

## 論文の内容の要旨

論文題目 「半導体パッケージの界面強度評価に関する研究」

氏名 佐藤 満

電子機器の機能素子として代表的な半導体パッケージでは、使用条件の過酷化および高性能・高信頼化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要求されている。このため、応力値による評価や、角部の応力特異性に着目した特異場の強さによる評価など、評価手法にも様々なアプローチが試みられてきた。その中でも、界面き裂の応力拡大係数を用いた評価については、半導体製造時に必然的に生じる微小なき裂を仮定すれば、界面破壊じん性との対応としても強度パラメータとして直感的に把握でき、設計に非常に使いやすいという利点がある。

しかしながら、熱応力下での界面き裂の評価には、界面き裂特有の振動特異性の問題や、界面の接触の問題など理論上困難な要件があり、適用の背景となる理論的裏付けに関しても十分な調査がなされていない。また、半導体パッケージの設計において、一貫した強度評価パラメータを用いて評価を実用に適用したものは従来には無く、ここに本研究の目的および課題を設定した。

本研究は、上記の背景・意義に着目し、従来ほとんど未開拓であった接触を考慮した界面き裂の応力拡大係数による評価を試み、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することによって、界面の応力拡大係数を一貫して用いて最終的に実用に耐え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。

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

第1章「序論」では、上記のごとく研究の背景・意義を述べるとともに、半導体パッケージの強度評価に関する種々の手法を展望し、応力拡大係数を用いる利点と、半導体パッケージの強度評価に用いるための問題点および解決課題を列挙するとともに、研究の目的と論文の構成を示した。

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、異種材料が接合された半導体パッケージの熱応力解析法に対して、その骨子となる完全境界積分型の定常熱伝導・熱応力境界要素法の基礎理論と定式化を行った。また、境界要素法の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2次元対数特異積分の変数変換を用いた精度向上方法を示した。

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」では、境界要素法による半導体パッケージの熱による変形と応力について解析を行い、半導体パッケージの変形に及ぼす構造因子の影響、およびパッケージ内のシリコンチップ角部の界面せん断応力に及ぼす構造因子の影響について検討した。まず、単純な熱伝導と熱応力問題において、境界積分の精度と多領域問題の妥当性を確認し、次に具体的な半導体パッケージの有限要素法モデルと比較して、本研究で開発したプログラムの精度と妥当性を検証した。これを受けて、半導体パッケージのシリコンチップの長さや上下位置が、変形や応力に及ぼす影響のパラメータスタディを、均一温度負荷および発熱条件下において実施し、パッケージの反りと界面の応力との相互関係について明らかにした。

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、第2章で開発した境界要素法を、熱的および力学的な界面接触問題が解析可能なように拡張するとともに、解析アルゴリズムについて示した。また、半導体パッケージ内部に生じたはく離において、変位外挿法を用いた界面の応力拡大係数 $K_i$ の算出法について述べた。さらに、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 $K_i$ に及ぼす影響のパラメータスタディを、均一温度負荷および発熱条件下において実施し、はく離長さに対する応力拡大係数 $K_i$ の傾向を把握した。またこの過程において、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、界面接触解析の必要性を指摘した。

第5章「界面き裂の応力拡大係数に及ぼす材料物性の影響」では、熱応力下の応力拡大係数を求める場合に、界面接触が生ずるパッケージの構成材の材料

物性の範囲について論じた。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を有しており、界面強度の評価を行う場合にはすべての物性を考慮する必要は無く、その限定された物性範囲の挙動を把握すれば充分である。この物性変化の範囲内で封止樹脂やダイパッドの物性が変化した場合に、界面の接触が生じる条件を明らかにした。また、界面の接触が応力拡大係数を求める場合の変位外挿法の外挿直線性に及ぼす影響についても検討を加えた。

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 $K_{ic}$ に対応する界面の破壊じん性として定義すべき破壊クライテリオンを決定することを目的とし、界面強度評価法の実験的検討を行った。本研究では、エポキシ・42Alloy 接着試験片による3点曲げ試験を実施し、破壊時の限界荷重から界面破壊じん性 $K_{ic}$ を求める手法を示した。また、2種類のモード比による試験および界面き裂の長さを変化させた試験により、工業用に簡略化した基準として $K_{ic}$ が負荷方法や界面き裂の長さに依存しない界面強度として適用できる可能性を示した。

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」では、第4章で開発した界面接触解析法の適用例を示した。ここでは半導体パッケージの界面はく離抑制構造の一例として、ダイパッド下面にディンプルを有するパッケージの応力拡大係数低減効果について論じた。残留熱応力下でのディンプルのはく離抑制効果、および水蒸気圧付加条件下でのはく離抑制効果について述べるとともに、その応力拡大係数低減メカニズムについても言及した。また、ディンプルの深さ、ディンプルの間隔がはく離進展抑制効果に及ぼす影響についても検討を加えた。

第8章「半導体パッケージの強度評価システムの開発」では、上記開発成果を盛り込み、設計に適用できるシステムとして開発した半導体パッケージの強度評価システムの概要について述べた。半導体パッケージ開発における、設計初期段階での構造強度面の信頼性評価が十分に行えることを目的として開発した。設計者が理解しやすいように製造プロセスごとに評価可能な構成とし、有限要素法や境界要素法に精通しない設計者でも使えるシステムを構築した。これにより開発期間の大幅な短縮が実現できた。

第9章「結論」は研究で得られた成果を結論としてまとめるとともに、今後の課題と研究の方向づけについて述べた。