

高充填性モールドアンダフィル用封止材

Encapsulation Materials for Mold Underfill with High Filling Ability

明石 隆宏* ・ 續 貴徳* ・ 辻 隆行* ・ 中村 正志*

Takahiro Akashi Takanori Tsuzuki Takayuki Tsuji Masashi Nakamura

モールドアンダフィル（MUF）対応の封止材において、チップ下狭ギャップの充填性がフィラーの粒径や量、樹脂の粘度とゲル化時間に影響されることに着目し、カットポイント 30 μm 以下で平均粒径 5 μm まで小さくしたフィラーを用いてその充填量と樹脂の粘度から動粘度を最適化するとともに、硬化性に悪影響を及ぼさない範囲でゲル化時間を長くする樹脂設計によって、40 μm の狭ギャップに対しても優れた充填性を発現する材料を開発した。

また、同時に開発した狭ギャップ充填性の簡便かつ定量的評価法は、MUF におけるチップ下充填性向上の検討に有効であることが明らかになった。

In a study of molding compounds used for mold underfill (MUF), the effect of the filler size, quantity of filler material, resin viscosity, and gel time on the ability to fill a narrow gap under a chip were examined. As a result of the study, a resin was developed that provides excellent filling performance, even in a 40 μm gap, by reducing the average filler size to 5 μm with a cut point of 30 μm or smaller, while optimizing the dynamic viscosity from the filler quantity and resin viscosity and prolonging the gel time without impacting the curing performance.

A simple and quantitative evaluation method was simultaneously developed for assessing the narrow gap-filling ability of underfill resin. This method has proved effective for studying ways to improve the gap-filling ability for mold underfill.

1. ま え が き

近年、半導体技術の進歩によって、デジタル家電や携帯端末などの高速化、高機能化が進展してきている。そしてこれらの機器の機能を担う高性能半導体が搭載される半導体パッケージとして、BGA (Ball Grid Array) が広く採用されている。より一層の高速化や高機能化のためには多くの信号をすばやく伝達する必要があり、半導体とパッケージ基板との接続方式は、従来のワイアボンディング（以下、WB と記す）接続から、より多ピン化や高速化が容易なフリップチップ（以下、FC と記す）接続で行われるケースが増えてきている。WB ならびに FC 接続から成る BGA の例を図 1 に示す。

エリアアレイタイプの FC 技術に関するロードマップを表 1 に示す。はんだバンプ間のピッチ（以下、バンプピッチと記す）が年々狭小化し、バンプ高さが低くなっていることがわかる。これに伴い、チップとパッケージ基板の

隙間（以下、ギャップと記す）も狭くなる。このギャップには、液状封止材でアンダフィルする場合が一般的である。しかし近年、一部の FC パッケージでは、組立コストや工数を削減するため、トランスファモールドによりアンダフィルを行う成形方式であるモールドアンダフィル（以下、MUF と記す）の技術開発が進められており¹⁾、すでに量産段階にある。なかでも、アンダフィルとオーバモールドを同時に行うものが多いことから、筆者らもこれをターゲットとした MUF 用の封止材を開発している。

MUF でとくに問題となるものの一つが、チップ下への封止材の充填である。前述のロードマップからわかるように、今後さらにバンプピッチやギャップが狭小化したパッケージ仕様となっても、封止材にはチップ下を充填できる特性が求められる。これに応えるにはまずチップ下充填性向上の課題把握が必須であり、そのためには充填性を定量的に評価できる方法の開発が必要となる。

そこで筆者らは、バンプ高さ 65 μm 以下となる先端 FC

* 電子材料本部 電子材料R & Dセンター Research & Development Center, Electronic Materials Business Unit

パッケージへの MUF に対応するため、チップ下 40 μm のギャップに充填可能な封止材の開発に取り組んだ。今回、独自に充填性評価法を開発して簡便で定量的な材料差の確認を可能にするとともに、封止材のフィラーや動粘度、ゲル化時間に着目して充填性を向上させる方向性を明確にした。さらにその知見から、先端の FC パッケージに対する MUF が可能な封止材を開発したので報告する。

