

# 論文 半導体一体モールド封止技術\*

## Integrated Mold Package for Semiconductor

新帯 亮 竹中 修  
Akira SHINTAI Osamu TAKENAKA

Recently, automotive semiconductor devices need miniaturization. One of the most important technologies is the package which encapsulates devices. In addition, the outer shape of the package is needed to change according to the mounted space. Conventional devices are mounted in the case, and encapsulated with potting resin. However this package structure is difficult to miniaturize because the case size limit. This report describes the development of the packaging technology for miniature and particular outer shape. The devices are set in the cavity and molded to one package. The three-dimension flow simulation is applied to analyze the flow in the cavity. The results of simulation correspond with experimental results. The cavity structure and the mold resin can be optimized by the simulation.

**Key Words** : Molding, Flow Simulation, Semiconductor, Package

### 1. はじめに

近年、自動車用半導体部品の小型化が進んでいる。半導体部品の小型化には、シリコンチップの高密度化に加え、これを封止するパッケージの小型化が重要である。複数の部品を同時に一体封止すれば、部品全体を小型化できる。さらに、自動車用半導体部品においては、それを搭載する場所に適したパッケージが必要である。ひとつは、搭載環境が民生用半導体部品より厳しいため、それに耐えうる信頼性が必要な点である。もうひとつは搭載場所に合わせた形状にしなければならないという点である。これらを満足した上で小型化も達成することが求められる。

本報告は、複数部品を一体で成形封止することで、信頼性と大幅な小型化を両立した車載に適した半導体パッケージの開発について述べる。その開発手段として3次元樹脂流れ解析を応用し、一体成形に適したパッケージ構造・材料を開発した。

### 2. 一体モールドの基本構造

従来の車載半導体部品では、複数の半導体部品をケースに収め、これに液状の封止樹脂を流し込んで硬化させる方法が一般的に用いられている。ケースは搭載箇所の形状に合わせて成形される。しかし、ケースがあ

るために、大幅な小型化が困難であるばかりでなく、形状的制約も受ける。(Fig. 1上, Case Potting type) そこで、ケースは用いず半導体部品を一括してモールド成形して封止する構造が小型化には有利と考えられる。この場合、半導体部品の片側だけをモールド封止する構造 (Fig. 1中, Half Mold type) と両側をモールド封止する構造 (Fig. 1下, Full Mold type) が考えられる。片側だけをモールド封止する構造は、モールド材と部品の熱膨張率の差により界面を垂直に引張る応力が働くため、界面が剥離しやすく、車載に必要な信頼性を確保することが困難な場合がある。Fig. 2は、これら構造におけるモールド材とフレーム界面に働く応力をFEM解析により求めた結果である。図において

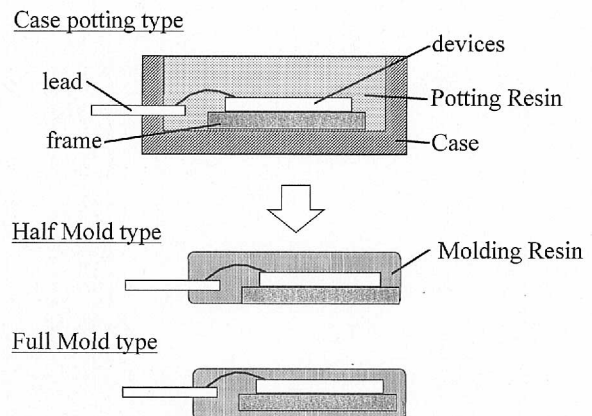


Fig. 1 Package structure of semiconductor

\* 98年8月26日原稿受理

横軸は界面に働くせん断応力 ( $\tau_{xy}$ ), 縦軸は界面に垂直に働く応力 ( $\sigma_y$ ) を表している。  $\sigma_y$  がプラスの場合は界面を引張る方向に応力が働き、マイナスの場合は界面を押し付ける方向に応力が加わることを示す。  $\sigma_y$  がプラスになると剥離しやすくなると考えられる。モールド樹脂の熱膨張率を 27 ppm/°C から 17 ppm/°C へと小さくしていった時の応力変化を解析した。

