

# シミュレーションによる車載用カメラスタック型SiPの最適設計

Optimum Design of In-Vehicle Camera Stack-Type SiP by Simulation

竹下 貴雄  
Takao Takeshita

高出 芳治  
Yoshiharu Takade

加藤 昭彦  
Akihiko Katoh

八木 能彦  
Yoshihiko Yagi

## 要 旨

近年、車載用カメラの小型・高機能化の要求が急速に高まっている。これを実現するために、スタック型SiP (System in Package) を用いた車載用カメラを開発した。スタック型SiPは、実装面積の縮小に有利であるが、構造上はんだ接合部への熱応力負荷が大きくなる。従来の信頼性試験結果に依存した評価では、不具合発生箇所の事前予測や評価に多大な時間を要しており、シミュレーションによる接合部不具合の見える化と試作前の事前設計による設計完成度の向上が必要である。今回、当社グループとして、新規にシミュレーションツールAWS (ANSYS<sup>®</sup>(注1) Workbench Simulation) を用いスタック型SiP構造の最適化を行うことで、部品実装面積を20%削減したデジタル入出力対応の車載用カメラを開発することができた。

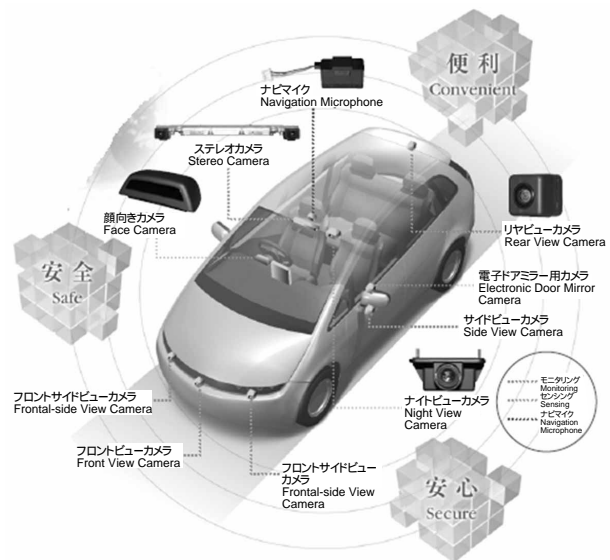
## Abstract

The demand for miniaturization and added functions for in-vehicle cameras continues to grow rapidly. In response, we have developed a stack-type SiP (System in Package) for in-vehicle cameras. Although stack-type SiP is advantageous for reducing the mounting area, the thermal stress to the solder joint part is increased. A large period of time is required to forecast and to evaluate problem areas when evaluating it according to past reliability examination results, and it is necessary to visualize by simulating the problems of the solder joint part to improve the design completeness before manufacturing it for trial purposes. This time, as a business unit, we were able to develop an in-vehicle camera with the component-mounting area for digital input/output reduced by 20% by optimizing the stack-type SiP structure using the new simulation tool AWS (ANSYS Workbench Simulation).

## 1. はじめに

近年、車両操作の安全・安心・便利への要求の高まりとともに車載用カメラが急速に普及している。また、第1図に示すように、用途も駐車による後方確認から前方の車線認識や障害物認識、更に駐車支援システムなど多機能にわたってきており、多機能化のための実装部品が増加傾向である。その一方で、車両のデザイン性を損なわないように車載用カメラの小型化が求められている。従来の回路基板への実装は、平面内での実装であり、更なる小型化には限界がある。そこで、当社グループの車載用カメラとして新規にスタック型SiPの開発を行い、小型車載用カメラの開発に取り組んだ。

スタック型SiPは、複数の半導体チップを積層するため回路基板の小型化に有利である。しかし、スタック型SiPは、モールド樹脂やシリコンチップといった線膨張係数や曲げ弾性係数が大きく違う材料が積層で構成されているため、回路基板に実装された際に、はんだ接合部に大きな熱応力が発生し、熱衝撃試験 -40 /85 の3000サイクルなど車載実装信頼性条件をクリアするのに難易度が高くなっている。また、スタック構造となるためパッ



