

パワー CSP バンプ設計のシミュレーション技術

特集

桐畑 文明(きりはた ふみあき)

安部 信一(あべ しんいち)

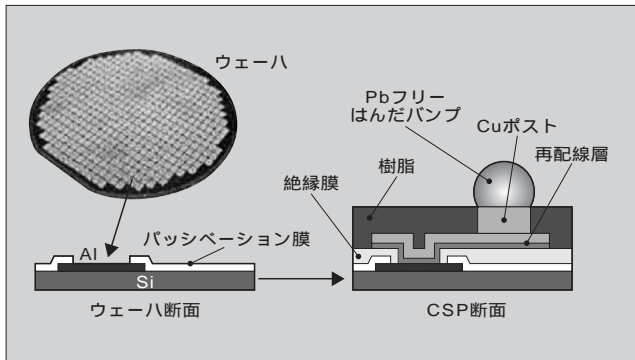
吉田 泰樹(よした やすき)

① まえがき

近年、民生用途のみならず車載用電子機器においても、一層の小型化に対応可能なチップサイズパッケージ(CSP)が注目されるようになった^{(1)~(3)}。CSPは、図1に示すように、ウェーハレベルでSiチップ表面に絶縁膜を介して再配線層とCuポストが形成され、樹脂で気密封止される。樹脂表面に露出したCuポストには、ウェーハから切り離されたチップをプリント基板に実装するために、鉛(Pb)フリーはんだバンプが形成されている。この後、ウェーハはダイシングによりチップ化される。このように、CSPはチップの大きさがそのままパッケージの大きさになることから、従来の表面実装(SMD)パッケージに比べ、実装効率は2倍以上になる(図2)。

このように、CSPは実装効率を飛躍的に高めることを可能にするが、車載用途を考える際には、大きな動作温度範囲でのSiチップと基板間の熱膨張係数差を吸収するためのバンプ構造の最適化や樹脂と基板間に充てんされるアンダーフィルの効果、パワーを処理するチップの放熱に関してバンプ構造の影響を明らかにしておく必要がある。ここでは、車載用パワーCSPのバンプ構造の熱応力および熱放散についてシミュレーションを活用して調べた設計的指針を概説する。

図1 CSPの工程と要部断面図



桐畑 文明

パワーデバイスの研究開発、解析技術、組立技術の開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部半導体工場アセンブリ開発部次長。理学博士。応用物理学协会会员。



安部 信一

機械系シミュレーション技術の開発に従事。現在、富士電機アドバンストテクノロジー株式会社生産技術研究所。精密工学会会員。



吉田 泰樹

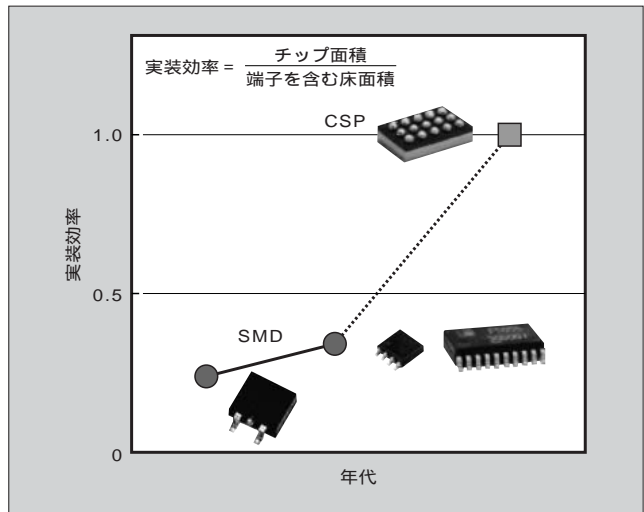
スマートパワーデバイスの開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部半導体工場自動車電装開発部。

② バンプ構造と熱応力

図3に、CSPの熱応力シミュレーションのモデルを示す。1/2対称の三次元解析を実施した。CuポストはSi表面に接合させバンプ形状は円柱状と単純化してある。基板は1.0mm厚さのセラミックスからなる。樹脂がモールド・キュアされる温度180℃を応力ゼロとして解析をスタートし、180℃→25℃→-40℃へ冷却後130℃へ昇温のヒートサイクルストレスを10サイクルまで繰り返し加えた。