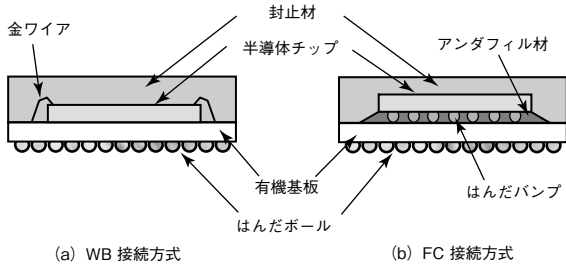


図1 WB接続とFC接続のBGA例

表1 FC技術ロードマップ²⁾

時期 (年)	2008	2010	2012	2014	2016
バンプピッチ (μm)	130	130	110	110	110
バンプ数	3800	4200	4600	5000	5400
バンプ高さ (μm)	65	65	55	55	50

2. 定量的充填性評価法

封止材の流動性を測定する方法としては、スパイラルフローや高化式フローテストが従来から一般的に用いられている。また筆者らは、実際のキャビティー内における封止材の流れに近い状況を再現する動粘度測定用スリット金型を用いて封止材の動粘度評価を行っている³⁾。

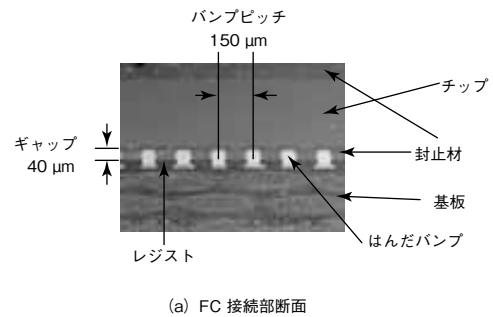
しかしこれらの測定法で評価できるのは、数百 μm から数 mm 程度の比較的大きな流路を封止材が流れる場合の流動性である。一方、MUF用の封止材に要求されるのは主に 100 μm 以下の狭ギャップに対する充填性であり、これを評価するには前述の方法は必ずしも有効ではない。たとえば、スパイラルフローが短くても狭ギャップへの充填性が良好な場合もあり、実際に封止材が狭ギャップを流動する状況を再現できる評価ツールが必要である。

そのため筆者らは、バンプピッチ 150 μm 、3721 ピンのエリアアレイ、ギャップ 40 μm の FC 実装充填性評価ツールを作製し、MUF用封止材の狭ギャップ充填性評価に使用している (図2)。このバンプピッチとギャップは現在実際に MUF を検討されているなかでは最先端の領域であり、材料自体がそれに対応できるか否かを本ツールで確認できる。

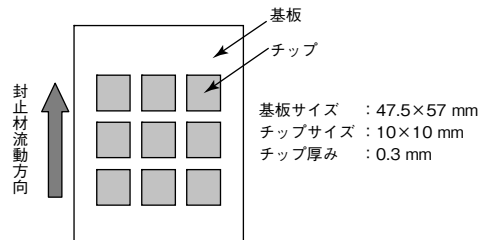
しかしこのツールは、FC実装と基板の準備にコストと工数が掛かること、ギャップの変更が容易でないこと、パッケージの透過 SAT (超音波探査装置) で行う未充填部分の観察では材料間の定量的な充填性能の差を確認する

