

# 薄型パッケージ基板対応MCL-E-679GT

## Low-CTE Material MCL-E-679GT for Thin Package Substrate

森田高示\* *Koji Morita* 高根沢伸\* *Shin Takanezawa*  
竹越正明\*\* *Masaaki Takekoshi* 坂井和永\*\*\* *Kazunaga Sakai*

電子機器の薄型化および高機能化に伴い、半導体デバイスの3次元パッケージが注目されている。しかしながら、このような多層実装を実現するための不可欠な技術、すなわち、パッケージ全体の厚さ増加を防ぐための手段、基材の薄型化技術はいまだ十分には確立されておらず、はんだ実装時の反り発生やそれに伴う信頼性低下が問題となっている。

そこで当社では、パッケージ実装に関するシミュレーション技術および低熱膨張率と高弾性率を発現する樹脂システム技術を展開して、はんだ実装時の反り特性に優れ、低熱膨張率の特性を有した薄型基板対応のMCL-E-679GTを開発した。MCL-E-679GTは、薄型化が進む本技術分野に貢献できる材料として期待されている。

Package substrates for semiconductor devices have had to adapt to higher densities and smaller mounting areas. Three-dimensional packages are promising devices to meet these requirements, although the necessity of a thinner core material is strongly increasing in order to reduce the total thickness.

To obtain new material for the above-mentioned requirement, we have studied simulation technology on a package connection and resin system that involves a lower coefficient of thermal expansion and a higher modulus. As a result, we have developed a new base material called MCL-E-679GT, which is expected to contribute to the market for thin packages.

## 〔1〕 緒 言

電子機器の小型化や高機能化に伴い、半導体デバイスを搭載した実装基板（以下、パッケージ基板と称す）の高密度化が進んでいる。パッケージ基板では、電子機器の小型化や高機能化にしたがって配線ピッチの狭小化や微細化を行ってきたが、高密度化には限界が生じてきている。また、電子部品の増加により、部品を実装する面積の確保も重要となっている。このような背景から、複数のチップを1つのパッケージに集約して多機能化や実装面積の確保（小型化）を実現しようとするSiP（System in Package）やPoP（Package on Package）およびCoC（Chip on Chip）などの3次元パッケージが新たに登場し、注目されている<sup>1), 2)</sup>。

このような3次元パッケージは、チップやパッケージを積層することでパッケージ全体の高さが増すため、薄い基材を用いる必要がある。しかし、基材を薄くするとガラスクロス厚も薄くなるため基材全体の剛性が低下して反りが発生しやすくなる<sup>3)</sup>。特に、PoP構造パッケージの場合、ロジック系パッケージとメモリ系パッケージをはんだで接合するため、はんだリフロー時の反りは致命的な欠陥となる。すなわち、ロジック系パッケージに生じた反りが、メモリ系パッケージとの間で隙間を発生させ、はんだ接続不良や接続信頼性の低下を招くからである（図1）。したがって、3次元パッケージの普及には、はんだ実装工程間（リフロー～冷却間）で反りが少ない薄型基材が必須となっている。

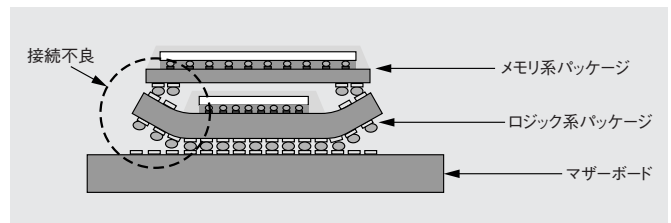


図1 PoP型パッケージの反り現象 ロジック系パッケージの反りが大きいと、マザーボードおよびメモリ系パッケージに接続不良が発生する。

Fig. 1 Warpage phenomenon of PoP-type package  
Connection failures may occur between the mother board and the memory package when there is large warpage of the logic package.

そこで、当社では、パッケージの反り要因をシミュレーション解析し、シミュレーションに沿った材料開発を行った。その結果、パッケージ反りが小さく薄型パッケージに適した低熱膨張率のMCL-E-679GTを開発することができた。以下、開発の概要と得られたMCL-E-679GTの特長と特性について紹介する。

## 〔2〕 MCL-E-679GTの開発

### 2.1 反りシミュレーションによるパッケージ反りの分析

PoP構造のように2つのパッケージをはんだで接合する実装方式においては、はんだリフローの高温領域では基材が膨張するためSmile反り（+方向側の反り）が発生し、室温まで冷

\*当社 新材料応用開発研究所 \*\*当社 新材料応用開発研究所 実装材料・システム開発センタ  
\*\*\*当社 電子材料事業部 配線板材料部門 開発部

却すると基材の収縮によるCry反り（一方向側の反り）が発生する。この現象はパッケージを構成する各材料の熱膨張率で整理できる。すなわち、チップの熱膨張率は3~4 ppm/°Cであるのに対し、基材の熱膨張率はTg以下で15~20 ppm/°C、Tg以上では30~40 ppm/°Cである。このため、室温ではチップの収縮量より基材の収縮量の方が大きいため、基板側に反りが生じ、Tg以上ではチップの膨張量より基材の膨張量が大きくなるため、チップ側に反りが生じるためである。この反り挙動を基材物性に着目してシミュレーションした。結果を図2に示す（シミュレーションに用いたパッケージおよび各部材の仕様を表1に示す）。この結果から、基材を低熱膨張率にすることで、高温領域のSmile反りおよび室温付近のCry反りを低減できることが分かる。

