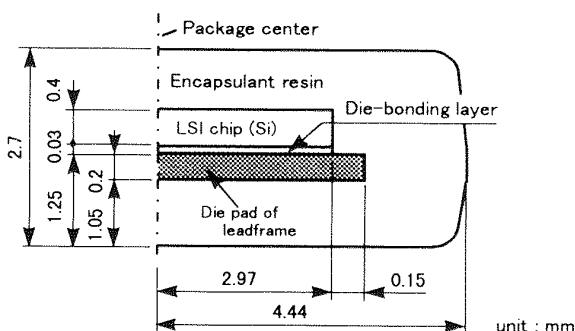
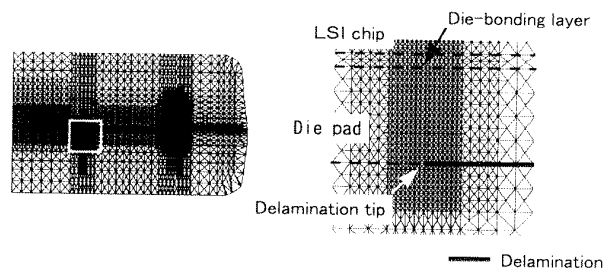


Fig. 2 Cross section of an LSI package and its dimensions



(a) An example of the whole mesh for stress analysis (b) Enlarged portion of mesh near the tip of delamination

Fig. 3 FEM mesh

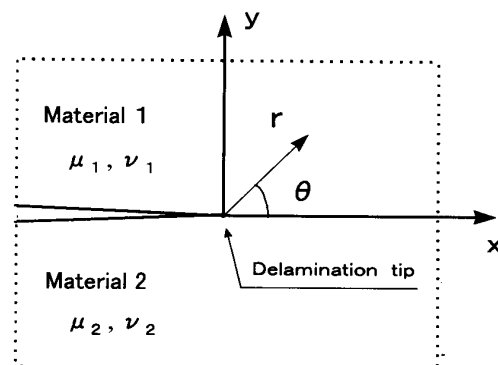


Fig. 4 Coordinate systems at an interfacial delamination tip

える。図中の μ_j と ν_j ($j=1, 2$) はそれぞれ横弾性係数, ポアソン比を表す。Erdogan⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾ の複素応力拡大係数 ($K_1 + iK_2$) の定義を用いると, はく離先端近傍 ($\theta=0, r=x$) の応力 σ_y, τ_{xy} と, はく離表面 ($\theta=\pi, r=-x$) の相対変位 δ_y, δ_x はそれぞれ式(1), (2) のように表される。

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

$$\delta_y + i\delta_x = \frac{K_1 + iK_2}{2(1 + 2i\epsilon) \cosh(\epsilon\pi)} \times \left[\frac{\kappa_1 + 1}{\mu_1} + \frac{\kappa_2 + 1}{\mu_2} \right] \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left(\frac{r}{l}\right)^{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2\pi} \ln \left[\left(\frac{\kappa_1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) / \left(\frac{\kappa_2}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_1} \right) \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$\kappa_j = \begin{cases} 3 - 4\nu_j & (\text{平面ひずみ}) \\ (3 - \nu_j)/(1 + \nu_j) & (\text{平面応力}) \end{cases} \quad (j=1, 2) \dots\dots\dots (4)$$

ここで, ϵ はバイマテリアル定数で, 応力および変位の振動性の強さを表す。 μ_j は縦弾性係数 E_j とポアソン比 ν_j を用いて, 式(5)により得ることができる。

$$\mu_j = E_j/[2(1 + \nu_j)] \dots\dots\dots (5)$$

また, l は界面はく離の応力拡大係数の次元を均質材のものと同じにするための代表長さである。

本解析では, 結城らが提案する変位外挿法⁽²¹⁾⁽²²⁾ を用いた。すなわち $r \rightarrow 0$ の外挿により分離された K_1, K_2 と, K_i およびモード比 K_2/K_1 を有限要素法により求めた相対するはく離表面における接点の相対変位から求めて, ダイボンディング層およびダイパッド裏面の界面はく離の発生傾向を議論した。この方法では, 振動する変位の影響を回避することができるという特徴を有している。定義式を式(6)から式(9)に示す。

$$K_1 = C \lim_{r \rightarrow 0} [\delta_y(\cos Q + 2\epsilon \sin Q) + \delta_x(\sin Q - 2\epsilon \cos Q)] / \sqrt{r/(2\pi)} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_2 = C \lim_{r \rightarrow 0} [\delta_x(\cos Q + 2\epsilon \sin Q) - \delta_y(\sin Q - 2\epsilon \cos Q)] / \sqrt{r/(2\pi)} \dots\dots\dots (7)$$