Full Mold type では、  $\sigma_y$  はいずれもマイナスであり、樹脂が内部の部品を押しえつけるように封止していることがわかる。またモールド樹脂の熱膨張率を小さくすることでせん断応力  $\tau_{xy}$  も小さくなり、剥離しにくい。

一方、 Half Mold type では、 いずれも  $\sigma_y$  がプラスの領域にあり、界面が剥離しやすくなっている。

以上の解析結果より、 Full Mold type を基本構造として採用することとした。

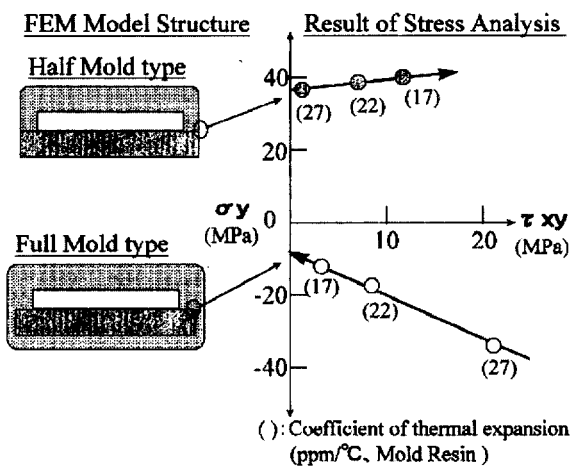


Fig. 2 Stress analysis of mold package

### 3. 半導体モールド成形封止の課題

次にこの構造での成形封止の課題を検討した。モールド封止は Fig. 3 に示すトランスファ成形を用いて行われる。モールド材はシリカ粉末を混練したエポキシ樹脂である。これをポットへ投入し、加熱溶解した後プランジャで押し、ゲートを通してキャビティへ注入する。半導体部品はフレームに搭載されキャビティ内にセットされている。この構造では、樹脂は部品の上側と下側に別れて流動し、ゲート反対側で充填が完了する。成形前に金型内に存在した空気は、ゲート反対側に設けられたエアベントから外部へ排出される。部品上側と下側の流れが不均一になると、このエアが

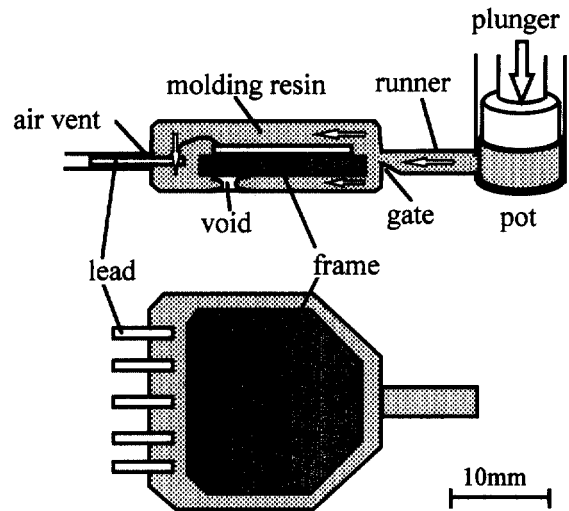


Fig. 3 Transfer molding for semiconductor package

抜けきらずボイドとなる。このようなボイドは水分の浸入を招き、半導体部品の信頼性を損ねる。したがって、事前にこのような成形不良の発生を予測し、良好な成形を行うための最適な型構造や材料設計を行う手段が必要となる。

従来、半導体モールド封止における成形不良の解析としては、ランナー部の1次元的な樹脂の流れの不均一によるボイド発生の解析<sup>1)</sup>、キャビティ内の2次元的な樹脂の流れによる成形不良についての解析例<sup>2),3),4)</sup>がある。しかし、インサートされる部品の影響が大きく、特殊な外形形状をしたパッケージでの3次元的な樹脂流れを解析し、構造設計や材料開発に応用した例はあまりない。そこで、近年開発されてきた3次元の樹脂流れシミュレーション<sup>5)</sup>を活用し、部品の影響などによるボイド発生の予測が行えないかを検討した。

