

内田 健
K. Uchida

沢井 和弘
K. Sawai

実装の高密度化のトレンドにより、半導体パッケージのデザインは表面実装タイプが主流になっている。パッケージ材料にとっては、実装プロセスでの高温雰囲気にも耐えることが素子の信頼性確保のうえでの絶対条件である。

当社は、すでに耐熱骨格のエポキシ樹脂を導入した表面実装対応封止樹脂を開発しているが、素子の大型化に伴い、いっそうの性能向上が求められている。これに対する材料技術としては、①ビフェニル骨格をベースとする新規レジジンシステムを導入してパッケージを大幅に低吸水性化すること、②マレイミド樹脂を適用し、エポキシ樹脂系では到達できない領域にまで耐熱性を向上させること、が有望と考え現在開発を進めている。

As a result of the trend toward growing use of surface mounting technology for the mounting process of electronic devices, semiconductor packages are being subjected to high temperatures during the soldering process. By increasing the heat resistance of resin, we have commercialized molding compounds to meet such requirements for semiconductor encapsulation. Moreover, as semiconductor die chips are designed that are larger in size, stricter demands are placed on the molding compounds used.

This paper describes some of our new compounds under development. These are (1) a compound using a biphenyl type of epoxy resin for decreasing moisture absorption, and (2) a compound using maleimide resin for increasing heat resistance.

1 まえがき

半導体封止樹脂は、素子を直接包み込んで内部を保護するもので(図1)、樹脂の性能はデバイスの信頼性に大きく影響する。近年の半導体デバイスは、電子機器の小型・軽量化の流れから、回路基板への実装密度を高めることが強く要求されてきている。そのためパッケージのデザインは自動化が容易で高密度実装が可能な表面実装タイプが主流になっている。この場合、はんだリフロー工程においてパッケージ全体が高温雰囲気さらされ、このときパッケージ内部に取り込まれた水分が急激に気化し、生じた水蒸気圧でパッケージにクラック(リフロークラック)が発生することがある。

ここでは、このリフロークラックを防ぐため、われわれが現在検討している二つの新しい樹脂系を適用した封止樹脂の開発状況について述べる。

2 リフロークラック

表面実装法が大型素子のデバイスに適用されるようになって以降、このクラックの問題は樹脂開発技術者、アッセンブリ技術者にとって最重要な課題であるが、現在までのところ決定的な解決策はない。

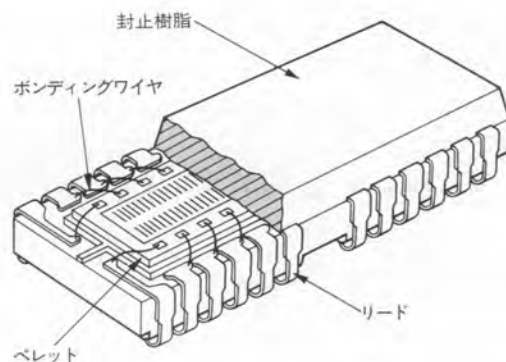


図1. 樹脂封止半導体パッケージ 封止樹脂は半導体素子を直接包み込んで内部を保護する。

Semiconductor device mounted in plastic package

クラック発生メカニズムのモデル(図2)から明らかのように、クラックを防ぐための樹脂側からの対応としては次のことが有用である。①パッケージ内の水分を低下させる、すなわち樹脂の吸湿性・透湿性を低く抑える、②発生する水蒸気圧に耐えるだけの接着強度・破断強度を高温下で樹脂に付与する。

