LSIパッケージングCAEシステム

CAE Systems Used for Plastic Packaging of LSI Devices

佐伯 準一*

1. はじめに

LSIに代表される半導体は素子単体で 사용되는ことはまれであり、外部環境からの保護やプリント基板などへの接続、実装を容易にする目的でパッケージに収納される。信頼性の高いパッケージを低価格で大量に市場に供給するために、熱硬化性樹脂を用いて加熱金型内で複数の素子を封止する方式が主流となっている¹⁾。

金型内の樹脂の流動挙動は製品品質と密接に関連する重要な因子であり、これらの関連をコンピュータシミュレーションにより事前に予測し、合理的なパッケージ構造、プロセス装置設計を迅速に行うことが強く望まれている。しかし、熱硬化性樹脂を対象としたCAEは熱加塑性樹脂用のものに比べ、商用ソフトの紹介や学会レベルでの発表は少ない。これは、(1)プラスチック市場での使用割合が少なくユーザが限定されること、(2)反応を伴う系のためこれを考慮したモデル式の構築が必要であり、入力データの採取や解析に時間がかかり、使いやすいCAEシステムになりにくいことが主な理由と考えられる。

このような状況から、筆者らは半導体樹脂封止工程を対象とした独自のCAEシステムの開発と実用化を進めてきた²⁾。ここでは、その概要について説明する。

2. 樹脂封止工程の概要

2.1 成形法

樹脂封止工程の概要³⁾を Fig.1 に示す。LSI チップはパターン形成してある金属リードフレーム上に接着され、所定部分を微細な金線で相互結線する。この状態のリードフレームを下金型のキャビティ上に並べ金型を閉じ、タブレット状に成形された樹脂をポット内に投入する。金型は170℃程度の高温に保たれており、樹脂は金型に接した面から溶融を開始する。成形機に取り付けたプラ

Fig.1 Molding process of LSI devices.

* Junichi Saeki

㈱日立製作所 生産技術研究所/Hitachi, Ltd. Production Engineering Research Laboratory.

Tab.1 Typical composition of epoxy molding compounds.

Raw material	Purpose	%(Weight)
Epoxy resin	Granting electrical, mechanical and thermal properties	15~40
Hardener		
Accelerator	Rapid curing	<1
Flexibilizer	Reduction of elasticity and thermal expansion coefficients	<5
Filler	Adjustment of thermal and mechanical properties	60~85
Coupling agent	Improvement of adhesion among resins, fillers and lead frames	<1
Flame retardant	Providing flame retardancy	<1
Coloring agent	Coloring	<1
Mold release agent	Granting mold release characteristics	<1

ンジャを駆動させることにより、樹脂はランナー、ゲートを通してキャビティへ流入する。所定時間経過後、樹脂は固化し金型が開いて成形品が得られる。その後のリード切断、曲げなどの工程を経て最終製品が完成する。

成形法はシングルプランジャ法¹⁾とマルチプランジャ法³⁾がある。前者は金型の中央に設置された大きなポットに径の大きいタブレットを投入するもので、品種が変わっても、ポットやタブレット径のサイズを共通にでき

Fig.2 Typical mold defects.

るという利点がある。後者は金型に複数の小さなポットを設け、ここから短いランナーを介してキャビティを等距離に配置する構造になっており、樹脂の材料歩留まりを向上できるという利点がある。

最近では、プランジャを下型に設置して成形機の高さを低く抑えるタイプも多い。この2つの成形法はそれぞれ特有の利点と難しい点があり、目的に応じて使い分けがなされている³⁾。

2.2 封止樹脂

樹脂組成例を Tab.1 に示す。封止に用いる樹脂はエポキシを主剤とする複合材料であり、パッケージの信頼

Fig.3 Outline of LSI packaging CAE system "SOL".

(* Expert system with Synthesis Organization for Leading flow analysis)

Fig.4 Simulation model for analyzing mold filling dynamics.

