

# 半導体パッケージのモールド欠陥防止設計ルール

## Design Rules for Prevention of Molding Defects in Semiconductor Packages

田中 徹 甚目 靖明

■ TANAKA Toru ■ HADAME Yasuaki

携帯情報端末機器やデジタル家電の小型化に伴い、MCP (Multi Chip Package) メモリには大容量化、高機能化、及び薄型化が求められている。MCPメモリは、ユーザーの仕様に合わせて様々な半導体デバイスを使用するため、パッケージ構造は複雑化する傾向にある。高品質で低コストのパッケージを短いリードタイムで製造するためには、DFM (Design for Manufacturability) を考慮した設計を行う必要がある。

東芝は、パッケージ設計者が未充電や、反り、ワイヤ変形などのモールド欠陥を事前に防止できる、設計ルールを構築した。これにより、設計の後戻りを減らし開発効率を向上させることで、開発機種数を増やすことができた。

There is increasing demand for higher capacity and performance as well as thinner package size for multi-chip package (MCP) memory products in order to downsize handheld devices, such as cellular phones and PCs, as well as digital home appliances. Due to the application of MCPs to various types of semiconductor devices according to users' requirements, the package structures of MCPs have become complicated. The utilization of design for manufacturability (DFM) in the processes of MCP memory packages has therefore become essential for the production of high-quality and low-cost packages with a short lead-time.

Toshiba has developed design rules for package designers in order to prevent molding defects of MCP packages including voids, warps, and wire sweeps. Using these design rules, we have succeeded in reducing retrogression of the design process and expanding the types of MCP packages developed.

### 1 まえがき

携帯情報端末機器やデジタル家電に使用されている半導体パッケージは、大容量化、高機能化、及び薄型化が年々顕著になっている。高密度実装が必要となる代表的なパッケージとして、様々な種類の半導体チップを何層にも積層し、実装するMCP (Multi Chip Package) メモリが挙げられる。MCPメモリの設計では、ユーザーの要求仕様に合わせてチップの種類、積層や配置のしかたを変えている。そのため、1年間に製品化される機種は数百種類にも及ぶ。

新製品の品質向上やコスト低減を実現するには、製品開発段階で製造性を考慮して後戻りがないよう設計すること (DFM: Design for Manufacturability) が重要である。MCPメモリの開発でもこのようなDFMへの取組みは従来から進めているが、開発機種数の増加と製品構造の複雑化などから、製造性の予測が難しくなってきた。

ここでは、パッケージ設計におけるDFMを確実に行うために、製造技術側から支援した設計ルールの構築について述べる。

### 2 MCPメモリの樹脂モールド方法

#### 2.1 MCPメモリの構造

MCPメモリの構造を図1に示す。配線基板の上にNANDフラッシュメモリや各種RAMなどのチップを多層に実装し、各チップと基板との間をワイヤボンディングで接続した構造となっている<sup>(1)</sup>。チップとワイヤは、ほこりや湿度などの遮断、及び外力による変形防止のため、樹脂でモールド (封止) する。

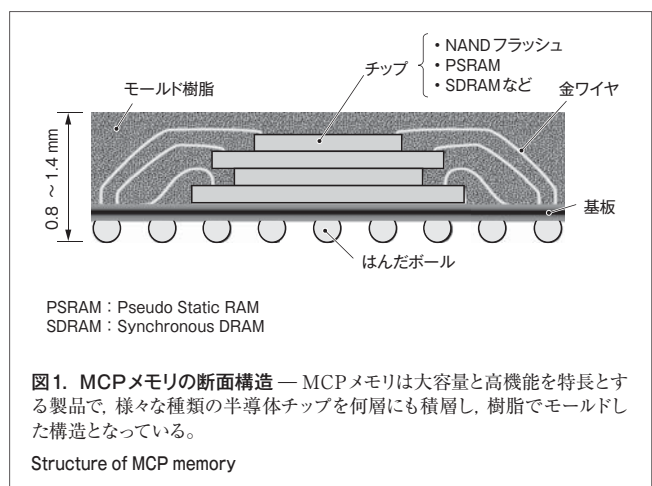


図1. MCPメモリの断面構造 — MCPメモリは大容量と高機能の特長とする製品で、様々な種類の半導体チップを何層にも積層し、樹脂でモールドした構造となっている。

