

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* (第2報, 構成材料の機械的特性及び設計寸法の影響)

齋藤 武博*¹, 松山 英人*², 戸谷 眞之*³

Linear Fracture Mechanics Analysis of Interfacial Delamination in LSI Packages under Temperature Cyclic Loading (2nd Report, The Effects of Material Properties and Package Geometry Factors)

Takehiro SAITOH, Hidehito MATSUYAMA and Masayuki TOYA

Further fracture mechanics analyses to understand comprehensively the effects of material properties and package geometries on two configurations of delaminations along the interfaces at a) die-bonding layer and b) the bottom surface of the die pad in LSI plastic packages subjected to temperature cyclic loading were performed. Specifically, the effects on these delaminations of such package constituent material properties as 1) coefficients of thermal expansion and 2) Young's moduli of the encapsulant resin and die-bonding material were examined. Package geometry factors such as thickness and width, including chip size were also considered. The analyses were conducted on the basis of three models of delaminated packages, in which large stress intensity factors at the tips of growing delaminations were induced in our previous work⁽¹⁾. The impact of these parameters on the delaminations were determined and several design guides of Cu alloy and Fe-42% Ni alloy leadframe packages were pointed out.

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

1. 緒 言

著者らは、前報⁽¹⁾において、温度サイクル(150°C ~ -65°C)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・進展に関する線形破壊力学解析を行った。前報では、リードフレーム材料の違いによる影響を含め、パッケージ内に生じるさまざまな異材界面はく離がダイパッド上面/ダイボンディング層界面と、ダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離の発生・進展に及ぼす影響をそれぞれ5種類のはく離モデルを設定して解析を行った。また、温度サイクル試験の進行に伴うはく離の成長傾向についても明らかにした。しかしながら、実際のパッケージ設計や材料開発といった工業的観点からは、設計における諸要因が界面はく離の発生・進展に与える影響を明確にし、設計指針を構築することが要求される。

そこで、本報では、前報⁽¹⁾の解析モデル10種類の

中から高い応力拡大係数を示した3種類のパッケージモデルを用い、ダイボンディング材料と封止樹脂の機械的特性、パッケージの厚さ、幅、チップ寸法を広範囲に変化させることで、これらの設計要因が温度サイクル負荷時(低温時)における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に与える影響について議論し、パッケージの設計指針を導出する。

2. 解析モデル

図1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、パッケージ断面の二次元平面ひずみ状態とし、リードフレーム(以下、L/Fと称す)の材料には現在広く用いられているCu合金と42合金(Fe-42%Ni)を適用したプラスチックタイプのパッケージを想定した。また、異種材料界面はく離の発生状態として、表1に示す3種類のモデルを設定した。一般に、異種材料間のはく離は、はく離先端における応力拡大係数 K またはエネルギー解放率 G を破壊パラメータとし、その値が臨界値 K_c , G_c に達したときに成長すると考えられている。言い換えると、はく離の進展の有無は異材間の接合強度と、対象物の構造および構成材料の機械的特性により決まることであり、構成材料の特性のみからで、はく離の発生・進

* 原稿受付 1998年6月17日。

*¹ 正員、日本電気(株)ULSIデバイス開発研究所(☎229-1198 相模原市下九沢1120)。

*² 正員、(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)。

E-mail: takchiro@lsi.nec.co.jp

展過程を的確に議論できるとは言い難い。しかしながら、本論文では前報⁽¹⁾の解析において、高い応力拡大係数を示したモデルを用いて、パッケージの材料特性・設計寸法がはく離の発生・進展に及ぼす影響を解析し、パッケージの設計指針の構築を試みる。なお、表中の●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。以下、各設計要因の解析諸条件について述べる。

2.1 ダイボンディング材料の機械的特性の影響に関する解析 現在主流のダイボンディング材料は、エポキシ樹脂をベースとした Ag ペーストであるが、Pb-Sn, Au-Si 共晶などの金属も用いられている。また、最近ではポリイミドを基調としたフィルム材料でのダイボンディングも行われており⁽²⁾、ダイボンディング層はパッケージを構成する材料の中では最も広い範囲の機械的特性を有する部分である。

そこで、ここではダイボンディング材料の特性自身がダイパッド上面/ダイボンディング層の界面はく離に及ぼす影響について解析する。パッケージ各部の寸法(図1)は、 $H1=2.7$ mm, $H2=1.05$ mm, $W1=4.4$ mm, $W2=2.97$ mm に固定し、解析モデルはダイパッド側面のはく離を伴って、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1のみとした。ダイボンディング材料の弾性率(E_{db})は、0.1176 GPa, 1.176 GPa, 11.76 GPa, 117.6 GPa に変化させ、それぞれの弾性率の値において熱膨張係数(α_{db})は、 2.5×10^{-6} 1/°C, 22.5×10^{-6} 1/°C, 42.58×10^{-6} 1/°C, 62.5×10^{-6} 1/°C に変化させた。これらの特性値はダイボンディング層に有機材料や金属材料を用いた場合を想定して設定した値である。ダイボンディング材料以外の材料物性は表2の値を用いた。なお、表2の値はプラスチックパッケージを構成する一般的な材料の特性値である。

