

高信頼性ファインピッチPBGA用封止材料

High Reliability Epoxy Molding Compound for Fine-Pitch PBGA

辻 隆行* ・ 明石 隆宏* ・ 中村 正志*

Takayuki Tsuji

Takahiro Akashi

Masashi Nakamura

半導体用封止材料において、低粘度かつ成形後のパッケージ反りの少ない樹脂構造の検討と、充填材の粒度分布にも着目することにより、反りが少なく、細線ワイヤに対しても変形の少ない、高信頼性のファインピッチ PBGA 対応のトランスファ成形用封止材料を開発した。また高流動性封止材料に対応する粘度評価法を確立し、粘度とワイヤ変形の相関を検証して開発の指標とすることにより、充填材がワイヤ変形に与える影響を明らかにした。さらに Si チップへの密着力向上により、パッケージの吸湿処理とリフロー処理後の温度サイクルによる不良発生の低減を可能としている。

In the area of molding compound for semiconductor packages, a new high-reliability compound for the transfer molding of fine-pitch PBGA with reduced warpage and internal wire deformation has been developed by studying the resin structure that suppresses warpage after molding using reduced viscosity, and controlling the grain size of filler material. In addition, the effect of filler material on wire deformation has been identified by establishing a viscosity evaluation method suited for high flow-rate molding compound and verifying the relationship between the viscosity and wire deformation. The developed molding compound provides increased adhesion to silicon chips, thereby reducing moisture absorption and resulting failures in the temperature cycle after a reflow process.

1. ま え が き

近年、ゲーム機、パーソナルコンピュータ、テレビジョンなどのデジタル家電や通信機器用の高性能半導体パッケージとして、多ピンに対応した BGA (Ball Grid Array) が広く採用されている。とくにトランスファ成形によってエポキシモールド封止材料でパッケージングされた PBGA (Plastic BGA) は、量産性に優れ低コストであることから、民生用途において主流となっている。また高性能の半導体では稼働時に発生する熱が問題となるため、熱放散性のためにヒートスラグが取り付けられた TE-PBGA (Thermally Enhanced PBGA) も多く使われている。これらの代表的な構造を図 1 に示す。

半導体の高性能化に伴ってパッケージの端子数は増え、Si チップと基板間を電氣的に接続する金ワイヤの狭ピッチ化が進んでいる。このワイヤボンディング技術のロードマップを表 1 に示す。

現在、トランスファ成形による PBGA では、単列でパッドピッチ 45 μm のものが量産されており、さらにファイ

ンピッチのパッケージの開発が進んでいる。狭ピッチ化に伴って金ワイヤの細線化も進んでおり、現在 18 μm のものが量産段階にある。40 μm ピッチ PBGA のチップ側ボンディング部の例を図 2 に示す。

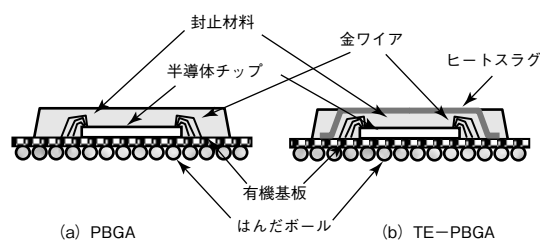


図1 代表的なPBGAの構造

表1 ワイヤボンディング技術のロードマップ

年	2006	2008	2010	2012	2014	2016
最小パッドピッチ (単列) (μm)	40	35	35	30	30	25
代表的ワイヤ径 (μm)	18	15	15	12	12	10

出典：2007 年度版 日本実装技術ロードマップ

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

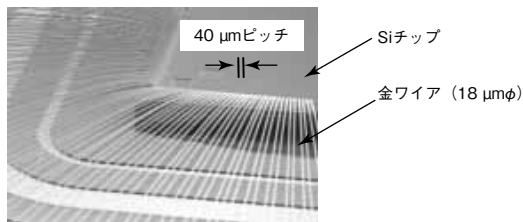


図2 40 μmピッチPBGAボンディング部

トランスファ成形では、Siチップを実装してワイヤボンディングを施した基板を175℃前後の金型にセットし、ここに封止樹脂を注入、硬化させてパッケージングしているが、ワイヤが細くなるにつれて樹脂注入時の流動によりワイヤ変形を起こしやすくなる。このワイヤ変形は端子間の短絡や断線の原因となるため、極力抑える必要がある。