チップサイズは2.35(W)×3.68(L)×0.35(t)mm³で、3×4配置12バンプと3×5配置15バンプ、バンプ高さ100μmと150μm、アンダーフィルの有無を設計パラメータとした。Pbフリーはんだ(Sn-Ag-Cu)バンプの-40℃～+130℃の温度変化に伴う熱ひずみ発生と熱疲労寿命の推定を試みた。各種材料の線膨張係数、弾性率などの物性値はあらかじめ測定、もしくは文献値を用いた。バンプの高さを比較的高く設定したのは、車載用途として十分なヒートサイクル耐量を確保するためである。バンプ材料の温度変化に相当したひずみの変化範囲と繰返し疲労寿

図2 CSPとSMDの実装効率の比較



命の実測値 ($S-N_f$ 曲線) を図 4 に示す。得られた $S-N_f$ 曲線は、文献値と類似している。

図 5 に、 $-40 \sim +130$ ヒートサイクル 10 サイクル時のパンプに発生するひずみ範囲の様子を示す。ひずみ範囲

図 3 CSP の熱応力シミュレーションモデル

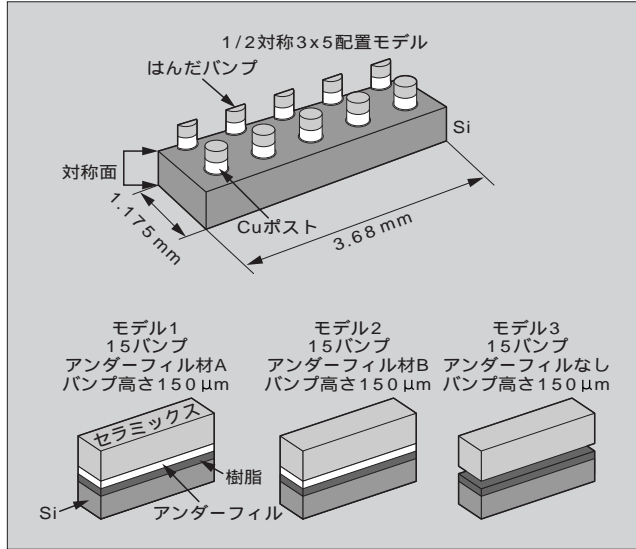


図 4 Pb フリーはんだパンプの繰返し疲労寿命曲線

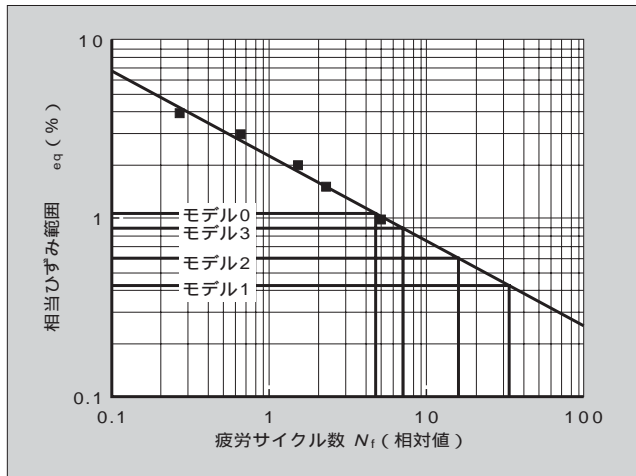
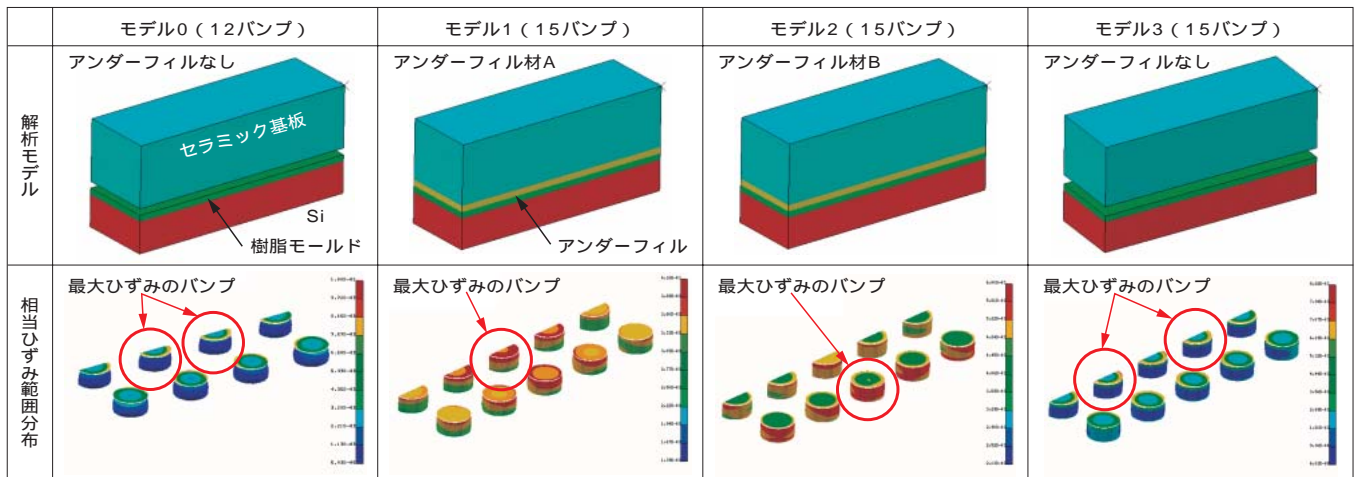