2.2 封止樹脂の機械的特性の影響に関する解析

封止樹脂の機械的特性の変遷として、エポキシ樹脂

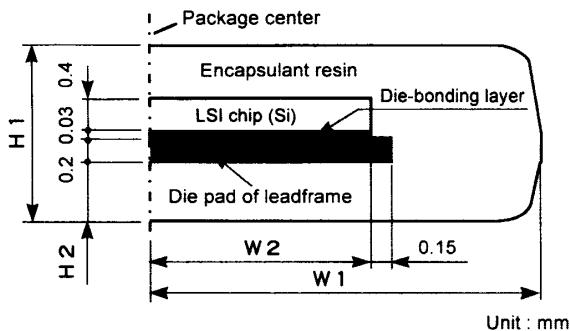


Fig. 1 Cross section of an LSI package and its dimensions

中にフィラー(SiO_2)を高い密度で充てんすることによる低熱膨張化が挙げられる⁽³⁾。また、この変遷に伴って弾性率は増大する傾向にある。そこで、2.2節では、このような封止樹脂の変遷がパッケージの界面はく離に及ぼす影響を検証する。

パッケージ各部の寸法は2.1節の解析と同じ値とした。解析モデルは、ダイボンディング層の密着を保持しつつダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離がパッケージ中心へと進展するケース2と、ダイボンディング層とダイパッド側面のはく離を伴って、ダイパッド裏面はく離が進展するケース3を用いた。ケース1においても封止樹脂の特性に影響されることが予想されるが、ここではケース1は取扱わなかった。封止樹脂の弾性率(E_{er})は13.23 GPa, 17.15 GPa, 21.07 GPa, 24.99 GPa に変化させ、それぞれの弾性率の値において、熱膨張係数(α_{er})は 6.0×10^{-6} 1/°C, 12.0×10^{-6} 1/°C, 17.93×10^{-6} 1/°C, 24.0×10^{-6} 1/°C に変化させた。熱膨張係数 6.0×10^{-6} 1/°Cを除くこれらの値は、従来開発および実用化された封止樹脂の特性値から設定した値である。熱膨張係数 6.0×10^{-6} 1/°Cは今後の封止樹脂の低熱膨張化動向を考慮し選択した値である。封止樹脂以外の材料特性値は表2の値を用いた。なお、2.1節と2.2節の解析では、温度サイクル試験の進行に伴うはく離の成長の影響をも考慮する目的で、リードフレームエッジからはく離先端までの距離 d を0.05, 0.2, 0.6, 1.0, 1.8, 2.6 mmの六段階に変化させて解析を行った。

2.3 パッケージ設計寸法の影響に関する解析

近年、LSI デバイスの大容量化・高集積化が急速に進展し、その結果 LSI チップは大形化している。一

Table 1 Analysis models

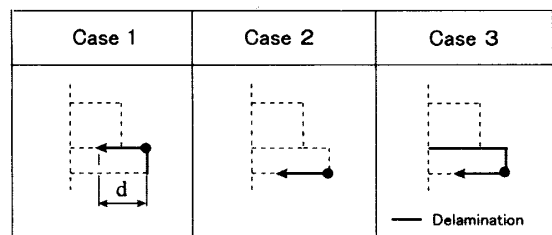


Table 2 Material properties

Material	Young's modulus at -65°C (Ei:GPa)	Poisson's ratio (ν)	Thermal expansion coefficient ($\alpha_i: \times 10^{-6}$ 1/°C)
Resin	21.07	0.3	17.93
Leadframe material	Cu alloy	112.7	0.3
	42 alloy	145.0	0.3
Die-bonding material	11.76	0.3	42.58
LSI chip (Si)	169.5	0.3	3.0

方, 機器の携帯化・軽量化を図る目的でパッケージには軽薄短小化される動向が見られる⁽⁴⁾.

このような電子デバイスの動向をかんがみ, 2・3 節の解析では, パッケージの設計寸法がはく離に及ぼす影響を把握することを目的とする. 図 1 におけるパッケージの厚さ関連の寸法を $H1=1.4$ mm, $H2=0.4$ mm; $H1=2.0$ mm, $H2=0.7$ mm; $H1=2.7$ mm, $H2=1.05$ mm; $H1=3.7$ mm, $H2=1.55$ mm とし, それぞれの厚さ寸法の組合せに対して, パッケージ幅寸法 ($W1$) とチップ寸法 ($W2$) は, $W1=4.4$ mm, $W2=2.97$ mm; $W1=10.0$ mm, $W2=7.5$ mm; $W1=14.0$ mm, $W2=10.0$ mm; $W1=20.0$ mm, $W2=12.5$ mm とした. また, $W1=4.4$ mm, $W2=2.97$ mm の場合には, 2・1 節および 2・2 節と同様, d 寸法を六段階に変化させた. $W1=10.0$ mm, $W2=7.5$ mm の場合には, さらに $d=7.13$ mm を追加し, $W1=14.0$ mm, $W2=10.0$ mm では $d=9.63$ mm, $W1=20.0$ mm, $W2=12.5$ mm では, $d=12.13$ mm を追加した. なお, 解析に用いた材料特性は, 表 2 に示した値である.

3. 解析方法

3・1 界面はく離の評価パラメータ いま, xy 直交座標系において, $y > 0$ を材料 1, $y < 0$ を材料 2 とする異種材料が接合された半無限板に原点をはく離先端とする異種材料界面はく離 ($x < 0$) が存在する場合を考える. Erdogan⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 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.