またPBGAはパッケージの片面のみが樹脂封止された非対称な構造であるため、成形後に反りが発生しやすい^{1), 2)}。反りは封止後のパッケージ製造工程や実装工程で問題となるため、これも小さく抑える必要がある。

このようにファインピッチPBGA用の封止材料には、細線ワイヤでも変形を起こさない高流動性とパッケージの反りを抑えることの両立が要求され、従来の封止材料では対応が難しくなっている。同時に耐リフロー性、耐温度サイクル性といったパッケージとしての信頼性確保も封止材料には要求されている。

以上のことから筆者らは、常温での反りおよびリフロー実装時の反り変動低減の方向性を明確化するとともに、流動性の高い封止材料の粘度測定方法を確立して樹脂の低粘度化による高流動化を行う。また充填材の粒度分布調整によるワイヤ変形を低減する技術の開発を行う。さらに温度サイクル性の向上も行い、最先端のファインピッチPBGAに対応する封止材料を開発したので報告する。

2. PBGAの反り

2.1 反りの発生要因

反りは封止材料、有機基板、Siチップなどの構成材料の膨張・収縮挙動の違いにより発生する。PBGAではチップに対して封止材料の占有体積が大きいため、反りは主に封止材料と有機基板の膨張・収縮挙動に支配される。

PBGA用封止材料は、質量分率で80～90%の主に球状溶融シリカなどの充填材、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、顔料、離型剤などにより構成される。使用される樹脂の構造例を図3に示す。

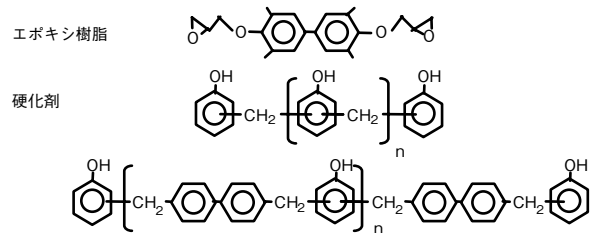


図3 PBGA用封止材料で使用する樹脂構造の例

封止材料は、成形工程で175℃前後の金型に注入され、エポキシ樹脂と硬化剤の架橋反応により硬化する。その後、パッケージは金型から取り出され常温まで冷却される。この過程で封止材料は硬化反応と冷却により収縮し、有機基板は冷却のみにより収縮する。両者の収縮量の差によって発生する応力でパッケージに反りが発生するが、通常は封止材料側の収縮のほうが大きいため、封止面を上にして凹の方向に反る。この反り発生の概念図を図4に示す。

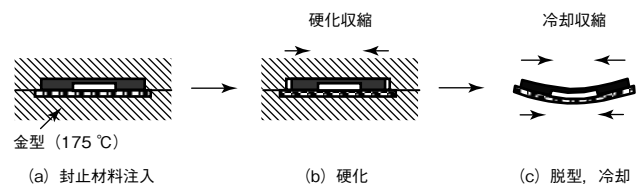


図4 成形後の反り発生概念図

その後はパッケージの昇降温で膨張、収縮する。温度による膨張・収縮挙動は構成材料によって異なるため、成形後の温度によっても反りは変化する。

2.2 常温での反り

35 mm角PBGA(封止サイズ:29×29×1.17 mm, チップサイズ:8×9×0.35 mm, 基板厚み:0.50 mm)を用いて常温での反りの評価を行う。成形、後硬化後にはんだボール実装リフローに相当する熱処理を行い、封止面の反り量を表面粗さ計により測定する。封止材料の成形収縮率は、JIS K6911に基づき測定する。測定した封止材料の成形収縮率とPBGAの反りの関係を図5に示す。