すでに、当社では高温下での強度特性を向上させた耐リフロー性材料 KE-2000 シリーズを開発・上市している⁽¹⁾。KE

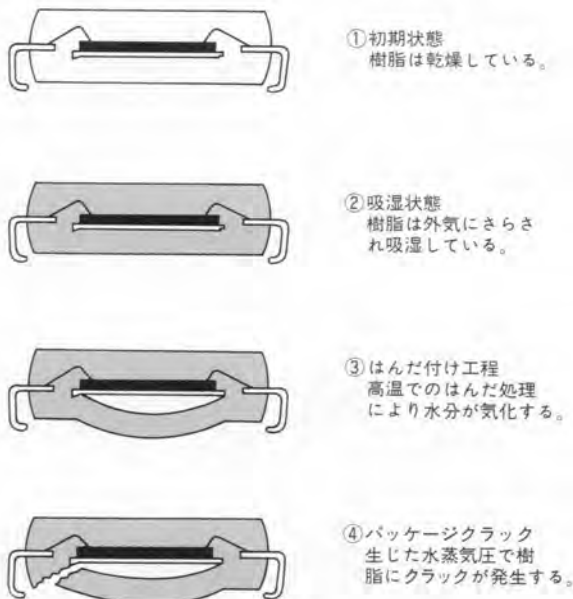


図2. 表面実装工程でのクラック発生メカニズム 吸湿したパッケージが高温にさらされるとき、水分が気化して生じた蒸気圧がクラックを引き起こす。

Mechanism of crack formation at surface mount

-2000 シリーズは、一般に用いられているクレゾールノボラック型エポキシ樹脂/フェノールノボラックのマトリックス樹脂に替え、耐熱骨格構造のエポキシ・フェノールを採用した。これにより耐熱性の目安であるガラス転移温度を従来材に比べ約 40°C 高くでき強度が上がった。一方、ビフェニルエポキシをベースとした KE-2500 シリーズは、従来材に比べ吸湿量を約 1/2 まで低減し、熱応力を下げて高接着化を達成した。

これらの樹脂は、従来材に比べ耐リフロック性が大幅に改良されている。しかし、パッケージの多様化・高集積化に伴う素子の大型化および加熱方式の変更（ペーパーフェイズ → IR・エア）によるリフロー温度の上昇などから、さらにレベルアップが必要な状況になってきている。

3 ビフェニル型エポキシ樹脂の導入

図3に示すビフェニル骨格をもつエポキシ樹脂は、その構造から次のような特異な性質を示す。

- (1) モノマーが主成分であり溶融粘度がきわめて低い 封止樹脂は充填(てん)剤としてのシリカとエポキシ樹脂とを主成分とする典型的な複合材料である。無機材料であ

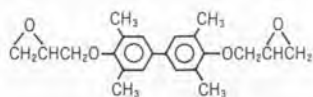


図3. ビフェニル型エポキシ樹脂の構造 溶融粘度が低く、骨格が平面構造で結晶化しやすい特性をもつ。

Structure of biphenyl type epoxy resin

るシリカは水を吸わないため、樹脂成分は少なければ少ないほど複合体の吸水率は小さくできる。一方、封止樹脂は成形時に流れて金型に充填させるため、ある程度の流動性が必要であるが、複合体の粘度は樹脂成分が少ないほど増加する。しかし、樹脂自体の溶融粘度が低ければシリカの配合割合を上げることができる。

粘度がきわめて低いビフェニル型エポキシ樹脂を導入すれば、シリカを高充填することができ、その結果封止樹脂の吸水率を大きく低減することができるようになる。

- (2) 骨格が平面構造で結晶化しやすい ビフェニル骨格特有の性質として、構造の平面性が挙げられる。同じ2官能であるビスフェノール A タイプのエポキシ樹脂の場合は二つのベンゼン環が角度をもってセンタの炭素に結合し、しかも自由に回転する。これに対しビフェニル骨格の場合は、ベンゼン環どうしのπ共役により二つの環が同一平面上に並ぶ。そのため分子の積層が比較的容易に起こり、マトリックス中に部分的な結晶構造を作りやすい(図4)。もともと結晶性のポリマーの中には水分が入り込みにくいことから、このような部分結晶構造を含むと思われるビフェニル系のマトリックスでは吸湿性・透湿性を低いレベルに抑えることができる。

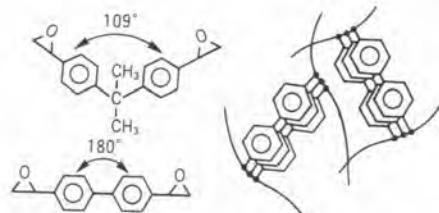


図4. ビフェニル型エポキシ樹脂の部分結晶化 ビフェニル型エポキシ樹脂は骨格が平面構造のため結晶化しやすい。
Partial crystallization of biphenyl epoxy resin

