

## 審査の結果の要旨

氏名 佐藤 満

本論文は「半導体パッケージの界面強度評価法に関する研究」と題し、本文9章からなる。

半導体パッケージは、電子機器の機能素子として代表的なものであるが、その使用条件の過酷化、高性能・高信頼化への要求の高まりから、界面はく離の強度評価の必要性が強く求められている。このため、応力や角部の応力特異性の強さ、また界面き裂の応力拡大係数等をパラメータに様々な強度評価の試みがなされてきているが、いずれも一長一短があり、一貫したパラメータを用いて強度評価を行い、実際の設計に用いるということは無かった。本研究はこのような背景に着目し、従来ほとんど未開拓であった、接触も考慮した界面き裂の応力拡大係数による界面はく離強度の一貫した評価を目指し、これを半導体パッケージの界面強度評価に適用する場合に障害となる要因を個々に解決して、実用に耐えうる半導体パッケージ強度評価システムを構築したものである。

第1章は「序論」であり、本研究の背景、目的・意義、および本論文の構成について述べている。

第2章「境界要素法の熱応力基礎式の導出と精度向上の検討」では、異種接合材料の定常熱伝導下熱応力を境界要素法により解析するための基礎理論を述べるとともに必要な定式化を行っている。また、境界要素法解析における特異積分に起因する問題について、境界上の応力の計算方法、および、対数特異積分項評価における変数変換を用いた精度向上法を示している。

第3章「半導体パッケージの定常熱応力の境界要素法解析」は、前章の成果を取り入れた境界要素法プログラムを開発し、半導体パッケージの熱による変形と応力についての解析を行い、構造因子がパッケージ変形やシリコンチップ角部の界面せん断応力に及ぼす影響を検討したものである。始めに基本問題に対する有限要素法による解析結果との比較を通じて、開発プログラムの精度・妥当性を検証した後、一連の解析を行い、熱応力に伴うパッケージの反りと界面の応力の相互関係に及ぼすシリコンチップの長さや上下位置が及ぼす影響等を明らかにしている。

第4章「境界要素法による界面き裂応力拡大係数の解析」では、まず第3章で開発した境界要素法プログラムを、き裂上下面の熱的および力学的接触問題を解析できるように拡張すると共に、半導体パッケージ内部に生じたはく離によるき裂の応力拡大係数  $K_I$  の変位外挿法による算出について述べている。また、続いて行ったパラメータスタディを通じて、半導体パッケージのダイパッド下に生じたはく離の長さが界面の応力拡大係数  $K_I$  に及ぼす影響についての傾向を把握すると共に、半導体パッケージ内部に生じた界面き裂では、き

裂面の大部分が接触する可能性があることを明らかにし、き裂面接触解析の必要性を指摘している。

第5章は「界面き裂の応力拡大係数に及ぼす材料物性の影響」であり、半導体パッケージの構成材に対し、熱応力下において界面き裂においてき裂面接触が生じる材料物性の範囲について論じている。すなわち、半導体パッケージに用いられる封止樹脂やダイパッドの物性はある限定された範囲内にあり、その範囲内で接触が起こるかどうかが知れば十分であることを指摘すると共に接触が生じる条件を明らかにしている。

第6章「界面き裂の破壊じん性評価法の検討」では、界面応力拡大係数  $K_I$  で表現した界面き裂の破壊じん性  $K_{IC}$  を求めるための破壊実験を行っている。具体的には、エポキシ/42Alloy 接着試験片による2種類のモード比の下での3点曲げ試験を実施し、実際に用いられる材料の組み合わせの範囲で、 $K_{IC}$  が負荷方法やき裂の長さに依存しない界面強度として用いることができる可能性を示している。

第7章「半導体パッケージ界面ディンプルのはく離抑制効果」は、半導体パッケージの界面はく離抑制構造の例として、ダイパッド下面にディンプルを有する場合を取り上げ、その応力拡大係数低減効果について論じたものである。熱応力下および蒸気圧付与の下でのディンプルに沿った界面き裂の応力拡大係数解析を実施し、ディンプルの存在による応力拡大係数低減のメカニズム、ディンプル間隔がはく離進展抑制効果に及ぼす影響等について検討している。

第8章「半導体パッケージの強度評価システムの開発」は、前章までの成果を盛り込み、実際の設計に適用することを目的に開発した半導体パッケージ強度評価システムについて述べたものである。設計初期段階での構造強度面の信頼性評価が十分行えるよう留意して開発されたものであり、これにより、開発期間の大幅短縮が実現できたことを述べている。

第9章は「結論」であり、本論文の成果がまとめられている。

以上要するに本論文は、半導体パッケージの界面はく離問題につき、界面応力拡大係数に注目し、その解析法の開発から、それを適用して、実際の半導体パッケージに見られるはく離強度評価上の諸問題を解決する方法を提示すると共に、実用に耐えるパッケージ強度評価システムの開発まで行ったものであり、より厳しい条件下でのより一層の高性能化が求められている半導体パッケージの強度信頼性向上に寄与するところが大きいものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。