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

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

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

ここで, ε はパ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 は横弾性係数であり, ヤング率 E_j , ポアソン比 ν_j を用いて, $\mu_j = E_j / [2(1+\nu_j)]$ と表すことができる. また, 平面ひずみ状態の場合, κ_j は $\kappa_j = 3 - 4\nu_j$ と与えられる. 添字 j ($=1, 2$) は材料の種類を表す. l は代表長さであり, 複素応力拡大係数の位相の影響を取り除くため⁽⁷⁾, ダイパッドの厚さ 0.2 mm に固定した. また本解析では, 前報⁽¹⁾と同様に, 変位外挿法⁽⁸⁾⁽⁹⁾を用いて応力拡大係数 K_1, K_2 を計算し, $K_i = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}$, K_2/K_1 を用いて界面はく離の発

生・進展傾向に及ぼす各設計要因の影響を議論した. ここで, K_i はエネルギー解放率 G に対応するパラメータであり, G と K_i は式 (4) によって関係づけることができる⁽¹⁰⁾.

$$G = \frac{1}{16 \cosh^2(\varepsilon\pi)} \left[\frac{\kappa_1 + 1}{\mu_1} + \frac{\kappa_2 + 1}{\mu_2} \right] K_i^2 \dots\dots\dots (4)$$

なお, 熱応力問題への変位外挿法の適用は厳密性に欠けるが, 異種材料間の熱膨張差による相対変位は, はく離先端の特異応力場によって生じる相対変位に比較して非常に小さいので, 変位外挿法の本熱応力問題への適用は実用上差支えないと考えた. また, 本解析においては ε 値の応力拡大係数に与える影響は無視した.

3・2 有限要素法による応力・変位の解析 パッケージ内部応力および変位は, 構成材料間の接触を考慮した有限要素法を用いて計算した^{(11)~(13)}. 温度サイクルの条件は, 150°C ~ -65°C と設定し, 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の応力および変位を計算した. 解析に関わる仮定は前報⁽¹⁾と同様である. また, はく離先端のメッシュも前報と同様に分割した. 要素は三角形一次要素とし, 要素数は 15 951 ~ 22 003, 接点数は 8 064 ~ 11 830 とした.

4. 解析結果および考察

4・1 ダイボンディング層の機械的特性の影響

(1) Cu 合金 L/F を用いた場合 図 2(a) ~ (d) に Cu 合金 L/F を用いたパッケージの計算結果を示した. これらの図の相互比較より, ダイボンディング材料の弾性率 (E_{ab}) が増すと, $d=0.05$ mm では K_i は減少する傾向があるが, $d \geq 0.2$ mm での K_i には増大傾向が認められる. また, E_{ab} の値により, K_i の d 寸法依存性の顕著な相違が認められる.

そこで, いま, ダイボンディング材料の弾性率 (E_{ab}) に注目して考える. E_{ab} が 1.176 GPa 以下の場合では, その熱膨張係数 (α_{ab}) に関係なく, $K_i, K_2/K_1$ は同様な値を示している. つまり, はく離の発生・進展に α_{ab} は関与していないのである. また, ここでの特筆すべき特徴は, はく離先端がダイパッド上面/封止樹脂界面に存在する場合 ($d=0.05$ mm) では, 突出した K_i 値が発生することであり, その値は $E_{ab} = 0.1176$ GPa では, $K_i \approx 66 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$, $E_{ab} = 1.176$ GPa では $K_i \approx 48 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ である. このことは, ダイボンディング材料の弾性率 (E_{ab}) が低いと, ダイパッド上接合端近傍のダイパッド上面/封止樹脂界面にはく離が発生しやすいことを示唆している. K_2/K_1 に

おいては, $E_{db}=0.1176$ GPa では約 1.6, $E_{db}=1.176$ GPa では約 0.9 であり, K_1 (モード I) の寄与が大きい。界面はく離の混合モード基準(だ円則)から⁽¹⁴⁾, 一般に同一の K_i であっても, K_2/K_1 の低下に伴ってはく離は進展しやすくなるので, ダイパッド上接合端近傍のダイパッド上面/封止樹脂界面はく離の発生は E_{db} が極端に低い場合には避けがたいものと考えられる。しかしながら, $d=0.2$ mm では K_i は急激に低下し, d 寸法の増大に伴って若干の減少傾向がみられる。

一方, ダイボンディング材料の弾性率(E_{db})が 11.76 GPa 以上では, 熱膨張係数(α_{db})が小さくなるにつれ, K_i は増大することがわかる。この傾向は $E_{db}=117.6$ GPa で顕著に現れている。また, K_2/K_1

は, $E_{db} \leq 11.76$ GPa では α_{db} に依存せず同様な値($d \geq 0.2$ mm では約 2.2)を示しているが, $E_{db}=117.6$ GPa での K_2/K_1 値は広い範囲に及んでいる。特に, $d=0.2$ mm の場合には α_{db} の増大に伴って, K_2/K_1 [MPa $\sqrt{\text{mm}}$ /MPa $\sqrt{\text{mm}}$] はそれぞれ 107.9/-0.2, 68.5/0.6, 29.0/3.1, -10.5/7.8 に変化した。すなわち, K_1 は徐々に増加し K_2 は α_{db} に正比例しながら低下するのである。これは, $d=0.2$ mm の場合にはく離先端はチップ, ダイボンディング層, リードフレーム, 封止樹脂の複雑な接合部分の近傍に位置していることに起因している。また, この場合は, ダイボンディング層の弾性率(E_{db})が高いために, その熱膨張係数(α_{db})の影響が敏感に応力拡大係数の値に反映されるのである。