このようにビフェニル型エポキシ樹脂は“パッケージ内の水分濃度を減少させる”という観点からきわめて優れた特性をもつため、耐リフロー性封止樹脂のマトリックス要素として新たな地位を獲得しつつある。当社でも開発を進めており、すでに一部は実用化している(KE-2500 シリーズ)。現在は、リフロックを防ぐのに望ましい方向であるシリカの高充填化(図5)を中心に、硬化剤、触媒などについての検討を通してさらに高性能な材料を目ざしている。

表1に開発材料の特性を示す。開発品は粒度をくふうした球状シリカをコンパウンド全体の約 90 wt% 配合しており、吸水率を極端に低下させることに成功している。このため耐リフロック性を大きく向上させることができた。問題はマトリックス樹脂の分子量が小さいため、良好な成形性(パッケージ内部のボイド、金型からの離型性)を確保しにくい点で、

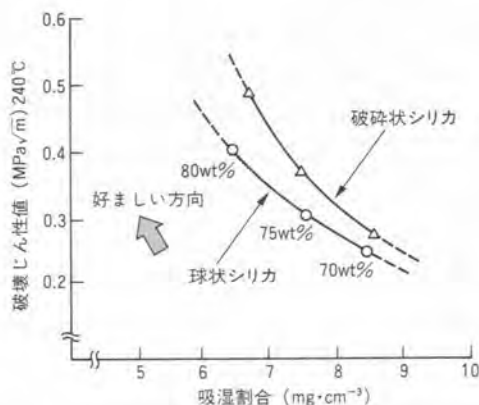


図5. フィラー高充填化の効果 充填割合が増すと吸湿が減少し高温での機械特性が向上する。

Effects of high filler content

表1. 開発材料の特性

Properties of newly developed materials

特性項目	従来製品		開発材料	
	低応力封止材	高耐熱封止材	ビフェニル系	ポリイミド系
スパイラルフロー(cm)	85	85	80	85
溶融粘度(Pa·s)	25	25	25	20
曲げ強さ(MPa)	室温	142	128	190
	240°C	18	20	25
曲げ弾性率(GPa)室温	12.6	11.6	26.3	23.5
ガラス転移温度(°C)	160	200	120	220
熱膨張係数(1/°C)×10 ⁻⁵	1.7	1.5	0.8	1.2
吸水率(ppm)85°C, 85%	4,600	4,400	2,300	4,400
リフロークラック発生有無85°C, 40%	クラック	無	無	無
QFP 18mmチップ85°C, 85%	クラック	クラック	無	無

QFP: Quad Flat Package

コンパウンドメーカーは対策に苦慮している。

当社ではレジシステム、離形剤、その他の添加剤を相互に調整することにより、小型・薄型パッケージだけでなく、大型パッケージに対しても十分な成形マージンを得ることに成功した。

4 マレイミド樹脂の導入⁽²⁾

高温での機械特性を向上させて、リフロー時のクラックを防ぐことを目的に、付加型のポリイミド樹脂、すなわちマレイミド樹脂を導入した封止樹脂が検討されている。

4.1 ジアミンを硬化剤とするマレイミド封止樹脂

ジアミン化合物を硬化剤とするマレイミド樹脂は、耐熱性に優れた硬化物を与え、過酷な実装工程に耐えられることが期待できるため、まずこのタイプの樹脂が検討された(図6)。