### 4. 実験評価方法

Fig. 3 下に、今回用いたテストサンプルの形状を示す。部品を搭載するフレーム部、外部と導通させるためリード部があり、外形は円形の搭載位置を想定した変形六角形とした。この形状にて、部品の大きさ、リードの有無、フレーム上下の肉厚等がボイドの発生に与える影響を解析した。

試作金型による成形実験を行い、発生するボイドのサイズを測定した。また、樹脂が充填しきる前にプランジャを停止させ(ショートショット)キャビティ内での流動形状を観察した。さらに3次元シミュレーション解析によるボイド発生予測を試みた。

## 5. 実験結果

### 5.1 フレーム上下での樹脂流速

この構造で最もポイド発生に影響するのは、フレーム上下の樹脂流れの差であると考えられる。この流速が大きく異なると、エアレントが上下どちらかの流れで塞がれキャビティ内に空気が残留するからである。一般的に一定の肉厚  $H$  の平面間を粘度  $\eta$  の樹脂が流れる時の流速  $q$  は、次の(式1)で表される。すなわち樹脂肉厚  $H$  が薄いほど流速  $q$  は遅くなる。

$$q = \frac{H^3}{12\eta} \frac{\delta P}{\delta x} \quad (1)$$

$q$  : 樹脂流速

$H$  : 肉厚

$\eta$  : 樹脂粘度

$\delta P/\delta x$  : 圧力勾配

そこで、フレーム下側の樹脂肉厚  $H_2$  は一定のまま、フレーム上に厚さの異なる板状部品を貼ることで、上側の肉厚  $H_1$  を変化させ、肉厚比  $H_1/H_2$  とポイドサイズの関係性を測定した結果を Fig. 4 に示す。

肉厚比  $H_1/H_2$  が 1 に近づくほどポイドが小さくなるのがわかる。しかし完全に 1 でなくてもポイドが発生しない領域が存在する。 ( $H_1/H_2 < 2.0$ )

その理由を検討するため、ショートショットによる樹脂流れの観察を行った。観察の一例を Fig. 5 に示す。樹脂を止めるタイミングを順次ずらして、樹脂の流動先端がどのように移動するかをグラフ化した (Fig. 6)。このグラフの傾きが流速  $q$  を表す。肉厚がより厚いフレーム上側の樹脂流れ  $q_1$  が下側  $q_2$  より速いことが確認