ことが難しいことなどから、材料開発の方向性を探る場合の評価法としては適さない。

そこで筆者らは、材料の違いによる差を簡便かつ定量的に評価するため、狭ギャップ充填性定量評価法を開発し、材料開発に活用している。図3にその概要を示す。

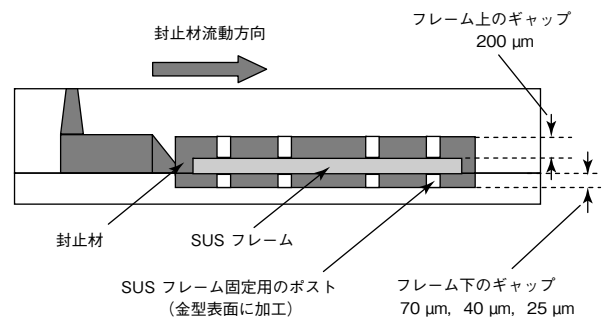


(a) FC接続部断面

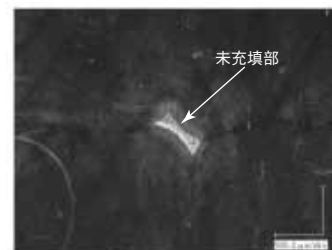


(b) チップ配置図

図2 FC実装充填性評価ツール



(a) 評価金型概要



(b) フレーム下の未充填部例

図3 狭ギャップ充填性定量評価法

金型は、SUS製のフレームをセットしてその上部と下部を封止材で封止するもので、フレームの上はオーバーモールドを、下はアンダフィルを模している。成形品のフレ-

ム下の未充填部分の面積をフレーム下部分の全面積で割り、未充填率 (%) を算出する。この割合で充填性を数値化することによって、各材料の定量的な評価が可能である。フレーム下部の間隙は 70 μm 、40 μm 、25 μm の3水準あり、ギャップの異なる評価も容易に可能である。実際の FC パッケージとの関連については、前述の FC 実装充填性評価ツールとはおおむね相関のある結果が得られている (図 4)。また詳細は 4 章に示すが、40 μm ギャップの FC 実装充填性評価ツールにおいて未充填がないとされる封止材でも、定量評価法における 40 μm ギャップの未充填率は 0.04 % 以下になっている。


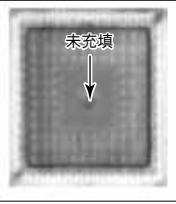
	チップ下未充填大	チップ下未充填小
実装充填性評価 ツール成形品 透過 SAT 画像		
充填性定量評価法 40 μm ギャップ 未充填率 (%)	3.2	0.3

図 4 狭ギャップ充填性定量評価法と実装充填性評価ツールの相関

3. 狭ギャップ充填性向上の方向性

有機基板 (インタポーザ) の片面のみを封止するタイプのパッケージとしては BGA が一般的で、なかでも PBGA (Plastic BGA) や FBGA (Fine pitch BGA) と呼ばれるものが多い。これら片面封止型のパッケージ用封止材は、主に球状溶融シリカなどのフィラー、エポキシ樹脂やフェノール系硬化剤などの樹脂、その他少量成分である硬化触媒、離型剤、顔料などにより構成される。このうちフィラーと樹脂がほとんどを占めるため、これらが封止材の流動性をおおよそ決定する因子となる。

筆者らはこれに着目し、フィラーや樹脂に関連する特性と狭ギャップ充填性との関係を調査して封止材開発の方向性を検討する。

3.1 フィラーの粒度と充填性

フィラーのカットポイント (最大粒径) が異なる各種封止材において、スパイラルフローと狭ギャップ充填性定量評価金型を用いて評価した結果を表 2 に示す。この系において、70 μm のギャップでは、カットポイントを 74 μm から 55 μm にすると未充填率が 0.07 % から 0.003 % へと約 1/20 に改善し、55 μm 以下であれば同程度の充填性を維持できている。したがってこのギャップに対しては、カットポイント 55 μm 以下のフィラーを使用することが充填性向上に効果があると考えられる。また 40 μm のギャップに

おいては、カットポイント 55 μm 以上ではまったく充填しないが、30 μm 以下では未充填率が 0.2 % まで減少している。さらに 25 μm のギャップにおいては、カットポイント 45 μm 以上ではまったく充填せず、30 μm カットポイントでも 14 % の未充填率であるが、20 μm カットポイントで未充填率が 0.2 % と大きく改善する。したがって 40 μm ギャップでは少なくともカットポイント 30 μm 以下、25 μm ギャップでは 20 μm 以下のフィラーが充填性向上に有効で、これ以上の充填性の向上は平均粒径もしくは樹脂系の変更等が必要と推測される。まとめると、すべての水準において、カットポイントが小さいほうが狭ギャップに対する充填性が優れていることが確認できる。