$$K_i = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}$$

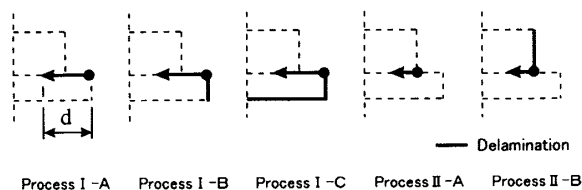


Fig. 5 Assumption of the delamination occurrence processes in the die-bonding layer

$$= C\sqrt{1 + 4\epsilon^2} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\sqrt{\delta_y^2 + \delta_x^2}}{\sqrt{r/2\pi}} \dots\dots\dots (8)$$

$$K_2/K_1 = \lim_{r \rightarrow 0} (1 - \delta_y/\delta_x) / (\delta_y/\delta_x + H) \dots\dots\dots (9)$$

ここで,

$$C = 2 \cosh(\epsilon\pi) / [(\kappa_1 + 1)/\mu_1 + (\kappa_2 + 1)/\mu_2] \dots\dots\dots (10)$$

$$H = (\tan Q - 2\epsilon) / (1 + 2\epsilon \tan Q) \dots\dots\dots (11)$$

$$Q = \epsilon \ln(r/l) \dots\dots\dots (12)$$

であり, K_i は式(13)に示すようにエネルギー解放率 G に対応している⁽²³⁾。

$$G = \frac{1}{16 \cosh^2(\epsilon\pi)} \left[\frac{\kappa_1 + 1}{\mu_1} + \frac{\kappa_2 + 1}{\mu_2} \right] (K_1^2 + K_2^2) \dots\dots\dots (13)$$

なお, 式(12)において, 複素応力拡大係数の位相の影響を取り除くため, l はダイパッドの厚さ 0.2 mm に固定した⁽²⁴⁾。

3. ダイボンディング層に生じる界面はく離

3・1 はく離モデルの想定 リードフレーム材料に Cu 合金を用いたパッケージが温度サイクル負荷を受け, ダイボンディング層を含むダイパッド表面とダイパッド側面にはく離が生じると, パッケージの底面に向かって封止樹脂中にクラックが進展することを前報で明らかにしている⁽¹⁾⁽²⁾。本章の目的は, ダイボンディング層の界面はく離の発生傾向を把握することであるが, プラスチックパッケージは, 金属, LSI チップ(Si), 樹脂などの異種材料の複雑な接合構造を形成している。したがって, ダイボンディング層界面のみに初期はく離を設け, 他の異種材料間は密着しているモデルのみでは, 必ずしもダイボンディング層の界面はく離の発生傾向を十分に把握できるとは言えない。そこで, ここでは図5に示す5ケースのはく離モデルを設定して, それぞれ Cu 合金および 42 合金リードフレームを用いたパッケージにおけるダイボンディング層界面はく離の応力拡大係数を解析し, はく離の発生傾向を考察した。図中の●印ははく離の起点を示し, ←印の先端ははく離先端, すなわち解析部位を表している。

プロセス I-A は, ダイパッド/封止樹脂の上接合部からはく離が発生して, ダイボンディング層の界面はく離がパッケージ中心に向かって進展するケースである。プロセス I-B はダイパッド側面/封止樹脂間のはく離を伴って, ダイボンディング層のはく離が進展するケースである。プロセス I-C はダイパッド側面とダイパッド裏面のはく離をも伴って, ダイボンディ

ング層の界面はく離が進展するケースである。これらの3種類のモデルに対して、プロセスII-Aはリードフレーム表面、ダイボンディング層、封止樹脂の接合端を起点にして、ダイボンディング層の界面はく離がパッケージ中心に向かって進展するケースである。プロセスII-BはプロセスII-Aと同様であるが、チップ側面のはく離が伴った場合を想定している。また、これらすべてのはく離モデルでは、はく離長さ(d 寸法)、すなわちリードフレームエッジからはく離先端までの距離をプロセスI-A, I-B, I-Cの場合0.05, 0.2, 0.6, 1.0, 1.8, 2.6 mmの六段階に変化させ、プロセスII-A, II-Bでは、0.2, 0.35, 0.6, 1.0, 1.8, 2.6 mmの六段階に変化させた。なお、すべてのモデルにおいて、チップ上面/封止樹脂界面のはく離はないものとしている。

3.2 界面はく離の発生傾向 界面はく離の応力拡大係数(K_i , K_1 , K_2)とそのモード比(K_2/K_1)の解析

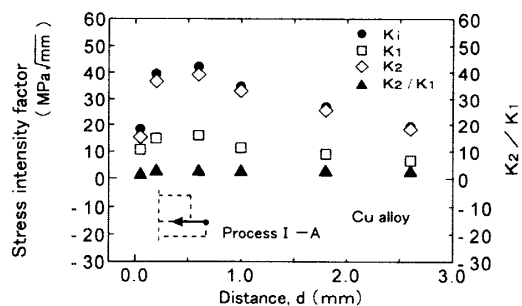


Fig. 6 Analysis results of Process I-A (Cu alloy L/F)