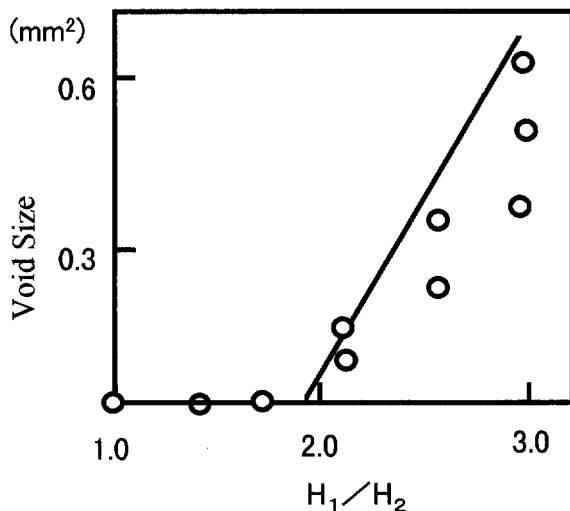


Fig. 4 Void size vs  $H_1/H_2$

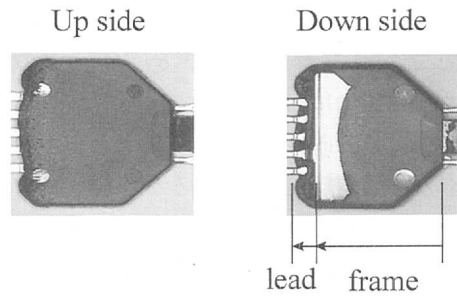


Fig. 5 Short shot sample

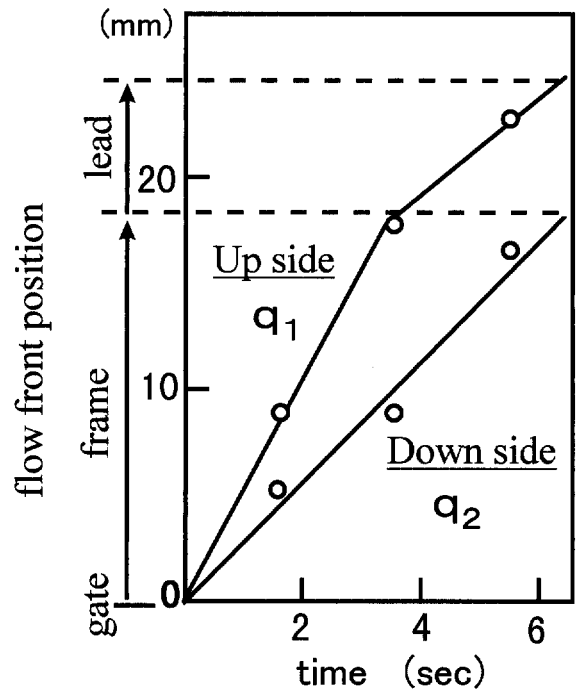


Fig. 6 Flow front plot

される。

さらに、上側の樹脂流れ  $q_1$  がフレーム部を通過して、リード部分にかかる時、プロットが折れ曲がり流速が遅くなる。リードがあることでその間を樹脂が流れることとなり、肉厚  $H$  が薄くなったのと同じ効果をもつと考えられる。

この影響により、 $H_1/H_2$  が 1 でなくてもポイドが発生しなかったものと思われる。

### 5.2 3次元樹脂流れ解析の適用

この効果をより定量的に予測するため、3次元樹脂流れ解析を実施した。Fig. 7 にモデル図の一例を示す。要素数は約 13,000 である。樹脂はリードの隙間などを上下左右に 3 次元的に流れるため、解析プログラムも樹脂の流動方程式を 3 次元で解くアルゴリズム<sup>5)</sup>を採用した。

このプログラムは熱可塑性樹脂用に開発されたもの

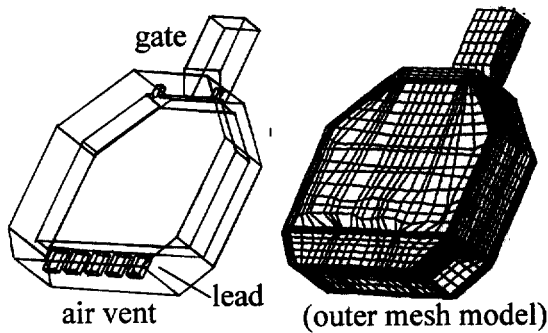


Fig. 7 Simulation model

である。実際の成形では熱硬化性樹脂のため熱硬化による粘度上昇が起こる。テスト金型ではランナー部分を十分短くすることで、注入時間内に熱硬化による粘度上昇の影響がないようにした。解析パラメータとして樹脂のせん断速度依存性を考慮した。

この解析が実際の現象を再現しているかを検証するため、 $H_1/H_2$ を変えたモデルで解析を実施した。解析の結果得られた  $q_1/q_2$  とショートショット観察で得られた値はほぼ一致することを確認した (Fig. 8)。

また、 $H_1/H_2$  比が大きくなっても、 $q_1/q_2$  比はそれほど大きくならない。この関係については、考察にて後述する。

次に、このシミュレーションを用いリードの影響を解析した。 $H_1/H_2=1.8$ の時の結果を Fig. 9 に示す。テストサンプルではフレーム上下の樹脂流れ速度に差があるのにポイドが発生しなかった条件である。この図は樹脂流動先端が時間とともに移動していく様子を示す。ゲートから樹脂が注入され、エアイベント側へ向って順次充填されていく様子を色分けして表示した。Fig. 9