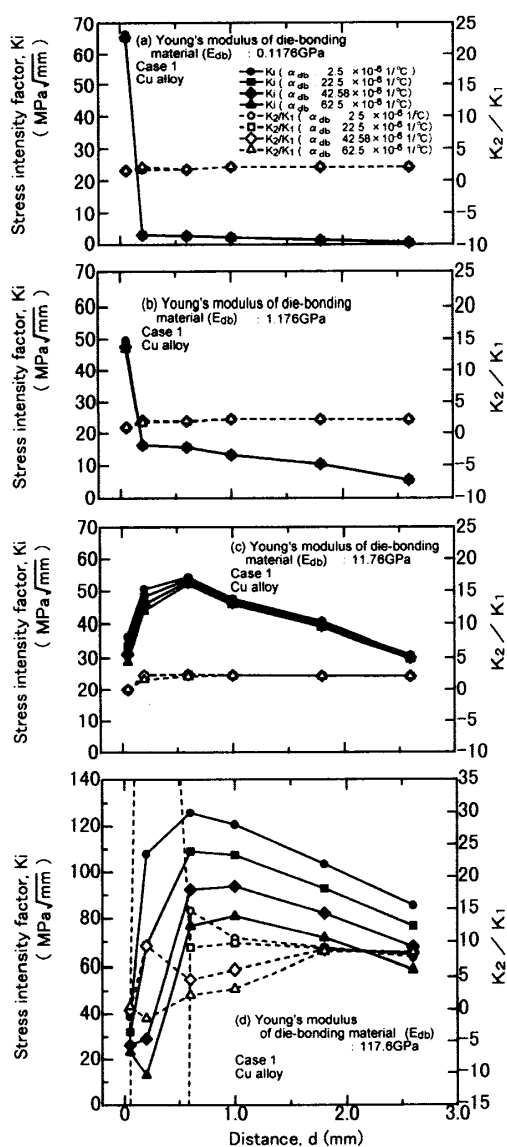


Fig. 2 Effect of die-bonding material properties in Cu alloy leadframe packages (Case 1)

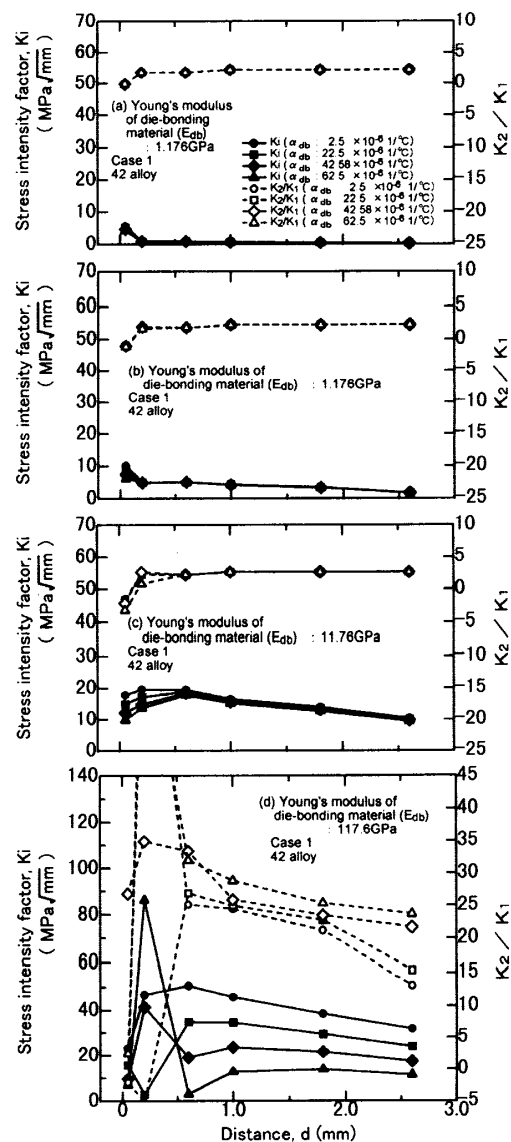


Fig. 3 Effect of die-bonding material properties in 42 alloy leadframe packages (Case 2)

(2) 42 合金 L/F を用いた場合 図 3(a) ~ (d) は 42 合金 L/F を用いたパッケージの解析結果である。これらの結果から、ダイボンディング材料の弾性率(E_{db})の増大に伴って、 K_i は増加する。一方、熱膨張係数(α_{ab})の減少はむしろ K_i の増大をもたらしている。この傾向は、Cu 合金 L/F を用いた場合と同様であるが、その K_i 値を比較すると、42 合金 L/F を用いた場合のほうが Cu 合金 L/F を用いた場合より低い。つまり、ダイボンディング材料の特性に依存せず、42 合金 L/F を用いたほうが Cu 合金 L/F を用いた場合より、ダイボンディング層のはく離は進展しにくいことが理解できる。また、42 合金 L/F の場合では、Cu 合金 L/F を用いた場合のように、 $E_{db} \leq 1.176$ GPa の $d=0.05$ mm における突出した K_i 値は生じないことがわかる。 K_2/K_1 は、 $E_{db} \leq 11.76$ GPa かつ $d \geq 0.2$ mm では約 2.2 であり、Cu 合金 L/F を用いた場合と