性と生産性を両立させるために非常に多くの素材が配合されている¹⁾。いろいろなパッケージ品種に適合させるため、樹脂の種類は増え続けており、樹脂パラメータの採取を効率的に行うことも CAE の大きな課題になっている。

2.3 成形欠陥

樹脂封止工程において、各種条件の設定が適切でない場合は成形欠陥が発生する¹⁾。この例を Fig.2 に示す。最近のパッケージはチップ面積やピン数の増加が進む一方で、高密度実装のニーズから外形は小型・薄型化され、これらの欠陥が極めて発生しやすくなっている。したがって、CAE の適用によりこれらの欠陥の事前予測と対策指針を明確にし、試作回数を減らして新製品を早期に開発することがますます重要になっている。

3. CAE システム

3.1 全体構成

システムの概要²⁾を Fig.3 に示す。まず、樹脂の流動・硬化特性を自動計測する RPA (Resin Rheological Parameter Analyzer) と呼ばれる装置⁴⁾からデータを取り込み、粘度式中のパラメータを自動推定する。これが樹脂物性値の一部としてデータセットされる。入力データはモデル合成部に入り、ここで、AI (Artificial Intelligence) 手法により必要精度を確保したうえで形状の簡素化や流動モデルの選択を行う²⁾。

次に自動解析部においてライブラリーから必要なプログラムを呼び出し、計算結果がグラフィック表示される。解析の内容は、バランス充填用金型流炉設計値、金型各部の流動状態、キャビティ内で生じる成形欠陥の予測などである。

3.2 流動解析の基礎モデル

解析に用いている基礎モデル^{2),5)}を Fig.4 に示す。熱硬化性樹脂の場合、時間の経過とともに反応が進み、分子量の増加により非可逆的な粘度変化が生じる。この現象を簡単に表すために、まず、時間と温度の関数となる等温粘度式モデルを導いた。これを実際の非等温での粘度変化の予測式に展開するとともに、各種保存方程式

と組み合わせて差分法により数値解析する。これにより、流路内の樹脂の圧力、温度、粘度、速度などの物理量の変化が計算できる。

モデル金型内における樹脂の見かけ粘度変化の比較^{2),5)}を Fig.5 に示す。これは、一本の円管に樹脂を流動させ、充填開始からゲル化による流動停止までの見かけ粘度の変化の実測値とシミュレーションによる計算値を比較したものである。各型温において両者はよく一致している。

3.3 金型流路設計

Fig.1 に示したシングルプランジャ方式での一般的な

Fig.5 Comparison of measured and calculated viscosity changes.

Fig.6 Flow chart for designing a multi-cavity mold for balanced filling.

金型は、ランナー断面やゲート諸元は一様に設計されていた。このため、樹脂はポットに近い上流側のキャビティから順に充填し、このアンバランス充填に起因する各種成形不良が発生しやすくなっていた。そこで、同時充填を図るための設計手法を開発した^{2),6)}。このフローをFig.6に示す。各キャビティへ樹脂を分配することによるランナー内での流速の低下を防止するためにランナーを先細りにし、ゲートの絞り角を下流側ほど大きくして各キャビティに至るまでの圧力損失を揃えるようにした。

Fig.7に従来金型とCAEにより設計した各種金型での充填状況の比較を示す。使用樹脂や製品サイズの異なる各種金型において、ほぼバランス充填が達成できている。

Fig.8に開発金型の効果⁶⁾を示す。開発型ではバランス充填により下流側キャビティでの流速の集中がなくなり、材料コスト低減のために金線を細くした状態での金線変形不良の防止を可能とした。また、ゲート部での樹脂滞留時間のアンバランスをなくし、移送時間を大幅に変えても外観不良は発生せず、成形マージンの拡大効果も確認できた。

3.4 マルチプランジャ方式への適用

シングルプランジャ方式では、通常タブレットを高周波加熱した後でポットに投入するが、マルチプランジャ方式ではタブレットが小さいためこれを行

わずに各ポットに投入するようになっている。ここではCAEにより、まず、ポット内での樹脂の粘度変化の比較計算を行い、マルチプランジャ方式特有の現象を把握した。この結果を流路や装置設計に反映させ、自動成形装置の仕様決定などに役立てている³⁾。このフローをFig.9に示す。

3.5 キャビティ内の解析

最近のパッケージはLSIの高集積化、高機能化によりチップ占有面積が増加するとともに、パッケージの薄

Fig.7 Comparison of short shots.