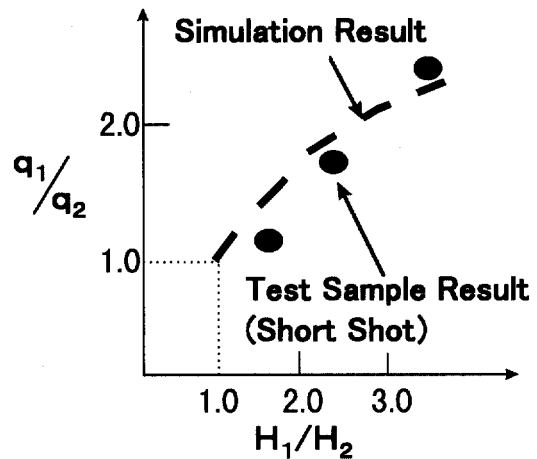


Fig. 8 Simulation result of  $q_1/q_2$

左は、リードがある場合で、最終充填部がエアイベントとほぼ一致している。Fig. 9 右は、リードがない場合で、最終充填部がエアイベントから大きくずれることが予測された。これは、リードがなくなることで、フレーム上下の樹脂流速の差が出やすくなるためと考えられる。実際に、リードを無くしたサンプルで成形を行った結果、サイズ約  $2.0 \text{ mm}^2$  の大きなイドが発生することを確認した。

### 6. 考 察

この構造において、ポイドの発生は次の (式 2) で表される。すなわち、フレーム上下の流速比  $q_1/q_2$  が一定の値 (ここでは  $a$  とした) 以下であればポイドは発生しない。

$$\frac{q_1}{q_2} < a \tag{2}$$

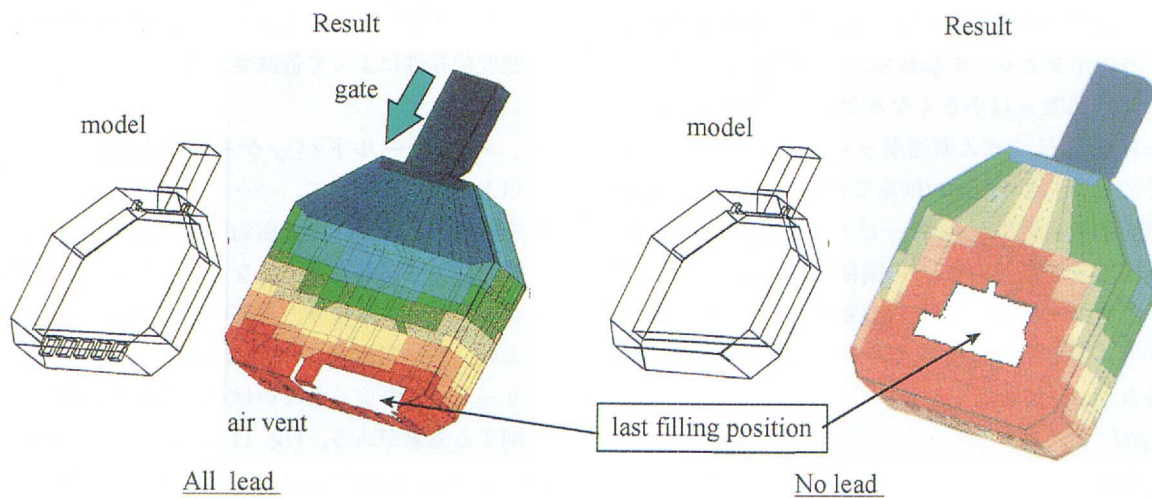


Fig. 9 Results of flow simulation

$q_1, q_2$ : フレーム上下の流速

$a$ : 製品構造で決まる係数

今回の例ではリードがある場合は  $a=1.3$  程度と予測された。リードがない場合は  $a$  の値は小さくなり、フレーム上下の樹脂流速比  $q_1/q_2$  をより 1 に近づけなければ成形できない。