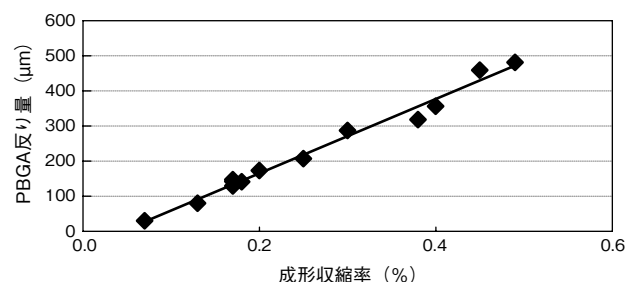


図5 成形収縮率とPBGA反り量(常温)の相関

成形収縮率を低減するためには、樹脂硬化物の①ガラス転移温度 (T_g) を上げること、②線膨張係数を小さくすることが効果的な手段である。 T_g を上げるには樹脂の架橋密度を上げる、線膨張係数を小さくするには充填材比率を上げることが有効である。しかし架橋密度を上げることは、樹脂の吸湿率が高くなって吸湿リフロー時の信頼性を悪化させるため、充填材の量に着目した材料の評価を行う。

充填材量を変えて試作した材料の特性を表 2 に示す。

表 2 試作封止材料の充填材量と諸特性

項目	単位	A	B	C	D
充填材量	wt%	87	88	89	90
α_1	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	10	9.2	8.6	8.2
α_2	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	41	38	35	31
成形収縮率	%	0.21	0.17	0.14	0.12
PBGA反り (RF後)	μm	117	92	69	39

α_1 : T_g 以下での線膨張係数
 α_2 : T_g 以上での線膨張係数

充填材量を増やすほど、線膨張係数と成形収縮率は低下している。これは、樹脂硬化物の線膨張係数が $70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、充填材として用いているシリカの線膨張係数が $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と非常に小さいためである。充填材量の増加とともに成形収縮率は低下し、常温での PBGA 反りも小さくなることが確認できる。

2.3 温度によるパッケージ反り変動

組み立てられた PBGA は、一般にリフロー炉を用いて基板に実装されるが、このときの温度変化によって反りの状態が変動し、変動幅が大きいと接続不良を起こす原因となる。またパッケージが大きく、ボールピッチが狭くなるほど、反り変動の低減が重要になる³⁾。そこで充填材量の異なる 2 種類の材料で PBGA を作製し、温度変化による反りの挙動を測定する (図 6)。

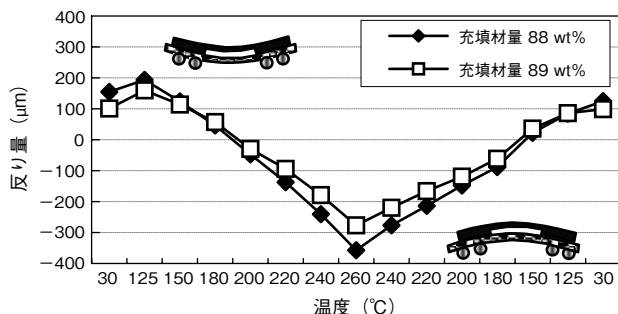


図 6 温度変化に伴う PBGA の反り量

構成材料の粘弾性特性が反りに影響を与えることも報告されており^{4), 5)} 挙動は単純ではないが、封止材料と基板の熱膨張と収縮挙動を近づけることで反り変動を小さくすることができる。封止材料の T_g 以上では、線膨張係数 α_2

が基板の線膨張係数 ($10 \sim 15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) と比べ非常に大きくなるため、温度の上昇とともに反りは成形面を上にして凸方向に急激に変化する。充填材量の多い封止材料では α_2 が小さいため、この温度域での反り変動幅をより小さく抑えることができる。