しかし、もともとマレイミド樹脂は吸水率が高く、さらにこの場合、ジアミン硬化剤が極性の強い化合物であることから、素子上のアルミ配線が腐食しやすい傾向があった。すな

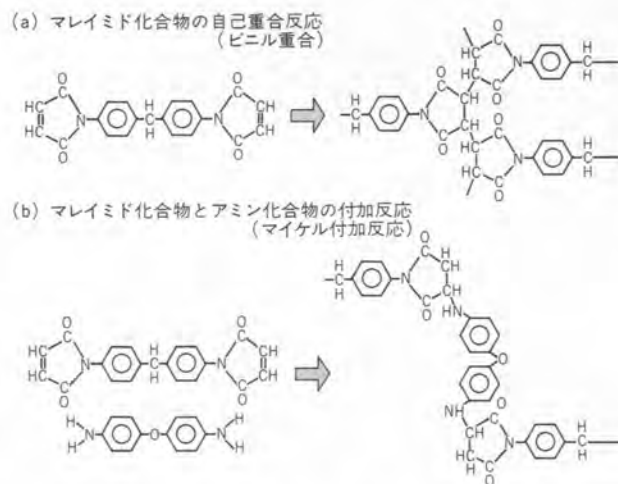


図6. マレイミド樹脂の硬化反応 ジアミン化合物を硬化剤とするマレイミド樹脂は耐熱性に優れる。

Curing reaction of maleimide resin

わち、このタイプのマレイミド樹脂には、封止樹脂の基本的な要求性能である耐湿信頼性が劣るという欠点があり、これが克服すべき最重要課題であった。検討の結果この点に関しては、マレイミド樹脂の高純度化およびマレイミド・ジアミンの構造を限定することで求められる耐湿信頼性レベルをクリアすることができた(図7)。しかし、実用化の観点からは、硬化に時間がかかる、金型からの離型が良くないといった作業性上の性能に課題を残す結果となった。

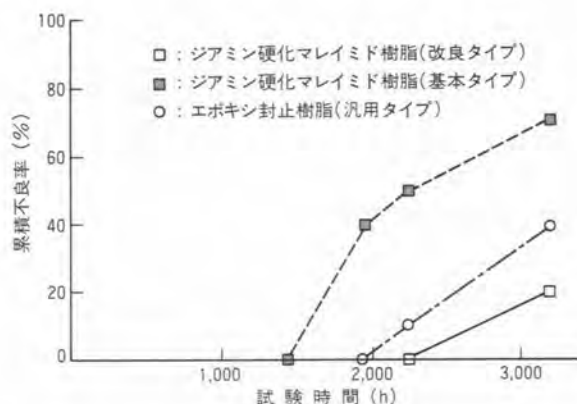


図7. ポリイミド封止樹脂の耐湿信頼性 樹脂の高純度化および構造の限定により信頼性が向上した。

Results of reliability test of polyimide encapsulation resin

4.2 フェノール樹脂・エポキシ樹脂との複合化

4.1節で述べたジアミン化合物を硬化剤とするマレイミド樹脂の欠点(成形性)を改良するために検討を進めた結果、マレイミド樹脂-フェノール樹脂-エポキシ樹脂の3元系が耐熱性と良好な成形性を両立させる組成であることがわかった。

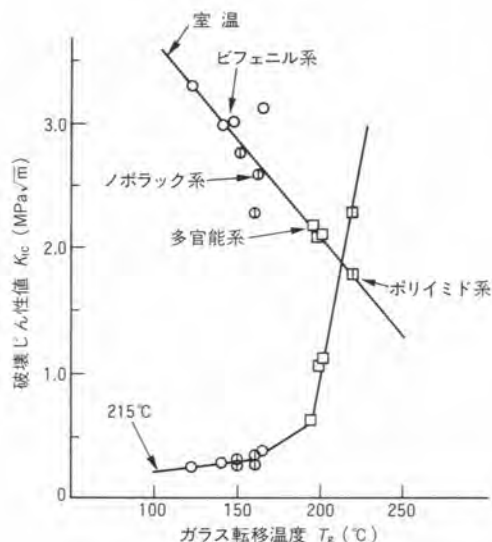


図8. 封止樹脂のガラス転移温度と破壊じん性値
樹脂の破壊じん性値とガラス転移温度の間には良い相関がみられる
Dependence of fracture toughness on glass transition temperature