また、カットポイントの小さい封止材ほど汎用のスパイラルフローの値で示される流動性は逆に低下する傾向にある。このことは汎用のスパイラルフローの流動性に優れていても狭ギャップ充填性は良くない場合があることを示唆している。

表 2 カットポイントとスパイラルフロー、充填性の関係

フィラー量 (wt%)	86	86	86	86	86		
平均粒径 (μm)	7	7	7	7	7		
カットポイント (μm)	74	55	45	30	20		
スパイラルフロー (cm)	220	200	190	160	120		
未充填率 (%)	ギャップ	70 μm	0.07	0.003	0.003	0.003	<0.001
		40 μm	100	100	6.3	0.2	0.2
		25 μm	100	100	100	14	0.2

平均粒径がそれぞれ異なる封止材の充填性定量評価結果を表 3 に示す。平均粒径が小さいほうが狭ギャップに対する充填性に優れることが確認できる。

表 3 平均粒径と充填性の関係

フィラー量 (wt%)	86	86	86		
平均粒径 (μm)	11	7	5		
カットポイント (μm)	30	30	30		
未充填率 (%)	ギャップ	70 μm	0.007	0.003	<0.001
		40 μm	0.2	0.2	0.07
		25 μm	18	14	0.3

3.2 フィラー量と充填性

フィラーの量が異なる各種封止材において、40 μm ギャップ充填性定量評価の結果を図 5 に示す。

この系では、フィラー量が少ないよりもある程度多いほうが充填性が良い傾向がみられる。

封止材の動粘度はフィラー量が多い場合には高く、少ない場合には低くなる。封止材中のフィラー量と動粘度の関係を図 6 に示す。フィラー量が少なく動粘度が低い場合は、チップ横や上など流路の間隙が比較的大きい部分に先に樹

脂が充填し、狭ギャップ部分への充填が遅れるという流動差が生じやすく、その結果成形終了まで未充填部分が大きく残存してしまうものと推測される。

またフィラーが極端に多い場合は、流動差による未充填ではなく、流動性が著しく低下して狭ギャップ自体に封止材が入って行きにくくなるものと考えられる。図5のカットポイント 20 μm の系では、フィラーが一定量より多くなると逆に悪化する傾向がみられるが、このことが原因であると推測される。また図5においてカットポイント 30 μm の系ではこの現象はみられないが、図6からもわかるように 20 μm の系に比べて同じフィラー量でも動粘度が低く、流動性の著しい低下が起きにくいと考えられる。しかし、さらにフィラー量を多くした場合、20 μm の系と同様に充填性が悪化すると予測される。