以上のように PBGA 反りの低減には、充填材量を増やすことが有効であることがわかる。

3. ワイヤ変形の低減

金型への封止材料注入時、その流動の影響を受けて金ワイヤの変形が起こる。変形量が大きい場合、ワイヤタッチによるショートやワイヤ切れが発生する危険性がある。したがって、封止材料には低反りであるとともにワイヤ変形を抑制する高流動性が求められる。とくに TE-PBGA では、チップと放熱板下面の間隔がその周囲と比べて狭いことから不均一な流動となりワイヤ変形を起こしやすいため、さらに高い流動性が求められる。

3.1 充填材量とワイヤ変形

表 2 の封止材料 A ~ D を用い、金ワイヤをボンディングした 35 mm 角 PBGA を成形してワイヤ変形量进行评估する。金ワイヤの径は 20 μm 、長さは 5 mm、ループ高さは 350 μm 、ワイヤパッドピッチは狭ピッチ部で 65 μm の千鳥である。ワイヤ変形の例を図 7 に、測定結果を図 8 に示す。充填材量の増加に伴い、ワイヤ変形率は大きくなることを確認できる。

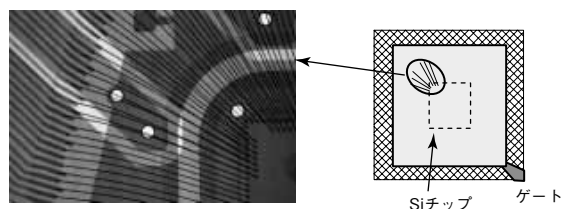


図 7 ワイヤ変形の例

封止材料を粘性体として捉えると、ワイヤは流動する封止材料の粘性による力を受けるため、これがワイヤ変形の原因と考えられる。封止材料の粘性がワイヤに与える影響は流動シミュレーションでも検討されており⁶⁾、ワイヤが受ける力は封止材料の動粘度と流速の関数となる。充填材量の増加によるワイヤ変形率の上昇は、封止材料の動粘度の上昇に伴うものと考えられる。

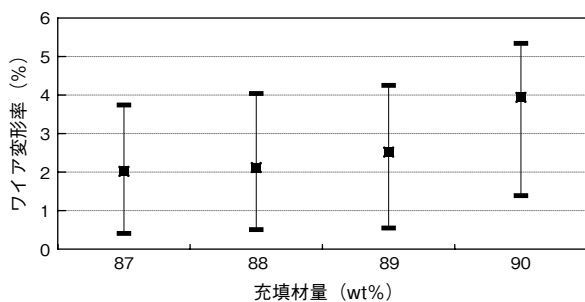


図8 充填材量とワイヤ変形率

3.2 封止材料の動粘度とワイヤ変形率

従来、封止材料の熔融粘度測定方法として高化式フローテストが用いられているが、これは封止材料に一定の荷重を掛けてその吐出量を測定する方法のため、流動性の高い材料では短時間で吐出され評価が難しい。また、剪断速度が実際のキャビティー内における封止材料の流動と比べると非常に大きいという問題もある。一方、回転型粘度計による評価も行われているが、測定に時間が掛かり、実成形温度では急速に硬化反応が進み、30～50秒程度でゲル化する封止材料では安定した測定が難しい。

そこでキャビティー内の封止材料の流動に近い形状で粘度を測定できる動粘度測定用スリット金型を作製し、封止材料の動粘度評価に使用する（図9）。

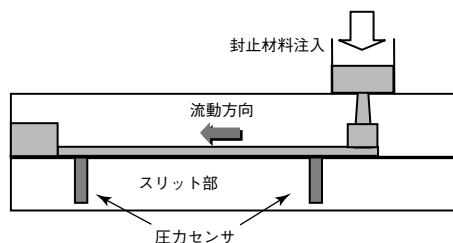


図9 動粘度測定用スリット金型

金型に封止材料を一定速度で注入し、二つの圧力センサで封止材料に掛かる圧力を測定する。スリット厚みは0.4 mm のものを使用し、動粘度 η は以下の式を用いて算出する。