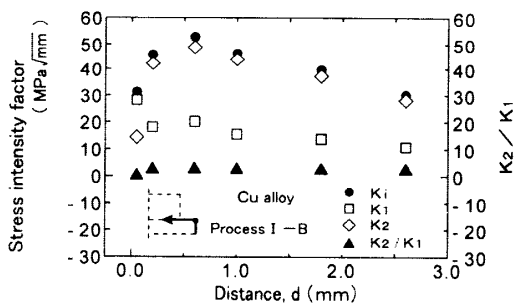


Fig. 7 Analysis results of Process I-B (Cu alloy L/F)

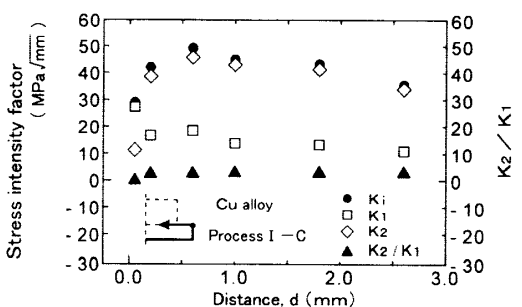


Fig. 8 Analysis results of Process I-C (Cu alloy L/F)

結果からはく離の発生傾向をリードフレーム材料別に議論する。なお、以下リードフレームをL/Fと記述する。

(1) Cu合金L/Fを用いた場合 Cu合金をL/Fに用いた場合の解析結果を図6から図10に示した。プロセスI-A, I-B, I-Cにおいて $d=0.05$ mmの場合を除く、すなわちはく離先端がダイパッド上面と封止樹脂の界面に存在している場合を除くときの全体的な特徴として、モード比(K_2/K_1)は2.1~2.7であり、その比ははく離モデルやはく離長さ d にほとんど依存していないことが挙げられる。また、混合モードを示しているものの K_2 (モードII)が K_1 にほぼ一致し、 K_2 がはく離の発生に支配的な影響を持つと考えられる。 K_2 の最大値は $d=0.6$ mm時に発生し、はく離発生の初期には不安定なはく離進展が起こると考えられるが、 $d>0.6$ mmでは K_2 は減少傾向にあるので、その後はく離は安定的に成長するものと予想される。一方、プロセスI-A, I-B, I-Cにおいて $d=0.05$ mmの場合、モード比は-0.1~1.2である。特に、プロセスI-B, I-Cについては、 K_1 (モードI)が初期のはく離の発生に大きく寄与することがわかる。

プロセスI-A, I-B, I-Cの間の比較では、ダイパッド側面のはく離が伴うプロセスI-Bに最も高い応力拡大係数 K_2 が生じ、その値は $52.7 \text{ MPa}/\sqrt{\text{mm}}$ ($d=0.6$ mm)である。しかし、これらのプロセス間では顕著な K_2 の差は認められないことから、ダイパッド

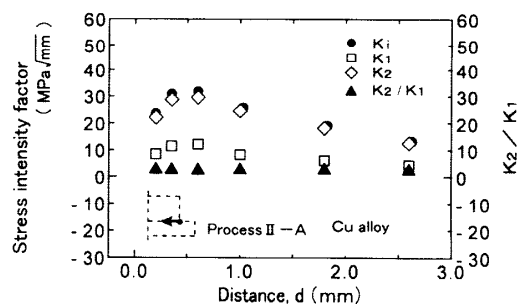


Fig. 9 Analysis results of Process II-A (Cu alloy L/F)

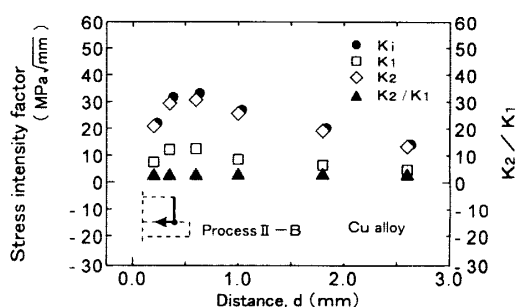


Fig. 10 Analysis results of Process II-B (Cu alloy L/F)

側面やダイパッド裏面のはく離は、ダイボンディング層のはく離の発生に与える影響は少ないものと考えられる。ここで、プロセス I-A においては、温度サイクルの進行に伴って d が増大すると、前報⁽¹⁾⁽²⁾ で報告したようにダイパッド側面と封止樹脂界面でモード I によるはく離が生じるので、この場合の損傷過程はプロセス I-B に移行して行くものと考えられる。またプロセス I-B への移行後において d が増大すると、ダイパッド下接合端から封止樹脂クラックが発生するのである⁽¹⁾⁽²⁾。