図 5 ヒートサイクル時にパンプに発生するひずみの様子



が大きい場所は、セラミック基板との接合部で熱応力の集中が起こっていることを示している。チップコーナー部のパンプで応力集中が起こりやすいと予想していたが、セラミック基板の場合、アンダーフィルの有無や性質の違いで応力集中箇所が変化することが新たに分かった。セラミック製に比べ線膨張係数の大きいプラスチック製プリント基板では、明らかにチップコーナー部のパンプに大きな応力集中が起きるし、基板の厚さが厚くなるほど応力集中も大きくなることも分かった。

図 6 に、セラミック基板でのヒートサイクル 10 サイクル時点での相当ひずみ範囲とパンプ設計パラメータの関係を示す。この計算手順は、5 ~ 10 サイクル程度計算を繰り返すことでひずみ変化が飽和してくることによる。アンダーフィルなしでの相当ひずみ範囲から、12 パンプより 15 パンプと、パンプ数を増やすと応力集中が緩和されることが分かる。また、樹脂とセラミック基板間に充てんされるアンダーフィルは、パンプの応力集中を大幅に低減させる効果を持つ。

図 7 に、パンプのヒートサイクル寿命の推定結果を示す。この寿命は、図 6 の相当ひずみ範囲結果を図 4 のはんだの

図 6 ヒートサイクル時にパンプに発生する相当ひずみ範囲 ($-40 \sim +130$)_{eq}

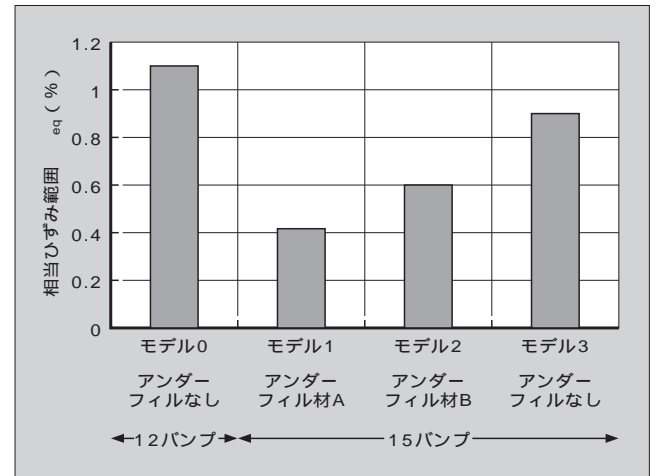


図7 パンプの繰返し熱疲労寿命と設計パラメータの関係

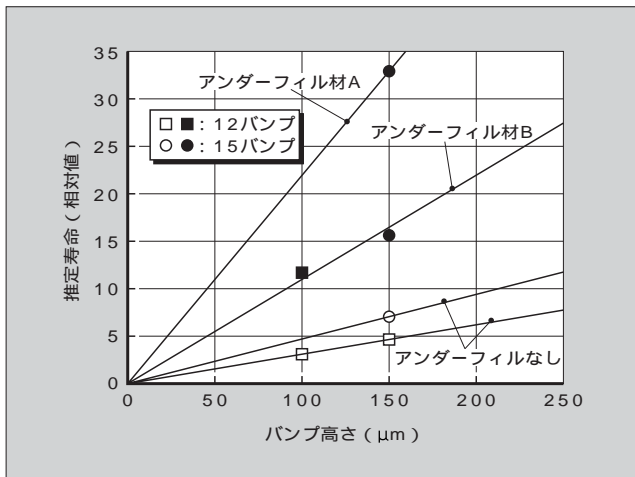
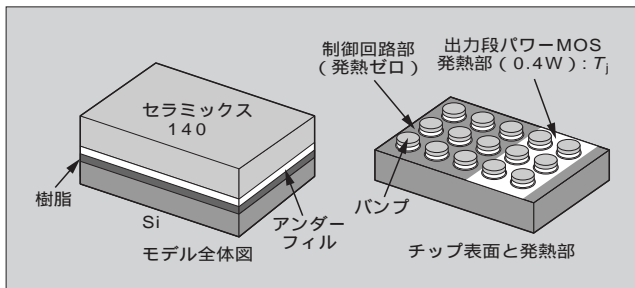