Structure of MCP memory

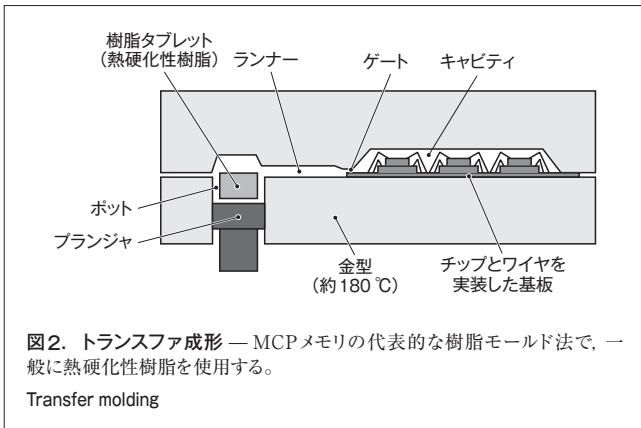


図2. トランスファ成形 — MCPメモリの代表的な樹脂モールド法で、一般に熱硬化性樹脂を使用する。  
Transfer molding

通常、モールド樹脂には、リフロー時の熱やパッケージ使用時の発熱などに耐えられるよう、エポキシなどの熱硬化性樹脂を使用する。

パッケージの大きさは一辺が10～20 mm程度、厚さが裏面のはんだボールまで含めて0.8～1.4 mm程度で、非常に薄い板状をしている。

## 2.2 樹脂モールド方法

MCPメモリの樹脂モールドには、主にトランスファ成形法が用いられる。トランスファ成形の概要を図2に示す。

まず、チップやワイヤを実装した基板を約180℃に加熱された金型内に固定する。次に、熱硬化性樹脂<sup>(注1)</sup>の粉末を押し固めた樹脂タブレットをポットと呼ばれる空間に投入する。樹脂タブレットはこの時点で周囲から溶融し始め、金型を閉じてプランジャを上昇させると、金型面に押し付けられて溶融が進む。その後、ランナーやゲートなどの狭い空間を通過する過程で更に加熱されて低粘度化し、キャビティ内へ送られる。液状となった樹脂はチップやワイヤ周りの空間に充てんされ、2分ほど経過すると硬化してモールドが終了する。

MCPメモリでは通常、生産性を向上させるために、大きな基板に複数の製品をマトリクス状に並べて一括でモールドし、その後個々の製品に分割する方法を採用している。

## 2.3 主なモールド欠陥

MCPメモリの樹脂モールド過程で発生する主な欠陥には、チップ上狭ギャップ部の未充てんや、パッケージの反り、ワイヤ変形によるワイヤどうしの接触などがある。特に近年、パッケージの薄型化やチップの多積層化に伴い、未充てんや反りの問題が発生しやすくなってきている。これらの欠陥は、パッケージ設計や樹脂特性によって発生率が変化するため、MCPメモリのように多種多様な製品を開発する場合、欠陥の発生を予測することが難しくなっている。

(注1) 熱硬化性樹脂は、加熱するといったん溶融し、そのまま加熱を続けると化学反応が進み硬化する。

## 3 モールド欠陥の予防技術

### 3.1 設計ルールの概要

**3.1.1 運用システム** モールド欠陥防止設計ルールの目的は、モールド欠陥による不良発生の可能性を、パッケージの設計段階で迅速かつ容易に判定することである。

設計ルール運用システムの構成を図3に示す。まず、設計者はチップ寸法や、積層設計、配列情報、基板寸法、パッケージ寸法、ワイヤ形状及び寸法、モールド樹脂の種類などの設計情報を入力する。次にこのシステムでは、入力された情報を基に計算した設計指標と欠陥データベース(DB)の情報から、その場で瞬時に設計の良否を判定する。設計者は判定結果を基に、必要であればその場で設計を変更し、不良発生の可能性を回避する。

このシステムによって、製造段階での不良発生に伴う設計変更などの後戻りが減少することで開発効率が向上し、パッケージの開発機種数を増やすことができた。モールド欠陥を防止するための各種の設計ルールについて、以下に述べる。