同様な値である。ここで、 $E_{db}=117.6$ GPa における $d=0.2$ mm では、極めて広範囲にわたる K_i , K_2/K_1 値が生じている。 K_2/K_1 [MPa $\sqrt{\text{mm}}$ /MPa $\sqrt{\text{mm}}$] は、 α_{ab} の増大に伴って、それぞれ 46.8/0.6, 2.8/-0.5, -41.4/-1.2, -86.2/-1.2 に変化していた。これらの値より、 $\alpha_{ab}=22.5 \times 10^{-6}$ 1/°C では一時的にはく離の成長が減速・停止することや、 $\alpha_{ab}=62.5 \times 10^{-6}$ 1/°C においては逆に加速することが考えられよう。前述したように、このような K_2/K_1 の変化は、 d 寸法が 0.2 mm の場合における構造的要因に起因しているためである。

以上のように、ダイボンディング層界面のはく離の抑制策として、ダイボンディング材料の低弾性化は効果的であるが、低熱膨張化は必ずしも有効なはく離対策とはなり得ないことがわかる。ただし、Cu 合金 L/F を用いた場合、ダイボンディング材料の弾性率を 1.176 GPa 以下に低減すると、ダイパッド上接合端近傍にはく離が生じやすくなる問題が挙げられよう。

4・2 封止樹脂の機械的特性の影響

(1) Cu 合金 L/F を用いた場合 まず、ダイボンディング層が密着している場合(ケース 2)に関するダイパッド裏面/封止樹脂の界面はく離について考える。解析結果を図 4(a)~(d)に示す。この場合、封止樹脂の弾性率(E_{er})が増大すると、 K_i も増大することがわかる。また、熱膨張係数(α_{er})が 12.0×10^{-6} 1/°C のときに K_i 値は最小になることがわかる(ただし、 $d \leq 0.2$ mm では K_i の値の大小関係が微妙に逆転する場合もある)。モード比(K_2/K_1)を見ると、ばらつきが観察される。これは小さい値である K_i の微妙な揺らぎによるものである。

次に、ダイボンディング層界面とダイパッド側面のはく離を伴って、ダイパッド裏面のはく離が進展すると仮定したケース 3 について考える。解析結果を図 5(a)~(d)に示した。ケース 3 の場合、封止樹脂の弾性率(E_{er})の増大と熱膨張係数(α_{er})の低下に伴って、 K_i は増大することがわかる。この傾向はダイボンディング材料が密着している場合(ケース 2)とは異なっている。封止樹脂の特性にかかわらず d 寸法の増大に伴って、 K_i は減少する傾向が認められるので、はく離は封止樹脂の特性に依存せず減速するものと予想される。ここで、 $\alpha_{er}=24.0 \times 10^{-6}$ 1/°C の場合においては、 $d=0.6$ mm 近傍ではく離が停止することも予想される。 K_2/K_1 は -2.1~-4.1 の範囲で推移しており、はく離の先端は封止樹脂の特性によらず常に同様な混合モード負荷状態にあることがわかる。

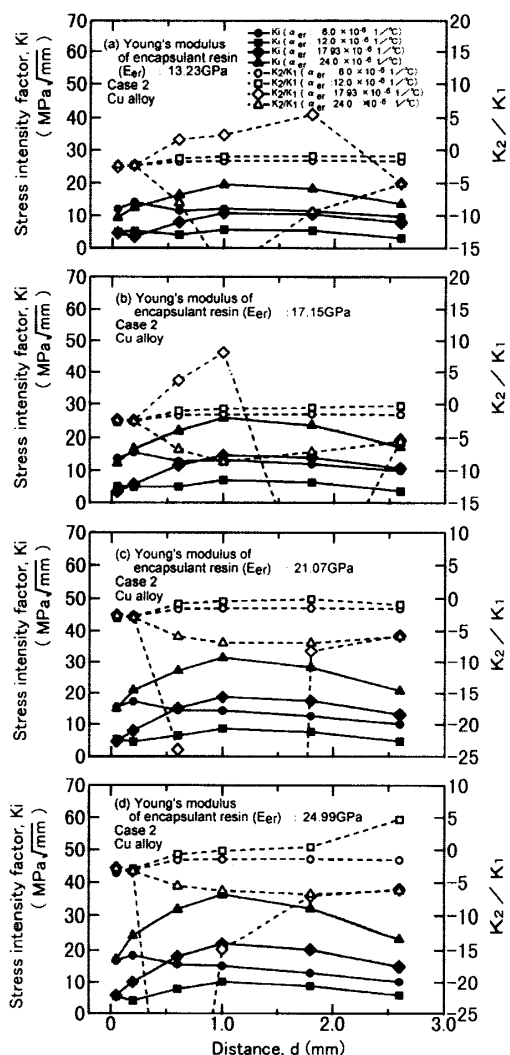


Fig. 4 Effect of encapsulant resin properties in Cu alloy leadframe packages (Case 2)

(2) 42合金 L/F を用いた場合 一方, 図 6(a)~(d) に 42合金 L/F を用いたケース 2 の解析結果を示した. 封止樹脂の弾性率(E_{er})が増大すると, K_i が増大する点では Cu 合金 L/F を用いた場合の結果と同様であるが, 42合金 L/F を用いた場合には熱膨張係数(α_{er})の低下に伴って, K_i は減少している. すなわち, はく離の進展を抑制するためには封止樹脂の低弾性化と低熱膨張化が有効であることがわかる. また, K_2/K_1 のばらつきは Cu 合金 L/F の場合と同じ理由によるものである.