$$\eta = \frac{WD^3}{12LQ} \Delta P \quad (1)$$

W：スリット幅 Q：封止材料流量
D：スリット厚み ΔP ：センサ間の検出圧力差
L：圧力センサ間距離

この方法によって、流動性の高い封止材料でも動粘度を安定して測定することが可能である。

3.3 封止材料の低粘度化によるワイヤ変形率低減

粘度の異なる各種の封止材料について、スリット金型を使って測定した動粘度とワイヤ変形率の関係を図10に示す。

ワイヤ変形率は、動粘度の低下とともに小さくなる傾向にあることが確認できる。

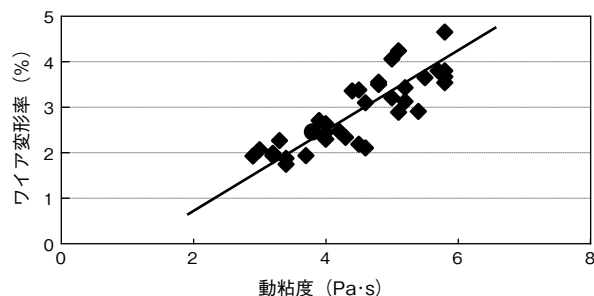


図10 封止材料の動粘度とワイヤ変形率

ワイヤ変形率改善のため、低粘度の樹脂による封止材料の動粘度の低減を検討する。充填材量は88 wt%とし、低粘度の結晶性エポキシ樹脂と低分子量のフェノール硬化剤を使用する。これらの材料を用い、動粘度とPBGA反りを測定し、その結果を図11に示す。

低粘度の樹脂を使用することで封止材料の動粘度は低下するが、同時にPBGA成形時の反りも大きくなる傾向となり、この間にはほぼ直線関係がみられる。これは、硬化物の架橋密度が低下することで封止材料硬化物のT_gが低下し、成形収縮が大きくなることによるものといえる。しかし、樹脂の選定によって若干ではあるがこの傾向から外れ、低粘度、低反りとなる系を見いだすことができる。このような系では、樹脂骨格の構造によって硬化物の分子運動が拘束され、成形収縮率が高くなることによる反りの増大が抑えられるものと考えられる。

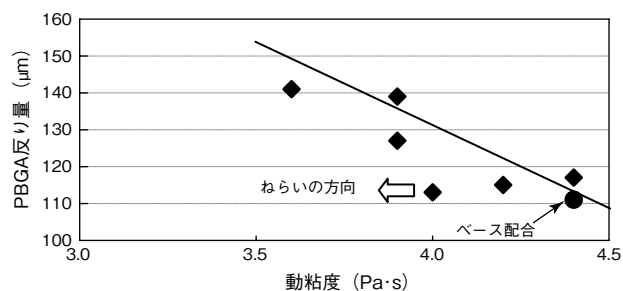


図11 低粘度検討材の動粘度とPBGAの反り量

3.4 充填材粒度分布とワイヤ変形率

充填材の挙動がワイヤ変形に影響を与えることも指摘されている^{7), 8)}。そこで樹脂組成、充填材量が同じで充填材の粒度分布が異なる8種の封止材料を作製し、動粘度とワイヤ変形率の評価を行う。

図12に結果を示すが、低粘度ほどワイヤ変形率が小さくなるという相関はみられない。これは、動粘度以外に粒度分布などがワイヤ変形率に影響を与える可能性を示唆している。

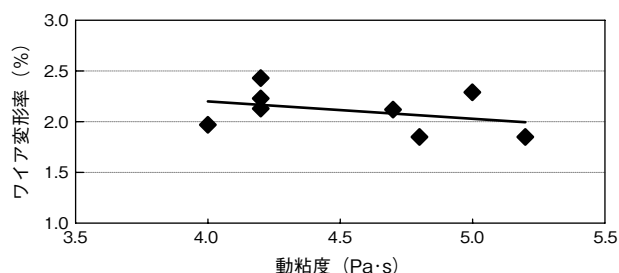


図12 充填材粒度分布が異なる封止材料の動粘度とワイヤ変形率

そこで、充填材の粒度分布の指標として、平均粒径およびワイヤ径に相当する $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の充填材の比率に対してワイヤ変形率をプロットした結果を図13に示す。