第1図 車載用カメラ用途

Fig. 1 In-vehicle camera usage

ケース内部の熱変形挙動が複雑となり、不具合箇所の事前予測が困難である。

そのため、シミュレーションによる応力集中箇所の見える化と構造の最適化を行い、車載品質を満たす車載用カメラの開発が必要であった。

そこで、これを克服するためにシミュレーションとタ

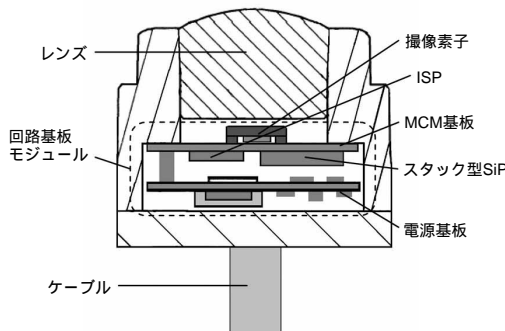
(注1) 米国 ANSYS社の登録商標

グチメソッドを用いてスタック型SiPの構造を最適化し、当社グループとして初めて小型車載用カメラにスタック型SiPを搭載したので報告する。

## 2. 車載用カメラの構造

第2図に、今回開発した車載用カメラの構造図を示す。大きく、レンズ、回路基板モジュール、ケーブル部に分けられている。レンズから入射した光がMCM (Multi Chip Module) 基板に実装された撮像素子に入り、ISP (Image Signal Processor) やAFE (Analog Front End) で画像処理され、ケーブルを通して車両に画像データが送られる。

今回、車載用カメラを開発するにあたり、デジタル入出力機能に加え、日中の明るい環境下での暗い車庫内の視認性を高めた階調補正機能などの強化でAFEチップやメモリーチップを追加する。従来の平置きの実装では基板サイズが大きくなるため、スタック型SiPの開発をすることで従来サイズと同等で高機能化を図る。



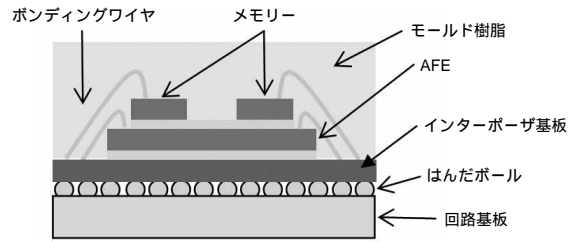
第2図 車載用カメラ構造  
Fig. 2 In-vehicle camera structure

## 3. スタック型SiPの概要

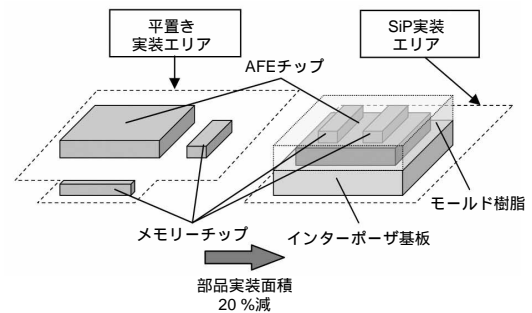
SiPとは複数の半導体チップを1つのパッケージにすることで、小型・薄型・軽量などの特徴がある。SiPは、複数の半導体チップを同一平面上に並べる平置き型と、半導体チップを積層するスタック型があり、高い実装密度を追求する用途ではスタック型が使われる。

第3図に、今回開発したスタック型SiPの構造図を示す。アナログからデジタル変換用のAFEチップに、メモリーチップを2つ積層している。

第4図に、AFEチップメモリーチップの平置き実装とスタック型SiP実装の比較図を示す。平置きの実装に比べ、部品をスタック化することで部品実装面積を20%削減し、さらに車載信頼性を満足させることで、このスタック型SiPを実現する。



第3図 スタック型SiP構造  
Fig. 3 Stack type SiP structure



第4図 平置きとスタック型SiP実装のエリア比較  
Fig. 4 Area comparison between flat putting and stack type SiP mounting