ケース 3 の解析結果は上述のダイボンディング層が密着しているケース 2 [図 6(a)~(d)] と本質的に同じ結果であった. つまり, 封止樹脂の広範囲な特性にわたり, ダイボンディング層のはく離の有無はダイパッド裏面のはく離の進展に影響を与えないのである.

以上説明したように, ダイパッド裏面/封止樹脂界面のはく離の抑制には, リードフレーム材料にかかわらず低弾性化が有効である. また, 42合金 L/F を用いたパッケージでは封止樹脂の低熱膨張化は非常に有効なはく離抑制対策となるが, Cu 合金 L/F を用いた場合には必ずしも有効とは限らないことが理解できる.

4.3 パッケージ設計寸法の影響

(1) Cu 合金 L/F を用いた場合 Cu 合金 L/F を用いたパッケージにおける設計寸法の影響について以下に述べる. ケース 1 およびケース 2 では, パッケージの厚さ寸法($H1, H2$)が減少すると K_i は減少したが, パッケージ幅($W1$)とチップ寸法($W2$)の K_i への影響は見られなかった. また, それぞれのケースにおいて, $W1, W2$ 寸法は K_2/K_1 に大きな影響を及ぼさないことがわかった. すなわち, ケース 1, 2 ではパッ

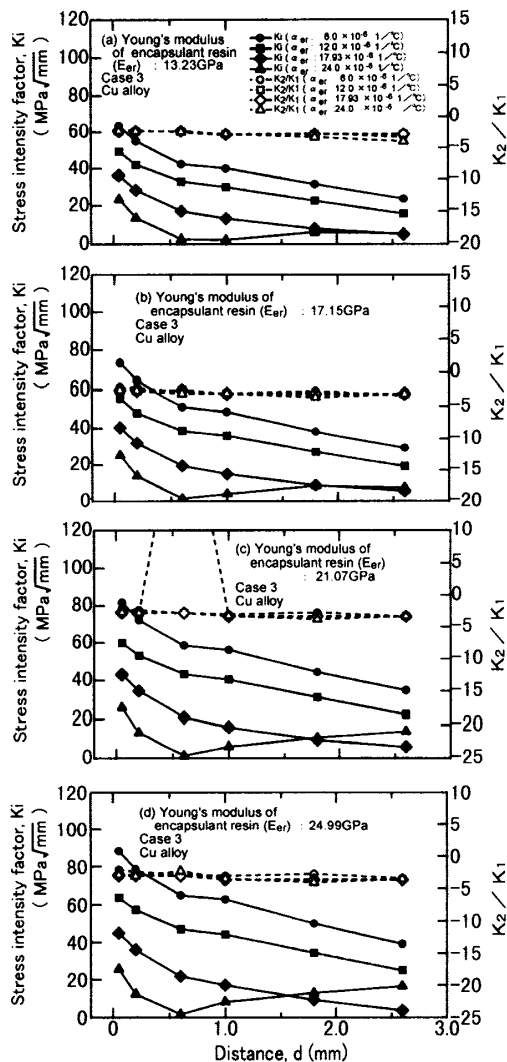


Fig. 5 Effect of encapsulant resin properties in Cu alloy leadframe packages (Case 3)

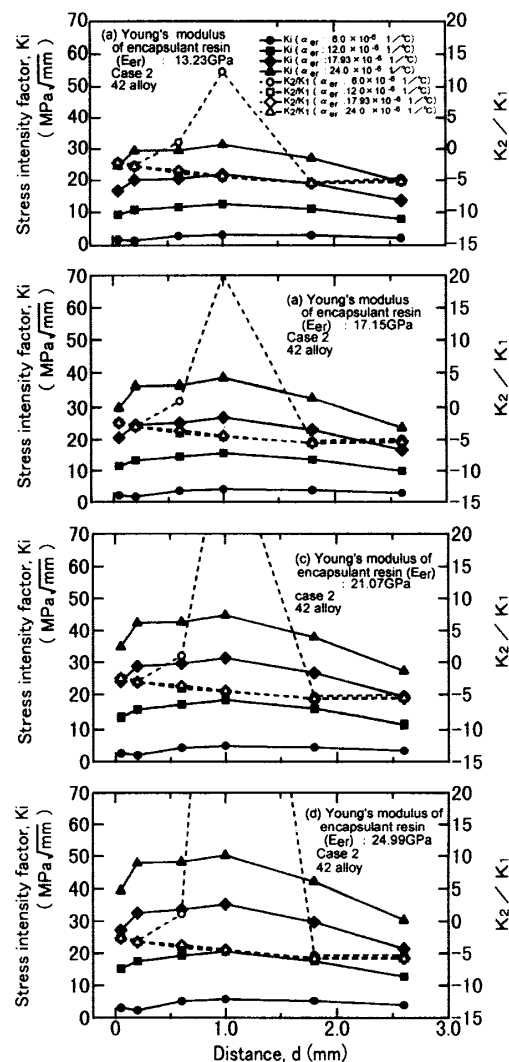


Fig. 6 Effect of encapsulant resin properties in alloy 42 leadframe packages (Case 2)

ケースの厚さ以外の寸法はダイボンディング層界面とダイパッド裏面のはく離の進展に関与しないのである。言い換えると、 K_i はパッケージの厚さとリードフレームエッジからはく離先端までの距離 (d 寸法) で決定されるのである。図 7, 8 に、それぞれケース 1, 2 における K_i , K_2/K_1 を d 寸法ごとに示した。