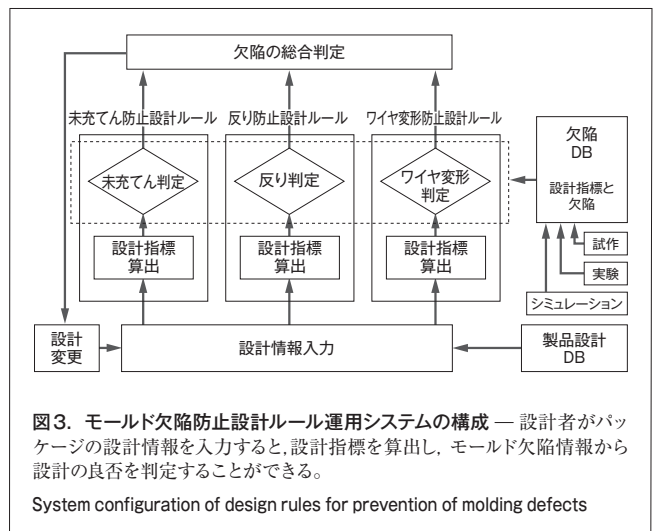
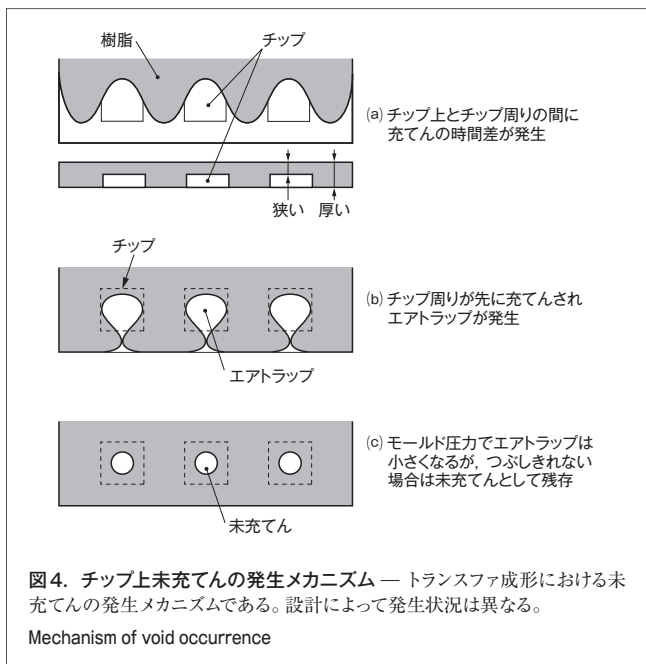


図3. モールド欠陥防止設計ルール運用システムの構成 — 設計者がパッケージの設計情報を入力すると、設計指標を算出し、モールド欠陥情報から設計の良否を判定することができる。

System configuration of design rules for prevention of molding defects

**3.1.2 未充てん防止** チップ上に未充てんが発生するメカニズムを図4に示す。キャビティ内に樹脂を注入すると、まず(a)のようにチップ上の狭いギャップ部とチップ周りの厚いギャップ部の間に充てんの時間差が生じ、次に、(b)のように樹脂がチップ上に充てんされる前にチップの周囲が先に充てんされる現象、すなわちエアトラップが発生する。最終的には(c)のようにモールド圧力でエアトラップは小さくなるが、エアトラップをつぶしきれない場合は未充てんとして残る。

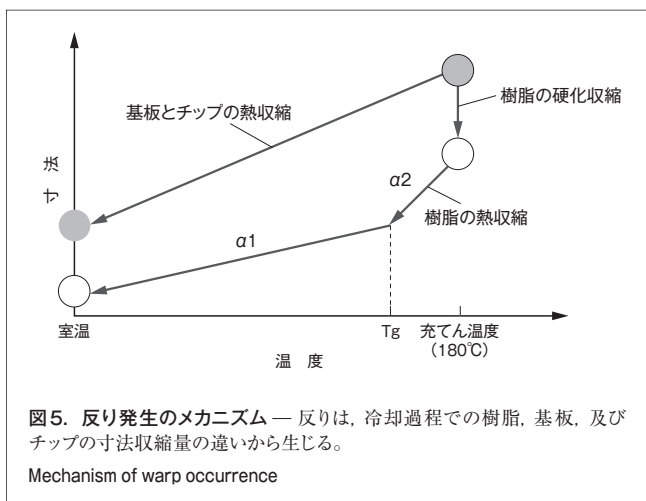
未充てん防止設計ルールでは、流動シミュレーションとモールド評価実験によって、未充てんに関与する設計指標をキャビティ設計やチップ設計などから抽出し、それらの値から未充てんになりやすい設計かどうかを判定できるようにしている。



なお、実際の製品ではチップを積層した断面の形状は複雑であり、そのパターンの数も膨大となる。設計ルールでは、それらの形状すべてを考慮して計算することは困難であり、複雑な形状の場合は、モデルを単純化するなどして判定しやすくした。