充填材平均粒径とワイヤ変形率の間には明確な相関はみられないが、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の充填材の比率が増えるほどワイヤ変形率が大きくなる傾向がみられる。これらの結果から、ワイヤ変形には単に封止材料の粘性による力だけでなく、粒径の大きな充填材の動きによる影響もあると考えられる。ファインピッチ PBGA 用封止材料には、動粘度を低くするばかりでなく、大粒径の充填材による影響を小さくする粒度分布の検討が必要である。

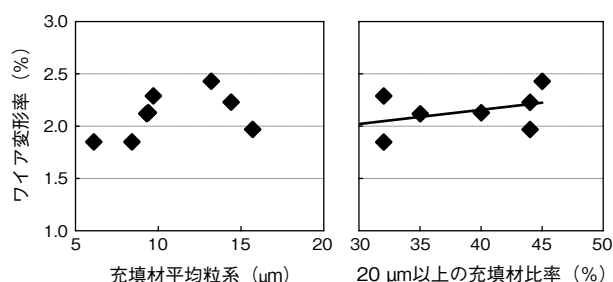


図13 充填材粒度分布指標とワイヤ変形率

4. 耐温度サイクル性

PBGA はリフロー工程により基板へ実装されるが、鉛フリーはんだを使用する場合、 $250\sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ の高温にさらされる。したがって、このときに剥離などの不良が発生しない耐熱性を要求される。また、低温状態、高温状態を繰り返しても不良が発生しない耐温度サイクル性も求められる。

これらの性能評価に際しての不良モードとしては、封止材料と Si チップや基板との剥離がある。そこで筆者らは密着性の向上を図るため、封止材料の樹脂成分に極性を有する構造部を付加した材料を開発した。この材料と Si チップの界面破壊強度を剪断試験により測定した結果を図14に示す。窒化膜の施された Si チップの表面に封止材料を角柱型に成形し、後硬化後に吸湿処理とリフロー処理を行っている。開発した封止材料の界面破壊強度は、比較材に比べて高くなっていることから、密着性が向上していることがわかる。

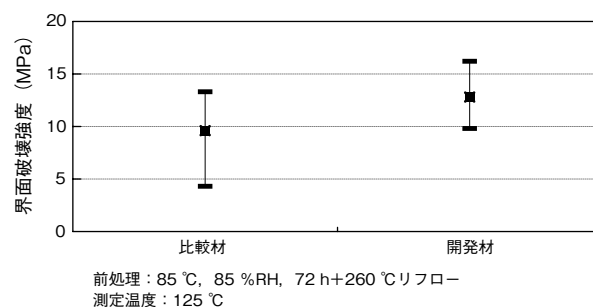


図14 界面破壊強度の比較

次にこれらの封止材料を用いて PBGA を成形し、吸湿処理とリフロー処理の後、温度サイクル試験を行う。ここでの Si チップは同じく窒化膜の施されたものを使用している。評価後のパッケージの SAT (超音波探査装置) 画像を図15に示す。

比較材ではチップコーナ部に微小な剥離が発生しているのに対し、密着向上材では剥離は確認されない。すなわち、封止材料と部材との密着性を向上することにより、パッケージの耐リフロー性と耐温度サイクル性の向上が可能であるといえる。