この値  $a$  は、構造で決まるため、3次元流れ解析を活用することで、なるべく大きな値になるよう製品構造を最適化する。

一方、流速比  $q_1/q_2$  を 1 に近づけることでもポイドは発生しにくくなる。(式 1) を (式 2) へ代入し、(式 3) を得る。

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^3 \frac{\eta_2}{\eta_1} < a \quad (3)$$

$H_1, H_2$ : フレーム上下の肉厚

$\eta_1, \eta_2$ : フレーム上下の粘度

この式では  $q_1/q_2$  比は、 $H_1/H_2$  比の 3 乗に比例することになってしまい、Fig. 8 に示したテストサンプルやシミュレーションの結果とも矛盾する。これは、フレーム上下で樹脂の粘度  $\eta$  が異なっているとすれば説明できる。すなわち、(式 3) において、上下の粘度比  $\eta_2/\eta_1$  が 1 より小さいと考えられる。

上下では同じ組成の樹脂が流れているため、粘度の違いはキャピティの構造要因に起因している。フレーム上下では肉厚が異なる。そのため、より狭い部分を通れる樹脂にはより大きなせん断速度  $\gamma$  が印加される。一般に樹脂はせん断速度  $\gamma$  によって樹脂粘度が変化し、経験的に以下の (式 4) で与えられる<sup>6)</sup>。

$$\eta = C1\gamma^{C2} \quad (4)$$

$\eta$ : 樹脂粘度  $\gamma$ : せん断速度

$C1$ : 係数  $C2$ : せん断速度依存係数

ここで、 $C2$  は粘度のせん断速度依存性を表す係数であり、負の値をとる。すなわち、せん断速度  $\gamma$  が大きくなれば、粘度  $\eta$  は小さくなるという関係である。

さらに肉厚  $H$  とせん断速度  $\gamma$  の関係が分かれば、およそその  $q_1/q_2$  比の傾向が推定できる。そこで、3次元流れ解析の解析結果から、キャピティ各部の肉厚  $H$  とせん断速度  $\gamma$  を読み取り、その関係を Fig. 10 に示した。両対数プロットにおいてほぼ直線関係が得られ、この結果から、およそ以下の (式 5) の関係があると推定された。

$$\gamma = \beta H^{-4} \quad (5)$$

$\beta$ : 係数

肉厚  $H$  の厚いところでは急激に  $\gamma$  が小さくなる。 $\gamma$

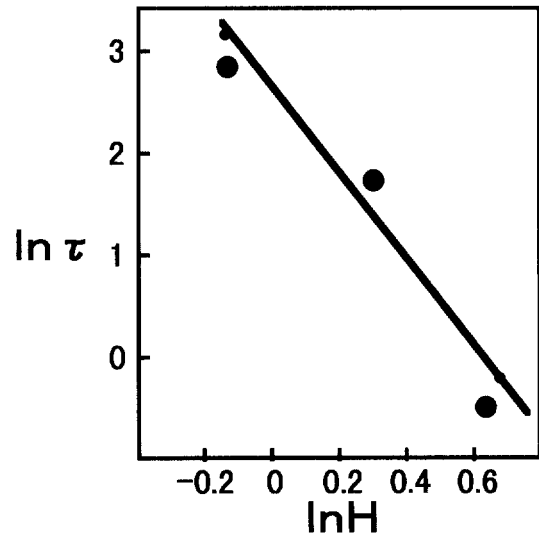


Fig. 10 Relationship between  $H$  vs  $\gamma$

が小さくなると樹脂粘度  $\eta$  が大きくなり、樹脂流速  $q$  は遅くなる。すなわち、樹脂のせん断速度依存性が、肉厚比  $H_1/H_2$  の樹脂流速比  $q_1/q_2$  への影響度をキャンセルする方向へ働いていると考えられる。(式 4, 5) を (式 3) へ代入して整理すると、次の (式 6) が得られる。