図8 CSPの伝熱シミュレーションモデル



S-N_f 曲線の寿命に読み換えたものである。パンプの高さが高いほど寿命が長くなり、かつ、アンダーフィルは寿命を飛躍的に延ばす働きをしている。また、アンダーフィルの物性値（主に、線膨張係数）の違いで寿命が大きく変わることも重要な結果である。

③ パンプ高さと熱放散

パンプ高さが高いほど熱応力は基板の影響を和らげる作用があることが分かったが、一方では、チップからの熱放散が悪くなる。図8に、セラミック基板で15パンプ配置、パンプ高さ150、300、400 μmの場合のチップ温度上昇の三次元伝熱シミュレーションモデルを示す。チップの出力段パワー MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 部に0.4 Wの発熱を与えた。

図9に、セラミックス裏面側が140の高温で一定に保持されている場合を想定し、セラミックス、パンプ、チップの温度分布を示す。パンプを介しての熱放散が起きていることが分かる。しかし、パンプ高さが高くなると熱放散は弱くなる。この様子を図10に示す。ここでは、最悪のケースとしてアンダーフィルなしの場合の計算結果を示す。チップの最高温度は、150 μm パンプで144.35、400 μm パンプで145.41 となり1.06 degの温度上昇になるが、接合部温度 (T_j) < 150 となり0.4 Wの発熱を十分処理し得ることが分かった。

図9 0.4 W 発熱時の各部位での定常状態温度分布

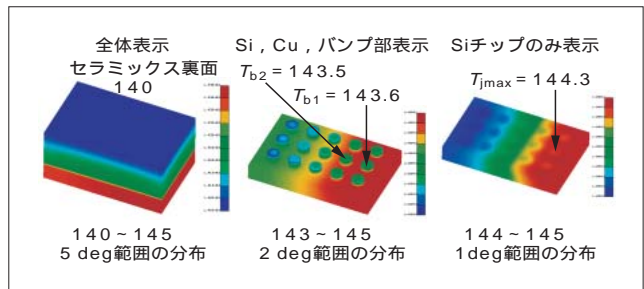
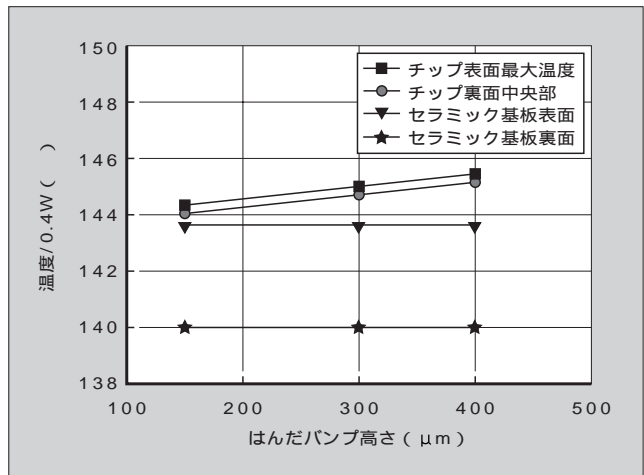


図10 アンダーフィルなしでの0.4 W 発熱時の各部温度のパンプ高さ依存性



④ あとがき

ここでは、車載用パワー CSP のパンプの構造に関する熱応力と熱放散の挙動をシミュレーションを適用して調べた。パンプ材料そのものの繰返し熱疲労寿命は、アンダーフィルありで150 μmの高さがあれば、パンプ直径の低下や実装時のパンプ形状変化などの製造ばらつき要因があっても、実使用で十分なヒートサイクル耐量を持つと予測できた。また、熱放散においてもセラミック基板温度140で0.4 Wのパワーの処理が可能であることが分かった。

今後、本シミュレーション技術を、CSPの微細構造を考慮した熱応力挙動の解析へ展開し、パワー CSP の高信頼性設計に役立てていく所存である。

参考文献

- 1) 塚田裕．2010年に向けてのマイクロ接合・アセンブリ技術の展開．Mate 1998. p.25-32.
- 2) 高密度実装の最新動向．東レリサーチセンター．2004.
- 3) 川合有ほか．熱・振動複合環境下における信頼性評価に関する研究．Mate 2005. p.319-324.
- 4) 細井拓也ほか．鉛フリーはんだ接合部の低サイクル疲労寿命におよぼすクリープの影響．Mate 2004. p.29-34.



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。