上述の3種類のプロセスに比較して、ダイボンディング部のエッジからはく離が進展すると仮定したプロセス II-A, II-B における K_1, K_2 は、例えば $d=0.6$ mm においてともに 2.5 割~4 割減少しており、ダイボンディング部のエッジからはく離が発生し進展する可能性は低いものと推測される。また、プロセス II-A と II-B を比較すると、同様な結果が得られており、

このプロセスにおいてもチップ側面のはく離はダイボンディング層のはく離進展に影響を与えないのがわかる。

(2) 42 合金 L/F を用いた場合 次に、42 合金を L/F 材料に用いた場合について考える。図 11 から図 15 に解析結果を示す。 K_2 の絶対値は d 寸法や損傷プロセスに依存せず、ほぼ K_1 に一致し、そのモード比の絶対値は 2.1~3.6 である。つまり、はく離の発生にはせん断(モード II)が関与するものと考えられる。ここで、プロセス I-A, I-B, I-C の $d=0.05$ mm の場合においては、 K_2 は負の値であり、その他のモデルとは逆の方向にせん断力が作用しているのがわかる。また、42 合金 L/F を用いた場合のプロセス I-A, I-B, I-C における応力拡大係数 K_2 は、Cu 合金の場合に比較し著しく低下しており、例えば $d=0.2$ mm のときではほぼ 4 割に低下している。すなわち、ダイボンディング部のはく離は 42 合金 L/F を用いたパッケージのほうが Cu 合金 L/F を用いたパッケージより生じにくいことがわかる。一方、ダイボンディング層のみに初期はく離を想定したプロセス II-A, II-B における K_2 においても、 $d=0.2$ mm のときでは Cu 合金 L/F を用いたパッケージの値のほぼ 4 割に低下している。このことから 42 合金 L/F を用いたパッケージでは、Cu 合金 L/F を用いた場合に比較してダイボンディング層のはく離は発生しにくいと言える。

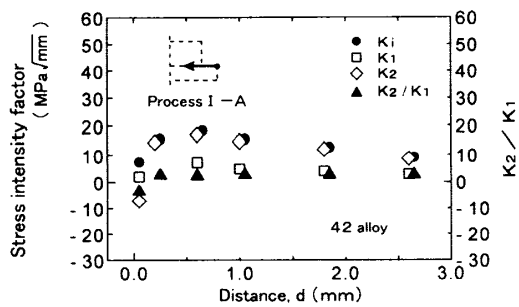


Fig. 11 Analysis results of Process I-A (42 alloy L/F)

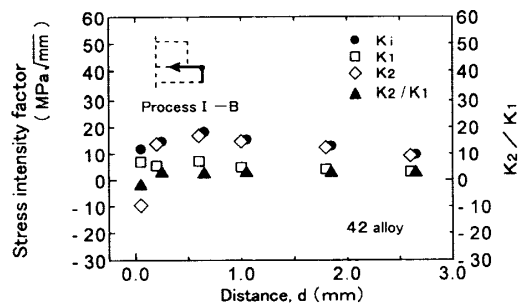


Fig. 12 Analysis results of Process I-B (42 alloy L/F)

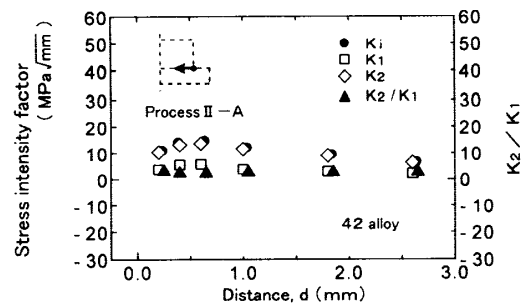


Fig. 14 Analysis results of Process II-A (42 alloy L/F)

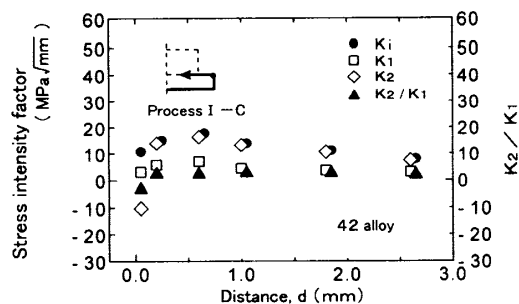


Fig. 13 Analysis results of Process I-C (42 alloy L/F)