**3.1.3 反り防止** 樹脂モールドが完了して金型から取り出されたパッケージには一般に、冷却されるにつれて反りが生じる。この反りは、モールド樹脂や、基板、チップなど構成物の寸法収縮量が異なることによって発生する。

反り発生のメカニズムを図5に示す。樹脂の充てんが完了した時点ではまだ収縮しておらず、樹脂が金型内で硬化すると硬化収縮が発生する。その後、金型から取り出されて室温になるまでの間は、ガラス転移温度 ( $T_g$ ) を境に異なる線膨張係数 ( $\alpha_2, \alpha_1$ ) で熱収縮する。一方、基板とチップは、充て

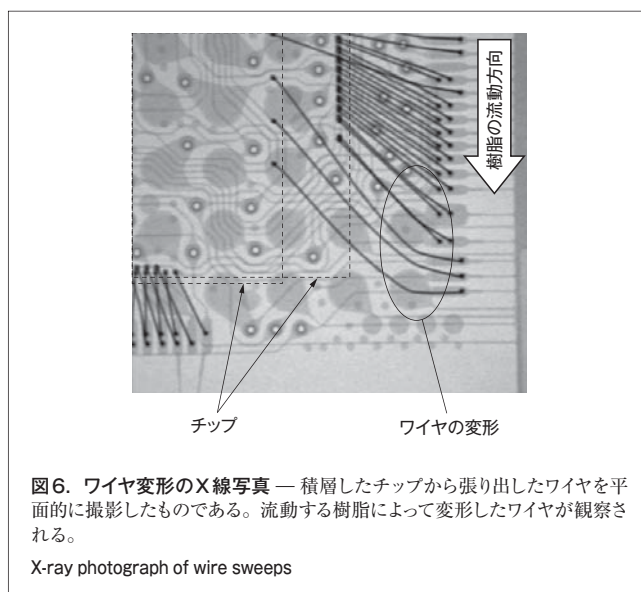


ん温度から室温までの間にそれぞれの線膨張係数で熱収縮する。最終的な相互間の寸法収縮差によって曲げ応力が発生し反りとなる。

反り防止設計ルールでは、反りの大きさに関する樹脂厚さ、基板厚さ、及びチップ寸法の組合せから設計指標を設定し、指標ごとの反り量を実験と構造シミュレーションで求めてデータベース化した。また、モールド樹脂の種類によって線膨張係数やヤング率などの物性値が異なることから、樹脂ごとに反りも変わる。したがって、主要な樹脂に対してそれぞれデータベースを用意した。

**3.1.4 ワイヤ変形防止** トランスファ成形は横方向から樹脂を注入するため、流動する樹脂によって細い金ワイヤは変形しやすい。ワイヤの変形は、流動する樹脂から受ける抗力とワイヤの形状、ワイヤ素材の弾性率などによって変化する。ワイヤが変形するようすをチップ上方からX線撮影した写真を図6に示す。ワイヤが樹脂の流れによって変形していることが確認できる。なお、金型内の樹脂の流動方向及び流速は場所によって異なり、常に一定ではないため、ワイヤの変形の大きさを予測することは非常に難しい。したがって、ワイヤの変形を防止する設計ルールでは、ワイヤの長さ、高さ、直径、張出しの角度、及び金型内のワイヤボンディング位置を変更した実験サンプルを作成し、評価することでルールを構築した。

また、ワイヤの変形は、設計上の要因以外にプロセス上の要因によっても変化することが多い。例えば、その一つに注入速度がある。速度を上げるとワイヤが受ける抗力が増大し、変形が大きくなる。一方、速度を下げすぎても、樹脂の粘度が増大し、変形が大きくなる。したがって、注入速度を適正化することはワイヤの変形防止に有効である。また、そのほかの要因例として、モールド前の樹脂の状態がある。放置時間や温度によっては樹脂の反応が進んで粘度が上昇し、ワイヤの