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{(3+4C2)} < a \quad (6)$$

$C2$  は負の値のため、 $q_1/q_2$  は  $H_1/H_2$  の 3 乗には比例せず、Fig. 8 で示した挙動が理解される。

以上の考察を以下に要約する。

- ① フレーム上下の樹脂流速の差によりポイドが発生するが、ポイドサイズはリードの形状効果により変化する。
- ② この効果は 3次元樹脂流れ解析により予測でき、実験結果ともほぼ一致した。
- ③ フレーム上下の樹脂流速の差は、樹脂粘度のせん断速度依存性によって低減される。

## 7. 一体モールドパッケージの開発

以上の考察をもとに、パッケージの構造、材料の開発を行った。まず 3次元樹脂流れ解析を用いて、成形可能範囲  $a$  を最適化する。なるべく上下の樹脂流速比をキャンセルするよう、各部の構造寸法を変化させればよい。Fig. 11 はその一例を示した。

リードの幅を広くしていけば、それだけ樹脂流れを抑制する効果がある。Fig. 11 では、リードの幅を 1.5 mm から 2.0 mm に広げた結果である。最終充てん部のサイズが小さくなり、成形可能範囲  $a$  が広がったこ

Lead width : 1.5 mm    Lead width : 2.0 mm

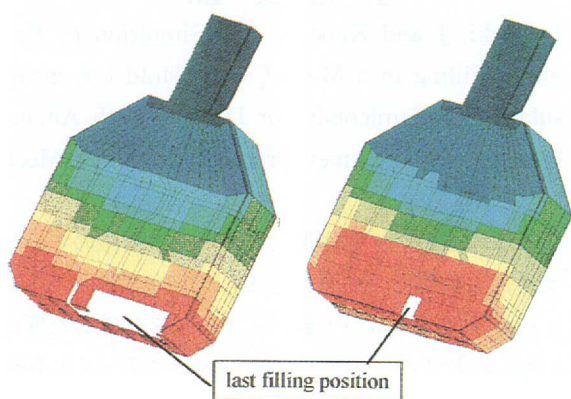


Fig. 11 Structure optimization by flow simulation

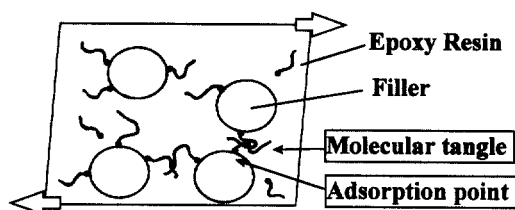
とがわかる。ただし、リード幅には限界があり、その中で最適な幅を選択する。

3次元解析のため、その他、各部の樹脂厚さ、ゲート位置、部品厚さなどの影響を自在に解析することができ、制約範囲内の最適な構造に設定することができる。

一方(式6)を成立させるためには、樹脂のせん断速度依存係数  $C_2$  を改良する方法も考えられる。 $C_2$  は、せん断速度  $\gamma$  により樹脂粘度  $\eta$  がどの程度変化するかを表した係数である。半導体封止樹脂は、高分子であるエポキシ樹脂と粒状フィラー材の混合物である。概念的には、Fig. 12 に示す構成になっていると考えられる。すなわち、エポキシ樹脂の分子はフィラーの表面に吸着したり (Adsorption point)、お互いに絡み合っている (Molecular tangle)。これにせん断速度を加え、樹脂を流動させようとする、これらの吸着点や分子同志のからみが抵抗となる。マクロ的にはこの抵抗が粘度として観察される。抵抗が大きいほど粘度  $\eta$  が高い。大きなせん断速度を加えていくとこれらの吸着やからみが解きほぐされて、抵抗が小さくなり、粘度が低くなる。この変化割合が  $C_2$  となって観察されると考えられる。

したがって、この特性を改良するには、フィラーと樹脂の吸着点や分子のからみ合いを増せばいいと考えられる。フィラー材の含有率を高めていけば、それにつれてフィラー表面積が増加し吸着点も増える。この手法は、同時にモールド材の熱膨張係数を低減する効果もあり、応力的にも有利な方向である。また、分子同志のもつれを増加させるには、分子鎖の長いエポキシ樹脂を選択する。いずれの手法も、せん断速度依存