## 4. スタック型SiPの構造最適化

### 4.1 目的

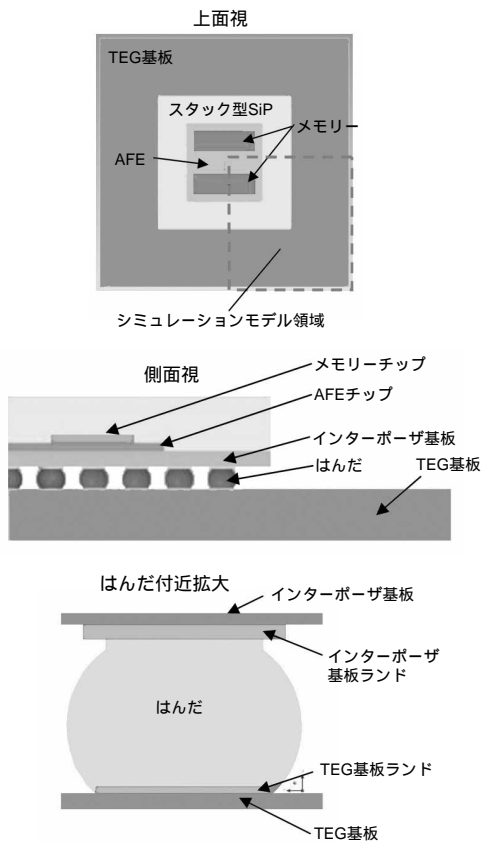
シミュレーションを用いスタック型SiPの構造の最適化を行い、車載用カメラの小型化と車載信頼性の確保を両立する。

### 4.2 アプローチ

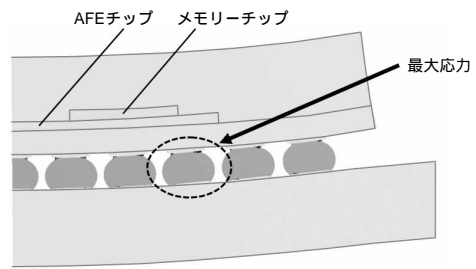
今回、シミュレーションツールAWSを用い、線形の熱応力計算を行った。車載信頼性の評価は、 $-40 / 85$ 、3000サイクルの熱衝撃試験で行っており、シミュレーションは高温域を85、環境温度を25、温度上昇を60とした。評価箇所は熱負荷時のはんだ部の相当応力を出し、最大応力箇所周辺の応力を平均化した。シミュレーションモデルは対称性を考慮して1/4とし、メッシュサイズははんだ付近を30  $\mu\text{m}$ 、要素タイプは4面体の8節点とした。シミュレーションモデルの上面、側面とはんだ付近の拡大図を、第5図に示す。

信頼性試験における接合部の正確な寿命予測を行うには、非線形の弾塑性クリープ解析を用いる必要があるが、今回は寿命を予測するのではなく、寿命改善のために構造の最適化を線形熱応力計算により行っており、信頼性クリアの確認は実機評価にて行った。

スタック型SiPの構造最適化と車載信頼性の確認を以下



第5図 シミュレーションモデル  
Fig. 5 Simulation model



第6図 はんだ相当応力 (200倍熱変形図)  
Fig. 6 Mises Stress (200 time thermal deformation)

のシミュレーションパラメータを示し、第7図に代表的な要因効果図を示す。ここでチップ厚みはAFEチップとメモリーチップの両方を同じ厚みで設定し、積層数は1段

第1表 シミュレーションパラメータ

Table 1 Simulation parameter

	制御因子	水準1	水準2	水準3
1	ボールピッチ	0.60	0.65	
2	チップ厚み	0.08	0.10	0.12
3	AFEサイズ	6.0	5.0	4.0
4	チップ積層数	2	4	6
5	インターポザ基板材質	ガラエポ	LTCC	BTレジン <sup>TM(注2)</sup>
6	インターポザ基板厚み	0.2	0.3	0.4
7	TEG基板材質	ガラエポ	LTCC	BTレジン
8	TEG基板厚み	0.2	0.4	0.6

LTCC : Low Temperature Co-fired Ceramics

の手順で行った。

- (1) シミュレーションによるはんだ部の応力集中箇所の見える化
- (2) シミュレーションとタグチメソッドによるスタック型SiPの構造の最適化
- (3) TEG (Test Element Group) 試作信頼性結果とシミュレーションの比較