次に、ケース 3 の場合では、図 9(a)~(d) に示したように、パッケージ厚さ ($H1$, $H2$) が薄くなると K_i は増大する。また、 $W1$, $W2$ の増加に伴い K_i は増大している。 K_2/K_1 はパッケージ設計寸法および d 寸法に依存せず、 $-2.2 \sim -3.5$ の範囲内で推移している。すなわち、ダイボンディング層はく離した状態においては、パッケージの薄形化およびパッケージ幅、チップ寸法の増大に伴って、ダイパッド/封止樹脂界面のはく離が進展しやすくなるのがわかる。

(2) 42 合金 L/F を用いた場合 上述のケース 1, 2 と同様、図 10~12 にそれぞれケース 1, 2, 3 における K_i , K_2/K_1 を d 寸法ごとに示した。42 合金 L/F を用いた場合においては、それぞれのケースにおいて $W1$, $W2$ 寸法の K_i 値へ及ぼす影響は見られず、パッケージ厚さ ($H1$, $H2$) と d 寸法により K_i は決定された。また、すべてのケースにおいて $W1$, $W2$ 寸法は K_2/K_1 に大きな影響を及ぼすことはなかった。すなわち、パッケージの薄形化はダイボンディング層界面とダイパッド裏面のはく離の進展を抑制する開発方向であり、今後の高集積化によるチップサイズの大形化は、

これらのはく離の発生に影響を与えないのである。

5. 結 言

界面破壊力学解析手法を用いて、温度サイクル負荷を受ける LSI パッケージの異種材料界面の発生・進展傾向に関する解析を行った。本解析では、ダイボン

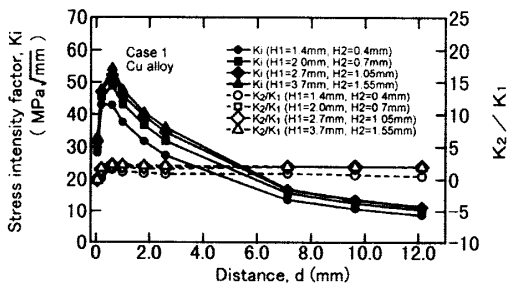


Fig. 7 The effect of geometries in Cu alloy leadframe packages (Case 1)

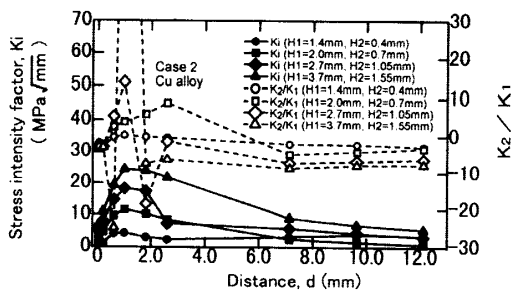


Fig. 8 The effect of geometries in Cu alloy leadframe packages (Case 2)

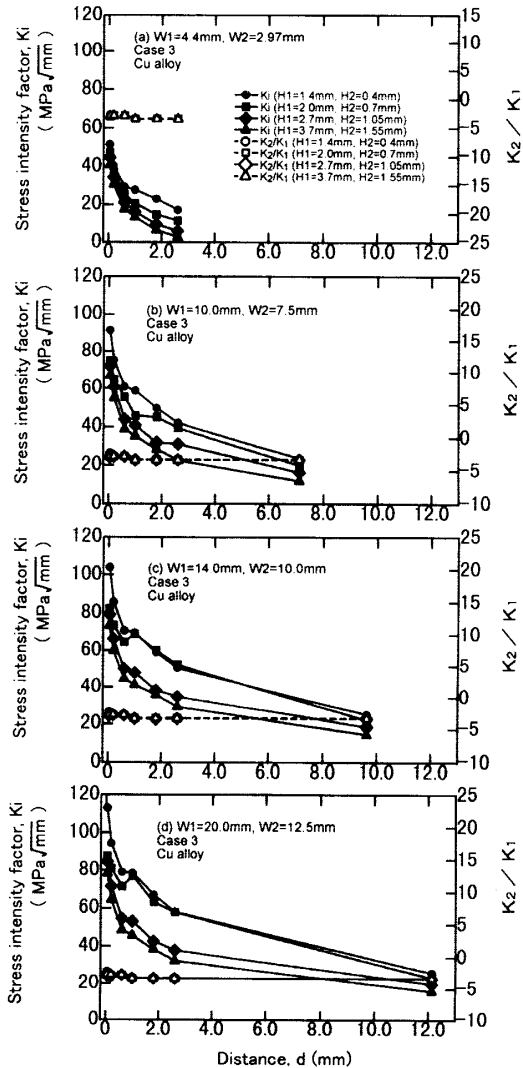


Fig. 9 Effect of geometries in Cu alloy leadframe packages (Case 3)

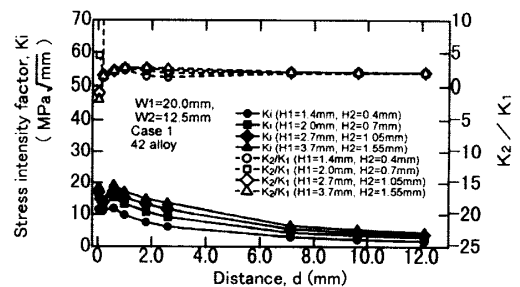


Fig. 10 The effect of geometries in alloy 42 leadframe packages (Case 1)