**Low Share Rate**



**High Share Rate**

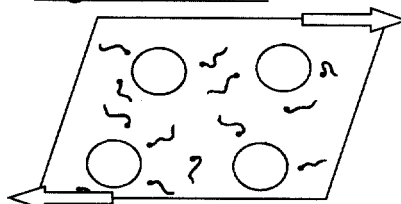


Fig. 12 Dependence of resin viscosity on share rate

性は改良されるが、樹脂の粘度を増加させる方向になるため、低粘度化の手法も同時に加えることで、全体のバランスを取る必要がある。

このような考えで選定した樹脂材料での、ショートショットの結果を Fig. 13 に示す。この図は肉厚の薄い側 (フレーム下側) から見たものである。どちらも肉厚の厚い側 (フレーム上側) は、ほぼ同じ位置まで樹脂が流動しているサンプルで比較した。従来材と比べ開発材はより遠くまで樹脂が流れ、 $q_1/q_2$  比が改善されていることが確認される。

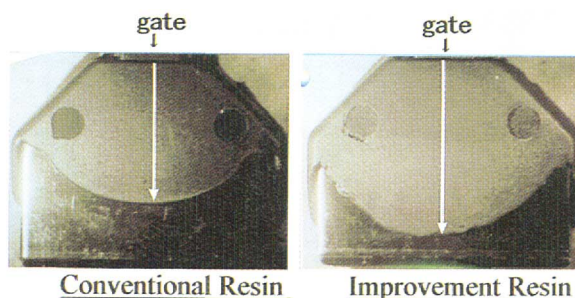


Fig. 13 Effect of mold resin improvement (Down side, short shot phot.)

以上述べたように、構造の最適化と材料の改良により、封止する部品と搭載箇所に合わせて最適なパッケージを開発する手段を得ることができた。

**8. おわりに**

半導体モールド封止では、リードなどのインサートされる部品により成形性が大きく影響される。そのた

め、これらを正確にモデル化できる3次元樹脂流れ解析を用いることで、その影響を事前に予測し、構造設計・材料改良などの指針とできることがわかった。本手法は、すでにいくつかの特殊形状の半導体パッケージ開発に適用しその有効性を確かめた。さらに、半導体部品のみならず複雑形状部品をインサート成形する場合へも適用可能と思われる。

この技術は半導体の小型・高密度実装開発を推進する要素技術になりうるので、今後幅広く活用していきたいと考えている。さらに、限界の小型化を求めると、熱硬化に伴う粘度上昇による成形不良などが課題となるため、今後の課題として取り組んで行く。

### 謝 辞

本研究を遂行するにあたり豊田中央研究所・材料モデリング研究室のご協力をいただいたことに感謝いたします。

### ＜引用文献＞

- 1) Saeki, J and Kaneda, A., "Simulation of Balanced Filling in a Multi Cavity Mold for encapsulation of Semiconductor Devices", 4th Annual International Polymer Processing Society Meeting, May 1988.
- 2) 安原敏浩ら：半導体封止用熱硬化性樹脂のキャビティ内流動解析，成形加工 '94 E 102 127.
- 3) 内藤孝洋ら：薄いと弱いイメージを打破した厚さ1 mmのLSIパッケージ，日経マイクロデバイス 1988年9月.
- 4) 田中厚ら：封止材の金型内流動シミュレーションによるボイド低減に対する取り組み，日東技報 Vol. 33, No. 1(1995).
- 5) 井上，松岡(豊田中央研究所)：日本レオロジー学会誌，Vol. 21, P. 175(1993).
- 6) 大泉新一ら：半導体封止用樹脂粘度のずり速度依存性，日東技報 Vol. 29, No. 1 <Jun. 1991>.



### ＜著 者＞



新帯 亮 (しんたい あきら)  
生産技術開発2部  
半導体パッケージの封止材料等の  
開発に従事。



竹中 修 (たけなか おさむ)  
生産技術開発2部  
化学処理，表面技術，電子・半導  
体加工の生産技術開発に従事。