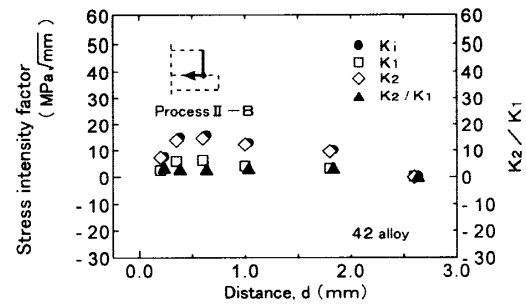


Fig. 15 Analysis results of Process II-B (42 alloy L/F)

以上のように、これらの5ケースの損傷プロセスにおいては、 $d > 0.2 \text{ mm}$ では互いに同様な結果を示している。 K_2 は $d = 0.6 \text{ mm}$ で最大となり、 $d > 0.6 \text{ mm}$ では K_2 は減少する傾向が見られ、特に $20 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ を越える突出した値はみられない。すなわち、42合金 L/F を用いた場合、 $d > 0.2 \text{ mm}$ においてはダイパッド周辺の界面はく離は、ダイボンディング部のはく離進展にほとんど影響を与えないことが理解できる。これは、はく離の進展が Si チップとダイパッドの弾性率や熱膨張係数のみで決まり、これらの材料を囲む封止樹脂には依存しないことを意味する。はく離部は、プロセス II-B におけるダイボンディング層側面/封止樹脂界面はく離部を除きすべてのモデルにおいて接触状態であったことから、このことが理解できる。

なお、3章の解析におけるプロセス I-A、I-B、I-C の3ケースにおいてはすでに述べたように d 寸法により材料の組合せが異なるため、応力および変位の振動性の強さを表す ε 値は一定ではない。Cu 合金 L/F を用いたパッケージでは $d = 0.05 \text{ mm}$ で $\varepsilon = 0.063$,

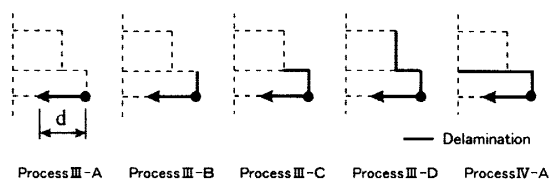


Fig. 16 Assumption of the delamination occurrence processes between the bottom surface of the die pad and encapsulant resin

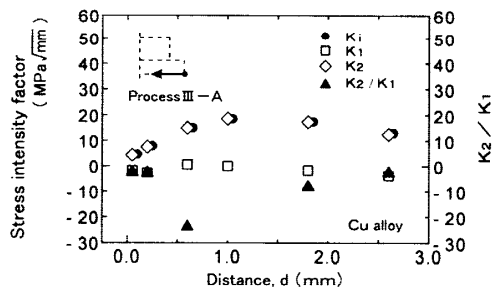


Fig. 17 Analysis results of Process III-A (Cu alloy L/F)

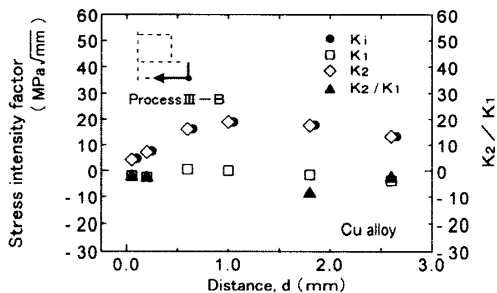


Fig. 18 Analysis results of Process III-B (Cu alloy L/F)

$d \geq 0.2 \text{ mm}$ においては $\varepsilon = 0.075$ である。一方、42合金 L/F を用いたパッケージでは $d = 0.05 \text{ mm}$ で $\varepsilon = 0.069$ 、 $d \geq 0.2 \text{ mm}$ においては $\varepsilon = 0.079$ である。しかしながら、その値の顕著な差は見られないので ε 値の応力拡大係数への影響はここでは無視した。

4. ダイパッド裏面に生じる界面はく離

4.1 はく離モデルの想定 リードフレーム材料に42合金を用いたパッケージが温度サイクル負荷を受けた場合、ダイパッド裏面にはく離が生じると、パッケージの底面に向かって、ダイパッド下接合端から封止樹脂クラックが発生することを前報において報告している⁽¹⁾⁽³⁾。4章では、ダイパッド裏面の界面はく離の発生傾向について解析することを目的とするが、3章で述べたようにプラスチックパッケージの構造上の特徴を考慮して、ここでは図16に示す5ケースの

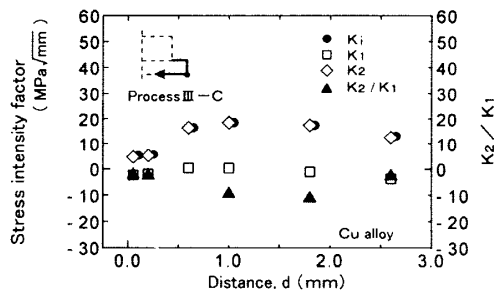


Fig. 19 Analysis results of Process III-C (Cu alloy L/F)