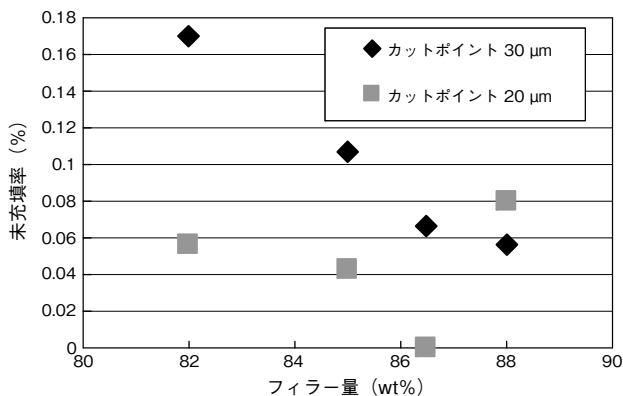


図5 フィラー量と 40 μm ギャップ充填性

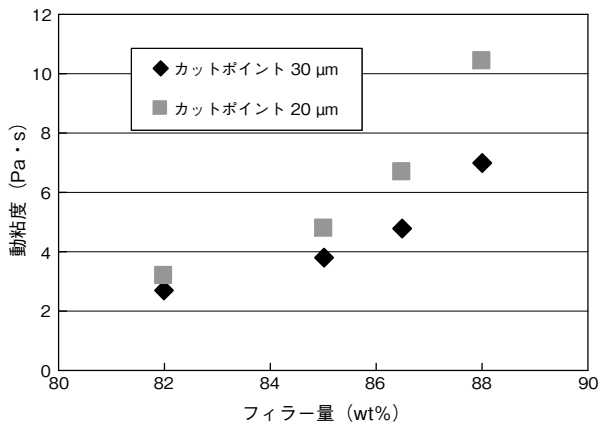


図6 フィラー量と動粘度

3.3 樹脂粘度と充填性

フィラーのカットポイントを 30 μm 、量を 85 wt% で一定にし、粘度の異なる樹脂を用いて作製した封止材について測定した動粘度と 40 μm ギャップでの充填性定量評価結果の関係を図7に示す。

おおむね、粘度の高い樹脂を使用して動粘度を高くした封止材のほうが狭ギャップ充填性は良い傾向にあるが、動粘度がある一定値を超えると逆に悪化する傾向がみられる。

これも前節で記したように、低粘度では流動差が起きるために未充填部分が大きく、また一定値を超えて高粘度になると狭ギャップ自体に入って行きにくくなるためと推測される。

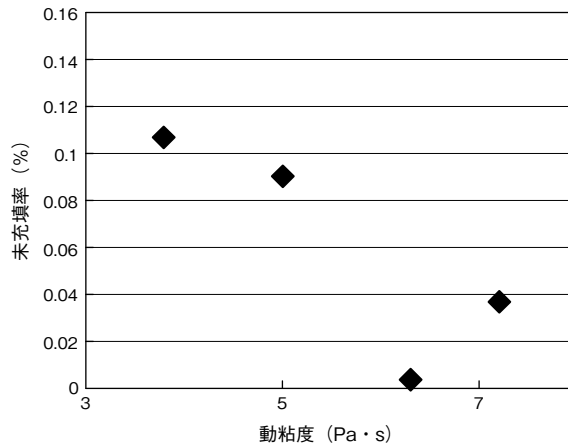


図7 封止材の動粘度と 40 μm ギャップ充填性

3.4 ゲル化時間と充填性

ゲル化時間が異なる封止材の 40 μm ギャップ充填性評価の結果を図8に示す。ゲル化時間が長いほうが、充填性が良いことがわかる。

ゲル化時間とは、封止材が成形機内に投入されてから、金型内で硬化が始まることにより流動しなくなり始める時点までの時間のことである。これが長いほうが流動状態を長く保てるため、狭ギャップ充填性に対しても有利であると考えられる。