Fig.8 Results of using the developed mold.

型化によりリードフレームの剛性が低下している。したがって、キャビティ内でのインサート上下の流れのアンバランスにより、キャビティ内の空気をトラップしてしまう貫通ボイドやチップが動いて露出する不良が起こりやすくなっている。

この現象を予測するために、まず微小時間ごとにインサート上下流の状態を計算し、流量と圧力の分岐条件を

満足するように新たな流動配分を求めていく非定常解析手法²⁾を開発した。この概要を Fig.10 の左側に、検証結果を右側に示す。各種モデル流路ならびに実製品において計算値と実測値は比較的よく一致している。

Fig.11 に構造・プロセスの最適化手順²⁾を示す。インサート上下で樹脂の流速が異なると圧力分布に差ができ、その差圧によりインサートを垂直方向に動かす力 F 、回転させるモーメント M が生じる。Fig.10 に示したインサート上下の解析結果からこれらの値を逐次計算するプログラムを開発した。流動途中で F あるいは M が許容値を越えた場合は、制約条件内で構造を変更し、同様の解析を繰り返す。インサート変位のない条件が見出せると、ボイド残存の予測計算に入る。ここでは、充填完了時の分岐流の合流位置を計算し、トラップした空気の逃げ場がないかどうかの計算を行う。ボイド欠陥が予測される場合は、ダミーキャビティの諸元を変えてボイドを排出できる条件を探し、製品キャビティにボイドが残存しない条件が得られたところで、最終仕様が決定する。

Fig.9 Process optimization for multi-plunger molding system.

4. おわりに

本 CAE システムの開発により、成形欠陥発生率の低減、金型開発期間の短縮、薄型・小型パッケージの信頼性向上などの効果が得られている²⁾。

ここでは筆者らのシステムについて述べたが、昨年頃から、各部署での CAE 手法についての発表が活発になってきた^{7)~9)}。今後、この分野の学会レベルでの活性化が図られることを祈念している。

参考文献

1) 佐伯準一：“LSI の樹脂封止”，成形加工，2，(1990)，392～397。
2) 佐伯準一，杉野和宏，安原敏浩，西邦彦，金田愛三，“LSI パッケージング CAE システムの開発”，成形加工，6，(1994)，450～457。
3) 香山 晋 他編：“ASIC パッケージング技術ハンドブック”，(1992)，296～300，サイエンスフォーラム
4) 佐伯準一，金田愛三：“流動・硬化特性解析装置による低圧トランスファ成形用エポキシ樹脂の管内粘度変化”，高分子論文集，45，(1988)，691～697。
5) 佐伯準一，金田愛三：“低圧トランスファ成形用エポキシ樹脂の円管内流動解析”，日本機械学会論文集，55B，(1989)，2626～2632。
6) 佐伯準一，金田愛三：“熱硬化性樹脂流動解析によるキャビティ多数個取り金型の流路設計”，日本機械学会論文集，55B，(1990)，2343～2350。
7) 西村哲郎，青木幸展，清塘 勉，杉崎吉昭：“半導体封止過程におけるエポキシ樹脂の流れとダイパッドの移動”，成形加工，(1995)，79～82。
8) 横井秀俊，村田泰彦，山口龍善：“半導体パッケージング過程の可視化解析”，成形加工，(1995)，175～178。
9) 伊藤芳規，榎並嗣智，山田恵美：“3 次元樹脂流動解析”，成形加工，(1995)，179～182。

Fig.10 Flow analysis in a cavity.

Fig.11 Optimization of package structure and molding.

〔執筆 者 紹 介〕

佐伯準一(さえき じゅんいち)
1974年，山口大学・大学院工学研究科機械工学修了。同年，(株)日立製作所入社。以来，半導体プラスチックパッケージのモールドプロセス技術の開発に従事。工学博士。