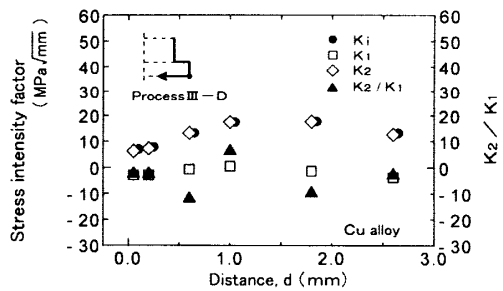


Fig. 20 Analysis results of Process III-D (Cu alloy L/F)

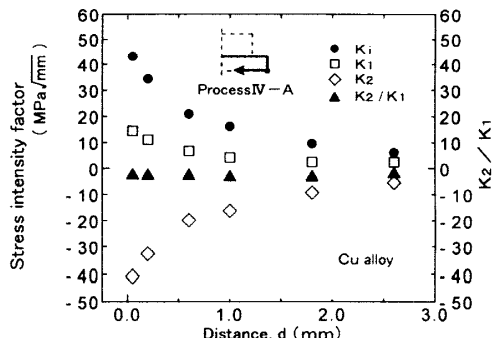


Fig. 21 Analysis results of Process IV-A (Cu alloy L/F)

はく離モデルを想定して、それぞれCu合金、42合金リードフレームを用いたパッケージにおけるダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離の応力拡大係数をはく離長さ d を変化させて解析し、リードフレーム材料の違いによるはく離の発生傾向の特徴について議論する。

プロセスIII-Aは、ダイパッド/封止樹脂の下接合端部からはく離が発生して、ダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離がパッケージ中心に向かって進展するケースである。プロセスIII-Bはダイパッド側面のはく離を伴った場合であり、プロセスIII-Cはダイパッド表面に接する封止樹脂界面はく離とダイパッド側面のはく離が伴って、ダイパッド裏面の界面はく離が進展するケースである。プロセスIII-Dでは、プロセスIII-Cにさらにチップ側面/封止樹脂界面はく離をも伴ったケースを想定している。これらの4種類のモデルにおいては、いずれもダイボンディング層は密着していることを特徴とするが、プロセスIV-Aについては、ダイボンディング層を含むダイパッド表面部とダイパッ

ド側面部のはく離を伴って、ダイパッド裏面のはく離がパッケージ中心に向かって進展するケースである。また、これらすべてのはく離モデルにおいて、3章の解析と同様、はく離長さ d を、0.05, 0.2, 0.6, 1.0, 1.8, 2.6 mmの六段階に変化させた。また、すべてのモデルにおいて、チップ上面/封止樹脂界面は密着していると仮定した。

4・2 界面はく離の発生傾向 3章と同様に、界面はく離の応力拡大係数 (K_i, K_1, K_2) とそのモード比 (K_2/K_1) の解析結果を用いて、はく離の発生傾向を以下L/F材料別に述べる。

(1) Cu合金L/Fを用いた場合 図17から図21に解析結果を示した。プロセスIII-A, III-B, III-C, III-Dの結果は、同様な応力拡大係数 (K_i, K_1, K_2) 値を示している。すなわち、Cu合金L/Fを用いた場合においては、ダイボンディング部を除くダイパッド周囲やチップ側面に生じるはく離は、ダイパッド裏面/封

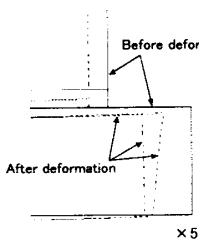


Fig. 22 Deformation in process IV-A ($d=0.2$ mm)

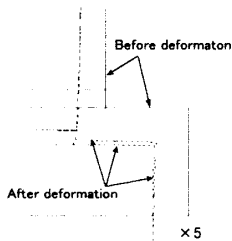


Fig. 23 Deformation in process III-D ($d=0.2$ mm)

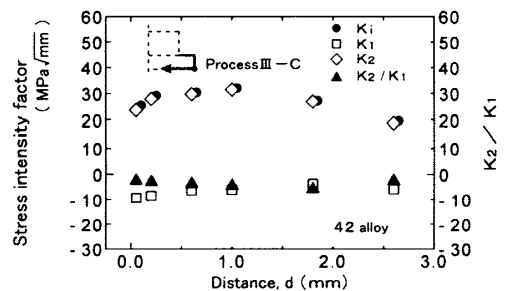


Fig. 26 Analysis results of Process III-C (42 alloy L/F)