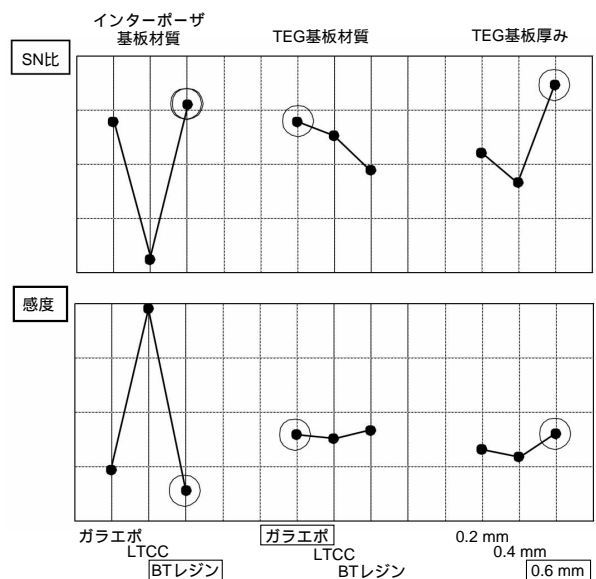
### 4.3 結果

#### 〔1〕 はんだ部の応力集中箇所の特定

第6図に、シミュレーションによる相当応力分布の結果の一例を示す。熱負荷によりスタック型SiPに反りが発生し、はんだに応力が生じる。特にAFEチップ外周付近のはんだに応力が分布し、応力集中箇所はスタック型SiP基板とはんだ界面であることがわかった。これにより、モールド、チップ、インターポザ基板など各部材の膨張と剛性差によるはんだ応力集中箇所を明確にすることができた。

#### 〔2〕 スタック型SiPの構造の最適化

シミュレーションとタグチメソッドを用いて、はんだの熱応力が低くなるパラメータを評価した。第1表にL18



第7図 代表的な要因効果図  
Fig. 7 Typical factor effect chart

(注2) 三菱瓦斯化学(株)の商標

目をAFEとし2段目以降はメモリーを想定してパラメータを与えている。

シミュレーション結果より、インターポーザ基板材質はBTレジン、TEG基板材質はガラエポが良く、TEG基板厚みはS/Nも考慮し、設計上限値の0.6 mmが良いことがわかった。そのほか各材料の選定、組み合わせにより応力低減させることができた。

以上の結果と設計の制約、コストを考慮し、最終的に決定した設計値を、第2表に示す。

第2表 最終仕様

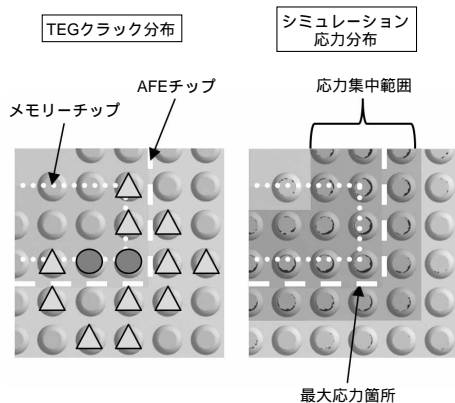
Table 2 Final specification

ボールピッチ	0.65 mm
チップ厚み	0.12 mm
AFEサイズ	4.5 x 4.7 mm
チップ積層数	2
インターポーザ基板材質	BTレジン
インターポーザ基板厚み	0.2 mm
回路基板材質	ガラエポ
回路基板厚み	0.6 mm

【3】TEG試作信頼性結果とシミュレーションとの比較

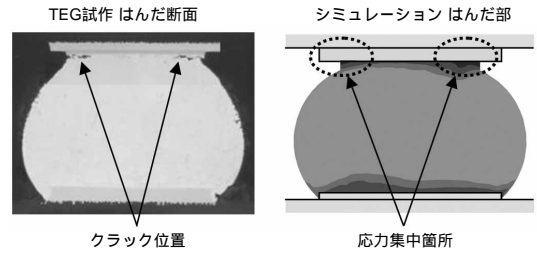
熱衝撃試験 -40 /85 のはんだクラックの状態とシミュレーションの比較を行なった。ただし、今回のサンプルは3000サイクル後にクラックが確認できなかったため、クラックが確認できるサイクルまで試験を実施した。シミュレーションの応力分布を第8図に示す。TEG試作のはんだクラック長さが接合長の1/3未満であり、は1/3以上である。TEG試作のはんだクラック箇所は発生しているエリアに多少広がりはあるが、シミュレーションと同じAFEチップ外周付近に分布している。