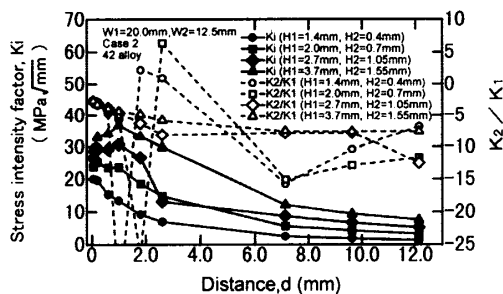


Fig. 11 The effect of geometries in alloy 42 leadframe packages (Case 2)

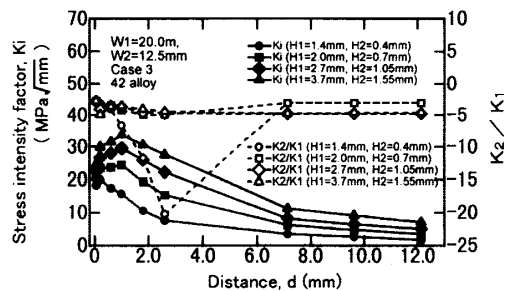


Fig. 12 The effect of geometries in alloy 42 leadframe packages (Case 3)

ディング材料と封止樹脂の機械的特性、パッケージ厚、幅、チップ寸法などの設計要因がダイボンディング層およびダイパッド裏面のはく離に及ぼす影響について議論した。以下、得られた知見をリードフレーム材料ごとにまとめる。

(1) ダイボンディング層の界面はく離を抑制するには、リードフレーム材料に依存せず、ダイボンディング材料の低弾性化は有効であるが、ダイボンディング材料の低熱膨張化は有効な対策とはなり得ない。ただし、Cu 合金リードフレームを用いたパッケージにおいて、ダイボンディング材料の弾性率を著しく低下させた場合、ダイパッド上接合端からダイパッド上面/封止樹脂界面のはく離が発生しやすくなる問題が挙げられる。

(2) ダイパッド裏面/封止樹脂の界面はく離を抑制する方法としては、リードフレーム材料に依存せず、封止樹脂の低弾性化が効果的である。

(3) 42 合金リードフレームを用いたパッケージにおいては、封止樹脂の低熱膨張化は極めて効果的な封止樹脂/ダイパッド裏面のはく離対策である。

(4) Cu 合金リードフレームを用いたパッケージにおいて、温度サイクル負荷時にダイボンディング層の密着が保持される場合のダイパッド裏面はく離の有効な対策としては、熱膨張係数を $12.0 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ 前後に調整することが挙げられる。しかし、ダイボンディング層にはく離が生じる場合では、封止樹脂の低熱膨張化はむしろはく離の進展を促進してしまう。

(5) また、Cu 合金リードフレームを用いたパッケージにおいて、ダイボンディング層の密着が保持される場合では、パッケージの薄形化はダイボンディング層界面はく離、ダイパッド裏面/封止樹脂界面はく離を抑制する開発動向である。一方、チップ寸法の増大ははく離の進展になんら影響を与えない。しかし、

温度サイクル負荷時にダイボンディング層がはく離する場合は、パッケージの薄形化とチップ寸法の増大は、ダイパッド裏面/封止樹脂のはく離を助長させてしまう。

(6) 42 合金リードフレームを用いた場合においては、ダイボンディング層のはく離の有無にかかわらず、パッケージの薄形化はダイボンディング層界面とダイパッド裏面のはく離を抑制する開発動向である。また、今後の LSI チップの大形化によるはく離への悪影響はないと考えられる。

最後に、本解析にあたり、有益な助言をいただいた半導体高密度実装技術本部の皆さんに謝意を表する。

文 献

- (1) 齋藤武博・松山英人・戸谷真之, 機論, 64-619, A(1998), 780-788.
- (2) Suzumura, T., Kawamura, T. and Tubosaki, K., *Proc. 41th Electronic Components & Technology Conf.*, (1991), 210-214.
- (3) Fuzita, H. and Mogi, N., *Proc. 43th Electronic Components & Technology Conf.*, (1993), 735-741.
- (4) 齋藤武博, マイクロ接合研究委員会資料 MJ-187-92, (1991), 14-26.
- (5) Erdogan, F., *J. Appl. Mech.*, 30 (1963), 232-236.
- (6) Erdogan, F., *J. Appl. Mech.*, 32 (1965), 403-410.
- (7) 池田徹・宮崎則幸・祖田敏弘・宗像健, 機論, 58-555, A (1992), 70-77.
- (8) 結城良治・冨相風, 機論, 55-510, A(1989), 340-347.
- (9) 結城良治, 界面の力学, (1993), 103.
- (10) Malyshev, B. M. and Salganik, R. L., *Int. J. Fract. Mech.*, 1 (1965), 114-128.
- (11) 齋藤武博, 機論, 63-608, A(1997), 821-829.
- (12) Saitoh, T., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part B*, 19-3 (1996), 593-600.
- (13) Saitoh, T. and Toya, M., *IEEE Trans. on Comp., Packaging, and Manufact. Technol. -Part B*, 20-3 (1997), 176-183.
- (14) 結城良治・劉金橋・許金泉・大平壽昭・小野智佳, 機論, 59-557, A(1991), 74-80.