ただし、ゲル化時間が極端に長いと成形品の硬化不良の原因となるため、成形条件に応じた設計が必要である。

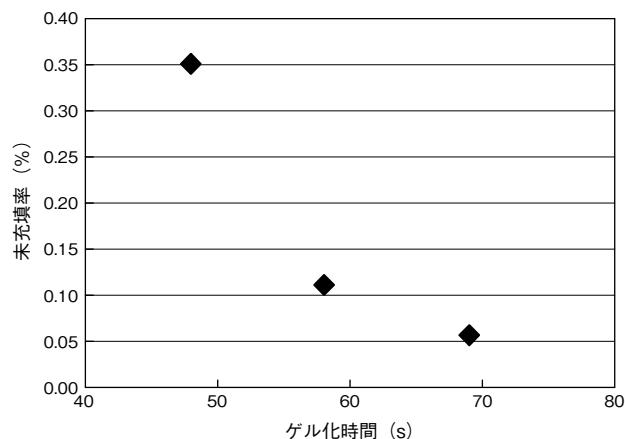


図8 封止材のゲル化時間と 40 μm ギャップ充填性

4. 開発材の特性

当社では、PBGA や FBGA 用の封止材として難燃剤を使用しない「CV8710 シリーズ」を上市している。

筆者らはこの材料系をベースに、フィラーとしてカット

ポイント 30 μm 以下のものを使用し、平均粒径 5 μm かつ流動性を極端に低下させることのないフィラー設計を行った。さらに、動粘度を比較的高くしてゲル化時間を硬化性が維持される範囲で長くできる樹脂配合によって、狭ギャップ対応の MUF 用封止材を実現した。この材料のゲル化時間は、175 $^{\circ}\text{C}$ 、100 秒キュアでの成形に対応可能なものである。一方、フィラーの粒径が小さい場合や量が極端に多い場合、または粘度の高い樹脂を使用する場合は、封止材の流動性が著しく低下してトランスファ成形自体が困難になる問題や、材料作製時の工程である加熱混練が不可能になる問題が生じる。そこで筆者らは、フィラーの粒度分布の改善や樹脂粘度は高いが軟化点は比較的低い樹脂の使用によって、高充填性を維持しながらこれらの問題を解決した。

開発材の基本特性を表 4 に示す。

表 4 開発材の基本特性

	単位	開発材 1	開発材 2
充填材カットポイント	μm	30	20
充填材平均粒径	μm	5	5
スパイラルフロー	cm	150	150
ゲル化時間	s	50	50
動粘度	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	6	7
Tg	$^{\circ}\text{C}$	135	135
吸湿率	%	0.16	0.17

吸湿率：85 $^{\circ}\text{C}$ 、85 %RH \times 72 h

開発材は、FC パッケージにおけるチップ下の充填性に優れる MUF 用封止材であり、現在もっとも厳しい条件とされる 150 μm ピッチ、40 μm ギャップにも未充填部分なく充填可能であることを確認している (図 9)。

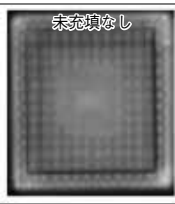

	開発材 1	開発材 2
実装充填性評価 ツール成形品 透過 SAT 画像		
充填性定量評価法 40 μm ギャップ 未充填率 (%)	0.04	0.001

図 9 開発材のチップ下充填性評価結果

5. あとがき

MUF 対応の封止材において、チップ下狭ギャップの充填性がフィラーの粒径や量、樹脂の粘度とゲル化時間に影響されることに着目し、カットポイント 30 μm 以下で平均粒径 5 μm まで小さくしたフィラーを用いてその充填量と樹脂の粘度から動粘度を最適化するとともに、硬化性に悪影響を及ぼさない範囲でゲル化時間を長くする樹脂設計によって、40 μm の狭ギャップに対しても優れた充填性を発現する材料を開発した。

また、同時に開発した狭ギャップ充填性の簡便かつ定量的評価法は、MUF におけるチップ下充填性向上の検討に有効であることが明らかになった。

FC パッケージにおける bumps ピッチの狭小化は今後も進み、これに従ってチップ下のギャップもさらに狭くなっていくものと考えられる。MUF 用の封止材にも FC 下への一層高レベルの充填性が求められることになるが、本技術が今後の MUF 用封止材の高充填性化に活かされるものとする。

*参考文献

- 1) 中村 正志：先端半導体用封止材料の技術動向，パナソニック電工技報，Vol. 56, No. 4, p. 9-16 (2008)
- 2) 2007 年度版日本実装技術ロードマップ (JJTR)，社団法人 電子情報技術産業協会
- 3) 辻 隆行，明石 隆宏，中村 正志：高信頼性ファインピッチ PBGA 用封止材料，パナソニック電工技報，Vol. 56, No. 4, p. 63-68 (2008)

◆執筆者紹介



明石 隆宏

電子材料 R & D センター



續 貴徳

電子材料 R & D センター



辻 隆行

電子材料 R & D センター



中村 正志

電子材料 R & D センター