第9図に、TEG試作のはんだ断面とシミュレーション結果のはんだ部を示す。TEG試作のはんだ断面観察結果よ



第8図 TEG試作クラックとシミュレーション応力分布

Fig. 8 Crack position of TEG and stress distribution of simulation



第9図 TEG試作はんだ断面とシミュレーションはんだ部

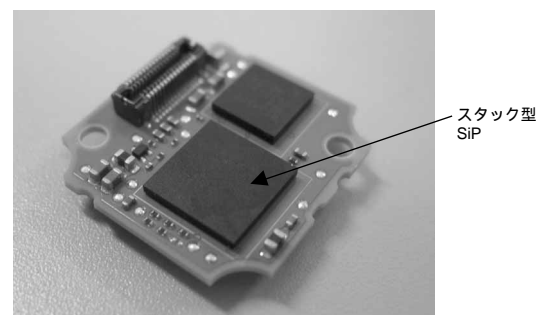
Fig. 9 Solder cutting section of TEG and solder of simulation

り、スタック型SiP基板ランドとはんだ界面でクラックが発生しているのに対して、シミュレーション結果も同じ箇所に応力が集中している。これにより、TEG試作とシミュレーション結果の相関を確認できた。

5. まとめ

シミュレーションを用いスタック型SiPの構造を最適化し、デジタル入出力対応の小型車載用カメラを開発した。今回開発したスタック型SiPを実装したMCM基板モジュールを第10図に、デジタル入出力対応の車載用カメラを第11図に示す。

- (1) モールド、チップ、インターポーザ基板の膨張と剛性差によるパッケージの反りを見える化し、はんだの応力分布がAFEチップ外周付近であることと、応力集中箇所がスタック型SiP基板ランドとはんだ界面であることを明確化した。
- (2) 部品実装面積を20%削減したスタック型SiPを開発し、小型車載用カメラの商品化を実現した。また、その構造の最適化検討を行い、インターポーザ基板材質をBTレジン、回路基板材質をガラエポ、そして回路基板厚みを0.6 mmにして熱応力を低減し、熱衝撃試験3000サイクルをクリアする車載信頼性を実現させた。



第10図 今回開発したMCM基板モジュール

Fig. 10 MCM substrate module developed this time



第11図 今回開発した車載用カメラ

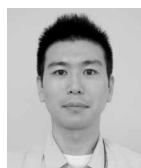
Fig. 11 In-vehicle camera developed this time

今後は、車載用カメラ対応の高信頼性を確保しつつ、更なる高性能・小型化を実現していく。そのために、カメラ組立時の負荷軽減を検討するための構造シミュレーションやカメラ駆動時の発熱に対する放熱設計への熱流体シミュレーション活用など、商品開発においてシミュレーションによる多角的な設計を導入していく。

#### 参考文献

- 1) 森輝雄：タグチメソッドの応用と数理（トレンドブック）（2005）。

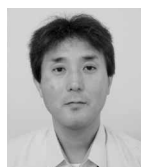
#### 著者紹介



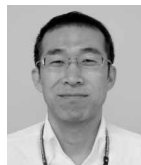
竹下貴雄 Takao Takeshita  
 セミコンダクター社 汎用事業本部  
 Corporate Application Specific Standard Products  
 Div., Semiconductor Company



高出芳治 Yoshiharu Takade  
 セミコンダクター社 汎用事業本部  
 Corporate Application Specific Standard Products  
 Div., Semiconductor Company



加藤昭彦 Akihiko Katoh  
 セミコンダクター社 汎用事業本部  
 Corporate Application Specific Standard Products  
 Div., Semiconductor Company



八木能彦 Yoshihiko Yagi  
 生産革新本部  
 Corporate Manufacturing Innovation Div.