変形に影響する場合もあるので、モールド前の樹脂を管理する必要があるのである。

このように、ワイヤの変形を考えていくうえで、設計面とプロセス面の両方を考慮していくことが必要となる。

### 3.2 シミュレーションの活用

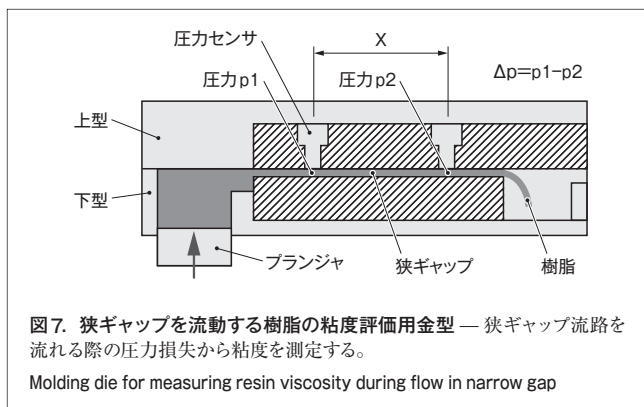
設計ルールを構築していくうえで、設計指標と欠陥の関係を評価し、データベースとして準備しておく必要がある。評価は実験とシミュレーションを併用しているが、実験には多くの時間と費用を要するため、シミュレーションの精度を向上させ、活用していくことが望ましい。シミュレーションの精度を向上させるために、MCPメモリのモールドで生じる現象を考慮する、以下に述べる工夫を行った。

**3.2.1 樹脂の特性変化の考慮** 従来の反りのシミュレーションでは、MCPメモリの一括モールドにおいて、キャビティ内のどの位置でもパッケージに同じ反りが発生するという計算結果になっていた。しかし、実際のパッケージでは、樹脂の注入側と流動末端側で反りの大きさが異なっている。これは、樹脂が狭い金型内を流動中に特性が変化しているためであり、現行の反りのシミュレーションでは、場所ごとに樹脂の特性を変更できる仕組みを追加した。また、プロセス条件を考慮した計算を行う仕組みの開発にも取り組んでいる。

**3.2.2 物性評価** 流動シミュレーションの精度向上には、樹脂の粘度などの物性値を適正化する必要がある。そこで図7に示すように、パッケージの樹脂厚さに近い狭ギャップ流路を流れる樹脂の粘度を評価できる金型を使用し、せん断速度と金型温度ごとの粘度データを採取してシミュレーションへ反映させた。実際には、金型に圧力センサを埋め込んで流動中の圧力を測定できるようにし、流路を流れる際の圧力損失から(1)式を用いて粘度 $\eta$  (Pa・s)を算出する<sup>(2)</sup>。

$$\eta = \Delta p / (Q \cdot X \cdot F) \quad (1)$$

- $\Delta p$  : センサ間の圧力損失 (Pa)
- Q : 樹脂流量 (mm<sup>3</sup>/s)
- X : センサ間の距離 (mm)
- F : 断面形状から求める抵抗係数



圧力測定を行う流路部分のギャップの高さは、パッケージの樹脂厚さに合わせ、0.15～1.0 mmの範囲で変更できるようにした。

流動シミュレーションを適正に実施するためには、金型の温度や金型内のせん断速度による粘度変化を考慮することが必要である。したがって、量産で使用している主要な樹脂については、金型の温度とせん断速度ごとの粘度評価を実施している。せん断速度の変更は、注入速度又は流路部分のギャップの高さを変更することで行っている。

一方、反りのシミュレーションには樹脂や基板のヤング率、線膨張係数などが物性値として必要であるが、温度ごとの物性値のほか、パッケージの樹脂厚さごとやキャビティ内の場所ごとの物性値を測定し、シミュレーションに反映させている。

## 4 あとがき

MCPメモリの樹脂モールド過程で発生する未充てんや、反り、ワイヤ変形といった主要な欠陥を、設計段階で判定することができる設計ルールを構築した。これにより、モールド欠陥の発生を未然に防ぐことができ、開発効率を向上させ、開発機種数の増加につなげることができた。

今後、更に進むと予想されるチップ積層数の増加とチップの薄型化に対応して設計ルールを拡充するとともに、新たに発生する欠陥を先行評価して設計ルールに組み込んでいく。

## 文 献

- (1) 原田 享, ほか. 高密度実装技術. 東芝レビュー. 59, 8, 2004, p.26-30.
- (2) 恒藤敏彦. 弾性体と流体. 東京, 岩波書店, 1983, 250p.



田中 徹 TANAKA Toru

生産技術センター 部品技術研究センター研究主務。  
成形、切削など製造要素技術の研究・開発に従事。  
Machinery Component Technology Research Center



甚目 靖明 HADAME Yasuaki

生産技術センター 部品技術研究センター。  
成形、加飾などのシミュレーション技術や業務支援システムの研究・開発に従事。  
Machinery Component Technology Research Center