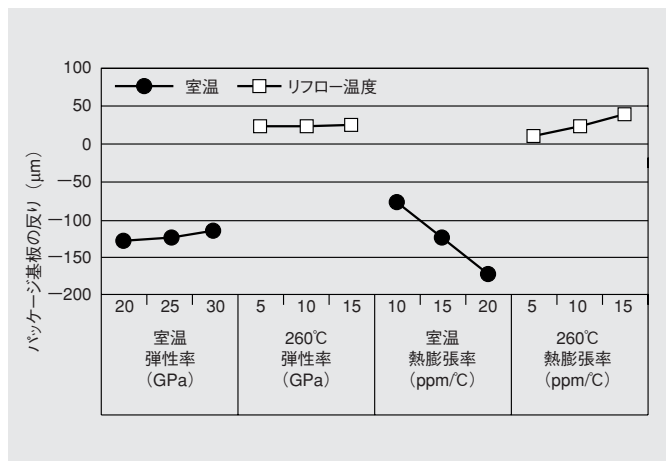


図2 パッケージ反りと基板物性要因との関係 パッケージ基板の反り低減には、熱膨張率が小さい基材が有効である。

Fig. 2 Relationship between package warpage and substrate properties The low coefficient of thermal expansion of the base material is effective in reducing warpage of the package substrate.

表1 パッケージ基板のシミュレーション仕様 パッケージ基板のシミュレーションは、表1に示す各材料の物性値を用いて行った。

Table 1 Parameters of package substrate for simulation Parameters of the package substrate for the simulation are listed in Table 1.

項目	仕様						
	サイズ (mm)	厚み (mm)	Tg (°C)	弾性率 (GPa)		熱膨張率 (ppm/°C)	
				室温	260°C	室温	260°C
パッケージ基板 (CSP)	10×10	0.54	—	—	—	—	—
チップ	8×8	0.1	—	—	—	—	—
封止材	10×10	0.3	120	21.5	0.9	10	30
DAF	8×8	0.02	30	2.7	0.01	140	140
SR	10×10	0.02	80	6	0.1	40	160
基材	10×10	0.2	175	変動	変動	変動	変動

## 2.2 MCL-E-679GTの設計

基材を低熱膨張率化する手法は、樹脂より熱膨張率の小さい無機充填剤を多量に配合することや樹脂の架橋密度を高めて高Tg化する手法が検討されている<sup>4), 5), 6)</sup>。無機充填剤を多量に配合する手法は、樹脂の弾性率が高くなるため基材の剛性向上には有効である。しかし、樹脂中に硬度の高い無機充

填剤が多く存在するため、穴あけ時のドリルビットへの負荷が大きくなり、摩耗量の増加やドリル折れの不具合が生じやすくなる。一方、樹脂の架橋密度を高めて高Tg化する手法は、分子鎖の運動自体が小さくなり、熱膨張率の低減効果が小さい。また、結晶性樹脂や多環式樹脂を用いた検討例<sup>7), 8)</sup>もあるが、溶解性など配線板材料として使用するには課題が多い。

そこでわれわれは、弊社独自の樹脂変性技術と配合技術を多環式樹脂に適用して低熱膨張率化を図った。表2に、多環式樹脂の立体構造を示すが、基材用樹脂で広く用いられるノボラック型エポキシ樹脂と比較して平面的な構造を取ることが分かる。図3に、無機充填剤を含まない樹脂単独の熱膨張率と架橋点間分子量との関係を示す。なお、架橋点間分子量 (Mc) は下記のように、せん断弾性率 (G) と密度 (ρ) から求められる<sup>9), 10)</sup>。

$$Mc = 293 \cdot \rho / (\log G - 7.0) \dots\dots\dots (1)$$

多環式樹脂系の架橋点間分子量は380~800の範囲であり、400~700の範囲で低熱膨張率を示すことが分かる。

これらの結果をふまえて、基材用低熱膨張率樹脂の材料設計を図4に示す。多環式樹脂は平面構造を持つので、分子間の相互作用が発現しやすい。したがって、多環式樹脂同士の

表2 樹脂の分子構造モデル 多環式樹脂は、ノボラック型エポキシ樹脂と比較して平面構造部分が多い。

Table 2 Molecule structure model of resin Polycyclic resin has flatter structural portions than novolac type epoxy resin.