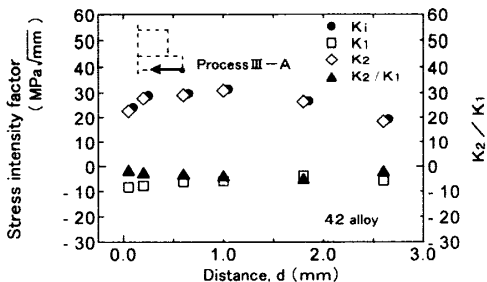


Fig. 24 Analysis results of Process III-A (42 alloy L/F)

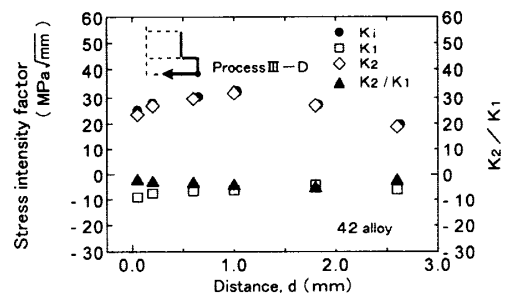


Fig. 27 Analysis results of Process III-D (42 alloy L/F)

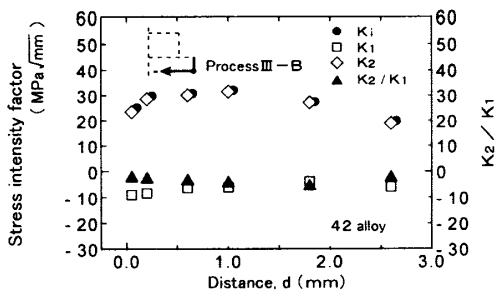


Fig. 25 Analysis results of Process III-B (42 alloy L/F)

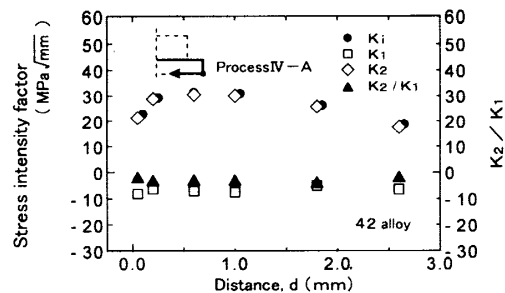


Fig. 28 Analysis results of Process IV-A (42 alloy L/F)

止樹脂界面はく離にほとんど影響を与えない。またこれらの図より、具体的な応力拡大係数値を見ると、 K_1 はほぼ零であり、 K_i は K_2 にほぼ一致し、ダイパッドの裏面のはく離においてもモードIIがはく離の進展に支配的であることがわかる。また $d=1.0$ mm付近で K_2 は最大値を示し、その値は約 $18.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ である。 $d=0.05$ mmでは、 K_2 は $7.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ 以下であり、はく離の初期過程においてははく離は進展しにくいことがわかる。 $d>1.0$ mmにおいては、 K_2 の緩やかな減少傾向が見られ、温度サイクルの進行に伴ってはく離は安定成長することが予想される。

これらの4ケースの損傷プロセスに対し、ダイパッド表面およびダイパッド側面にはく離を設定したプロセスVI-Aにおいては、その傾向が著しく異なっている。 $d=0.05$ mmの場合、 $K_1=14.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ であり、 $K_2=-40.6 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ である。また、はく離の進展つまり d 寸法の増大に伴い K_1, K_2 の絶対値はともに減少している。特に K_2 は急激に減少していることが図より読取ることができる。このことを言い換えると、プロセスVI-Aの場合、ダイパッドの下接合端からダイパッド/封止樹脂界面はく離が生じていた場合においても、はく離の進展は停止・減速することが示唆される。ここで、図22は応力解析におけるプロセスVI-Aの $d=0.2$ mmにおける変形図(5倍)である。図22より、ダイパッドの下接合端部の界面にモードIIの状態が生じていることがわかる。

なお、Cu合金をリードフレームに用いた場合、はく離プロセスや d 寸法に依存することなくはく離先端は接触の状態であるが、ダイパッド上面と側面にはく離を設定したモデルでは、ダイパッド上接合端部近傍は材料間の接触はみられないことが変形の特徴である。一例として、図23にプロセスIII-D($d=0.2$ mm)の変形図(5倍)を示した。

(2) 42合金L/Fを用いた場合 図24から図28に42合金L/Fを用いた場合のダイパッド裏面の界面はく離に関する応力拡大係数計算結果を示した。応力拡大係数の値は損傷プロセスに依存しないこと、すなわちダイパッド周辺のはく離とチップ側面のはく離に全く左右されないことがわかる。これは、熱膨張が小さく、また同等な熱膨張係数値を有するチップとダイパッドに対し、これらの材料の周辺に存在する封止樹脂が圧縮を与えているために、Cu合金L/FのプロセスVI-Aの場合のような構造的な特徴による応力拡大係数の発生要因がないためと考えられる。プロセスIII-Dのダイボンディング層側面/封止樹脂界面はく離を除くすべてのモデルのはく離部は接触状態であっ