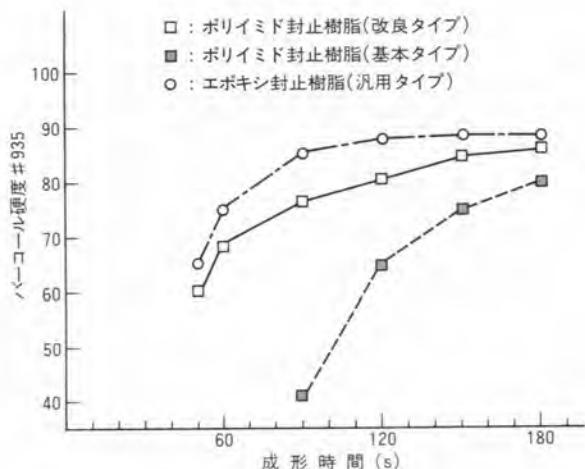


図9. ポリイミド封止樹脂の硬化性
ポリイミド封止樹脂は現行エポキシ樹脂に比べて成形時間が長い。
Curing behavior of polyimide encapsulation resin

特に主マトリックス樹脂としてエポキシフェノールを選んだとき、および化学当量よりも多くのフェノール樹脂を加えたときに優れた成形性を示すことがわかった。金属表面と強い相互作用を示すマレイミド骨格中のカルボニル基を、離型性に優れたフェノール樹脂骨格が分離しているためであろう。また、マレイミド樹脂にフェノール樹脂の水酸基がマイケル付加している証拠が得られず、マレイミド樹脂の自己重合とエポキシ樹脂とフェノール樹脂の付加重合が独立して進んでいることが考えられる。

このようにして改良したマレイミド封止樹脂開発材料の性能を表1に示す。開発材料は高温での機械特性に優れ、耐リ

フロックラック性評価でも良好な結果を得た。この改善効果を裏付けるデータとして高温での破壊じん性値を測定した結果を図8に示す。樹脂のガラス転移温度と破壊じん性値の間に良い相関がみられ、高いガラス転移温度のマレイミド樹脂の耐リフロー性に対する優位性が確認できた。

問題は、汎(はん)用のエポキシ封止樹脂と比べるとまだ成形時間が長い点である(図9)。実用化のためには、封止樹脂に適した硬化系を選択できるように、複雑なマレイミド樹脂の反応を解明してゆくことが必要である。

5 あとがき

ここで述べた2種類の樹脂材料は、はんだリフロー時のパッケージクラックを防いでデバイスの信頼性を確保できる封止樹脂を構成する要素としてきわめて有用である。今後は実用化に向けての検討を進めてゆく。特に、ビフェニル系の新樹脂は製品化が目前の段階にあり、スムーズな量産化への移行を含めて迅速に対応していきたい。

さらに、将来に向けてはビフェニル系材料の低吸湿性とマレイミド系材料の耐熱性を合わせもつ新材料を開発していきたい。低吸湿マトリックス樹脂の網目の中に剛直な耐熱性樹脂をリニアに重合させて補強するような繊維強化に近いイメージの硬化系を考えている。

もちろん封止樹脂が克服すべき課題はリフロックラックだけではない。当社では、封止材料メーカーとしてデバイスの信頼性向上、新規パッケージの開発、生産合理化など、多様化するニーズに対応できる樹脂の開発に努めている。今後いっそうのごべんたつとご協力をお願いするとともに、環境問題を含め、ユーザ各位の要望に沿った材料開発を進めていく所存である。

文 献

- 1) 内田 健, 他: 超 LSI 用封止樹脂 KE-2000, 東芝レビュー, 45, 4, pp. 356-359 (1990)
- 2) 善積 章: 第9回高分子エレクトロニクス研究会講座講演要旨集, pp.40-43 (1994)



内田 健 Ken Uchida

1984年働東芝入社。高分子材料の研究・開発に従事。現在、東芝ケミカル(株)川口工場成形材料技術部主務。
Toshiba Chemical Corp.



沢井 和弘 Kazuhiro Sawai

1982年東芝ケミカル(株)入社。熱硬化性樹脂成形材料の開発に従事。現在、川口工場成形材料技術部課長。
Toshiba Chemical Corp.