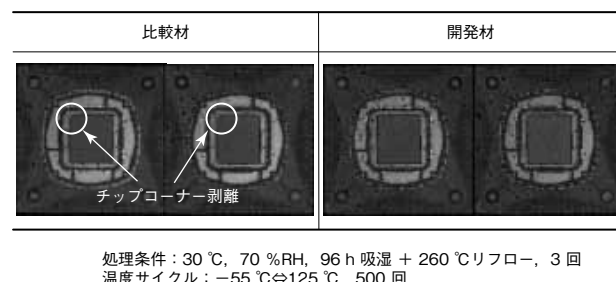


図15 温度サイクル試験の結果

5. 開発材の特性

当社では、PBGA、FBGA 用の封止材料として難燃剤を使用しない「CV8710 シリーズ」を上市している。このなかでも PBGA 用途として使われる封止材料の特性を表3に示す。開発材は、流動性と信頼性に優れ、回路幅 $90\text{ }\mu\text{m}$ 以下の Low-k 膜チップ、 $45\text{ }\mu\text{m}$ パッドピッチの先端 PBGA や TE-PBGA に対応できる。

表3 ファインピッチ PBGA 対応封止材料の特性

項目	単位	従来材		ファインピッチ対応開発材	
		標準タイプ	高流動タイプ	標準タイプ	高流動タイプ
充填材量	wt%	90	89	89	88
α_1	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	8.0	8.5	9.0	10
α_2	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	30	35	35	39
成形収縮率	%	0.14	0.15	0.15	0.17
PBGA 反り	μm	100	140	110	140
ワイヤ変形率	%	3.1	2.3	2.0	1.7

6. あ と が き

半導体用封止材料において、低粘度かつ成形後のパッケージ反りを悪化させない樹脂構造の検討と、充填材の粒度分布にも着目することにより、反りが少なく、細線ワイヤに対しても変形の少ない、高信頼性のファインピッチ PBGA 対応のトランスファ成形用封止材料を開発した。また高流動の封止材料に対応する粘度評価法を確立し、粘度とワイヤ変形の相関を検証して開発の指標とすることにより、充填材がワイヤ変形に与える影響を明らかにした。さらに Si チップへの密着力向上により、パッケージの吸湿、リフロー後、温度サイクルによる不良発生率の低減を可能とした。

金ワイヤのファインピッチ化、細線化はロードマップに示されるように今後とも進み、封止材料にもさらに高いレベルの流動性と低反り性が求められているが、これらの技術が、今後の先端半導体の封止材料技術に生かされていくものと考えている。

*参考文献

- 1) 中村 正志：先端半導体パッケージ用封止材料の技術動向，松下電工技報，Vol. 54, No. 3, p. 11-16 (2006)
- 2) 辻 隆行：薄型片面封止パッケージにおけるエポキシ封止材料の低反り化技術，ネットワークポリマー，Vol. 21, No. 3, p. 141-146 (2000)
- 3) Hiroshi Kawakubo：An examination of BGA's acceptable warpage at high temperature, The Eighth VLSI Packaging Workshop in Japan, p. 85-88 (2006)
- 4) 雨海 正純：Chip Scale Package Solder Joint Reliability Modeling and Material Characterization，エレクトロニクス実装学会誌，Vol. 3, No. 1, p. 45-56 (2000)
- 5) 三宅 清：BGA パッケージの硬化収縮を考慮した反り熱粘弾性解析，エレクトロニクス実装学会誌，Vol. 7, No. 1, p. 54-61 (2004)
- 6) 増田 篤：流動シミュレーションを用いた半導体封止工程に於ける金線変形の予測，成形加工，Vol. 12, No. 7, p. 432-434 (2000)
- 7) 吉原 忠史：樹脂封止 IC におけるワイヤ流れに及ぼすモールド樹脂の影響，電子情報通信学会論文誌 C- II，Vol. J82-C- II，No. 1, p. 7-12 (1999)
- 8) 大見謝 和人：ワイヤ流れに及ぼす封止材用樹脂内フィラ粒度分布の影響，エレクトロニクス実装学会誌，Vol. 7, No. 3, p. 266-270 (2004)

◆執筆者紹介



辻 隆行

電子材料 R & D センター



明石 隆宏

電子材料 R & D センター



中村 正志

電子材料 R & D センター