たことから、このことが理解できる。応力拡大係数のモード比(K_2/K_1)は $-2.2\sim-5.8$ であり、負の値である。また、 K_2 の絶対値は K_i にほぼ一致し、 K_2 がはく離の発生に支配的であることがわかる。ここで、 $d=0.05$ mmにおいて、ダイボンディング部が密着したと仮定したプロセス(III-A, III-B, III-C, III-D)のCu合金L/Fと42合金L/Fの K_2 を比較すると、42合金L/Fパッケージでは、Cu合金L/Fの場合の約5倍の値(約 $23.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$)となっており、42合金をL/Fに用いるとダイパッド裏面のはく離が発生しやすいことがわかる。また、 K_2 は $d=1.0$ mmのとき、最大値(約 $30.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$)を示し、はく離の発生初期には不安定にはく離は進展し、 d の増大に伴って K_2 が減少することから、はく離は安定的な成長へと移行するものと推察される。なお、これらの5ケースの損傷プロセスでは、温度サイクルの進行に伴ってはく離が進展すると、前報⁽¹⁾⁽²⁾で報告したようにダイパッド下接合端を起点とした封止樹脂クラックが発生するのである。

5. 結 言

温度サイクル負荷時におけるプラスチックパッケージの異種材料界面はく離の発生傾向について解析した。本解析により、ダイボンディング層およびダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離に関する発生傾向が、パッケージ内に生じるさまざまなはく離やリードフレーム材料の影響、さらにははく離寸法の影響も含めて明らかとなった。また本解析結果はLSIパッケージの設計上の有益な指針を与えるものと期待される。

文 献

- (1) 齋藤武博, 機論, 63-608, A(1997), 821-829.
- (2) Saitoh, T., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part B*, 19-3(1996), 593-600.
- (3) Saitoh, T. and Toya, M., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. Part B*, 20-2(1997), 176-183.
- (4) Lundström, P. and Gustafsson, K., in *Proc. 38th Electronic Components Conf.*, (1988), 396-405.
- (5) Lin, R., Blackshear, E. and Serisky, P., *IEEE/IRPS*, (1988), 83-89.
- (6) 田中直敬・西村朝雄, 機論, 60-577, A(1994), 90-97.
- (7) Sauber, J., Lee, L. and Hongsmatip, T., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part A*, 17-4(1994), 533-541.
- (8) Pearson, R. A., Lloyd, T. B., Azimi, H. R., Hsiung, J., Early, M. S. and Brandenburger, P. D., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part B*, 20-1(1997), 31-37.
- (9) Lee, H. and Earmme, Y. Y., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part A*, 19-2(1996), 168-178.

- (10) Thomas, R. E., *IEEE Trans. on Comp., Hybrids, and Manufact.*, Vol. CHMT-8, No. 4(1985), 427-434.
- (11) Edwards, D. R., Heinen, K. G., Groothuis, S. K. and Martinez, J. E., *IEEE Trans. on Comp., Hybrids, and Manufact.*, Vol. CHMT-12, No. 4(1987), 618-627.
- (12) Alpern, P., Wicher, V. and Tilgner, R., *IEEE Trans. on Comp. Packaging, and Manufact. Tech. -Part A*, **17**-4 (1994), 583-589.
- (13) 蔦紀夫・山地成一, 日本機械学会誌, **76**-651(1973), 348-358.
- (14) Chan, S. K. and Tuba, I. S., *Int. J. Mech. Sci.*, **13**(1971), 615-625.
- (15) 山田嘉昭・江澤良孝, 生産研究, **31**-6(1979), 519-524.
- (16) Williams, M. L., *Bull. Seism. Soc. Am.*, **49**-2(1959), 199-204.
- (17) Erdogan, F., *J. Appl. Mech.*, **30**(1963), 232-236.
- (18) Erdogan, F., *J. Appl. Mech.*, **32**(1965), 403-410.
- (19) England, A. H., *J. Appl. Mech.*, **32**(1965), 400-402.
- (20) Rice, J. R. and Sih, G. C., *J. Appl. Mech.*, **32**(1965), 418-423.
- (21) 結城良治・曹相鳳, 機論, **55**-510, A(1989), 340-347.
- (22) 結城良治編, 界面の力学, (1993), 103.
- (23) Malyshev, B. M. and Salganik, R. L., *Int. J. Fract. Mech.*, **1**(1965), 114-128.
- (24) 池田徹・宮崎則幸・祖田敏弘・宗像健, 機論, **58**-555, A(1992), 70-77.