項目	多環式樹脂	ノボラック型エポキシ樹脂
分子モデル		

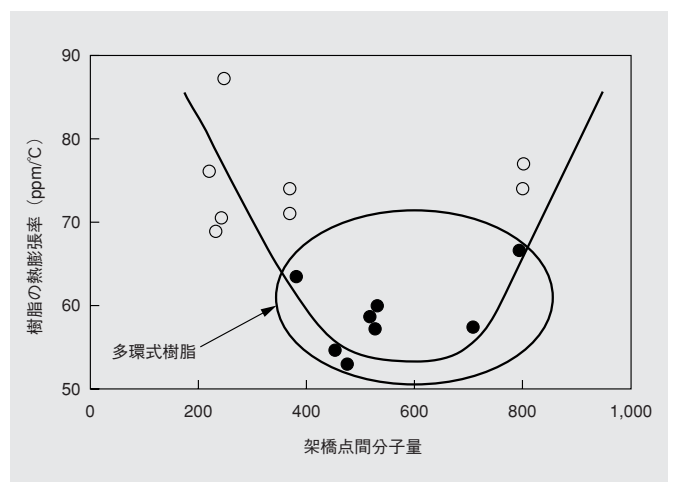


図3 樹脂の熱膨張率と架橋点間分子量の関係 多環式樹脂系の架橋点間分子量は400~700となり、この範囲の熱膨張率が最も小さい。

Fig. 3 Relationship between coefficient of thermal expansion of resin and crosslinking density

Polycyclic resin shows the minimum thermal expansion coefficient value at a crosslinking density between 400 and 700.

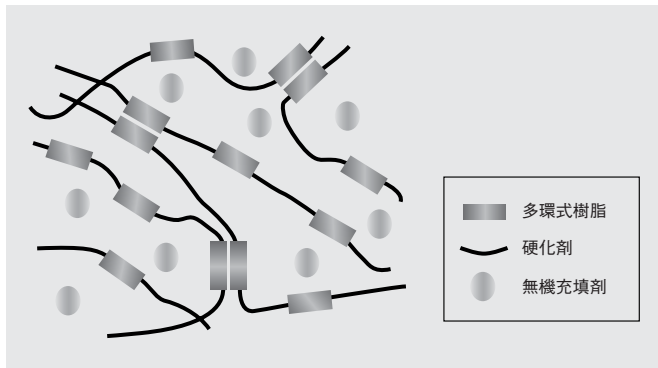


図4 低熱膨張率樹脂の材料設計 平面構造の多環式樹脂とその硬化剤および界面処理した無機充填剤により、低熱膨張率化と高信頼性化を達成した。

Fig. 4 Conceptual resin design of MCL-E-679GT

The low coefficient of thermal expansion and excellent reliability can be achieved with the newly designed resin, which consists of the flat polycyclic resin, a hardener, and surface finish filler.

スタッキングにより、分子運動を抑制した熱膨張率の低減化が可能であろう、と考えた。また、界面処理したフィラーを配合することによって、さらなる低熱膨張率化と基材の高剛性化をはかることができる、と考えた。

### 2.3 MCL-E-679GTの特性と特長

これらの材料技術を用いて開発した薄型パッケージ基板材料MCL-E-679GTの特性を表3に示す。MCL-E-679GTのX方向熱膨張率は、 $\alpha_1$ : 11~12 ppm/°C,  $\alpha_2$ : 6~7 ppm/°C, Z方向のそれは $\alpha_1$ : 21~23 ppm/°C,  $\alpha_2$ : 110~120 ppm/°Cである。いずれの値も、従来の高TgFR-4のそれに比べて約20~30%低い。また、この材料は、曲げ弾性率が高い(27~29 GPa)ために、パッケージ基板の反りを小さくできるという特性を持っている。銅箔との接着力については、サブトラクティブ工法の銅箔やセミアディティブ工法のめっき銅箔のいずれの場合でも、問題のない性能を示している。表4は、MCL-E-679GTのドリル加工性結果を示す。また、前述のようにMCL-E-679GTの低熱膨張率化を無機充填剤の増量ではなくて樹脂そのものの低熱膨張率化によって実現しているため、穴あけ

表3 MCL-E-679GTの特性一覧 MCL-E-679GTは、薄型パッケージ基板に適した特性を持っている。

Table 3 General properties of MCL-E-679GT  
MCL-E-679GT is suitable for thin package substrates.

項目	条件	単位	MCL-E-679GT	高TgFR-4	
Tg	TMA	°C	175-185	165-175	
熱膨張率	X	$\alpha_1$	11-12	15-16	
		$\alpha_2$	6-7	10-12	
	Z	$\alpha_1$	21-23	31-33	
		$\alpha_2$	110-120	140-160	
曲げ弾性率	X	A	GPa	27-29	25-27
接着力	銅箔 (18 $\mu$ m)	A	kN/m	1.1-1.2	1.1-1.2
	めっき銅 (20 $\mu$ m)	A		0.7-0.8	0.7-0.8
はんだ耐熱性	銅箔 (18 $\mu$ m)	260°C フロート	s	300以上	300以上
	めっき銅 (20 $\mu$ m)			300以上	300以上
吸水率	PCT処理*1 - 5 h後	%	0.40-0.44	0.48-0.50	
PCT耐熱性	PCT処理*1	288°C/10s ディップ	h	5以上	5以上
絶縁信頼性 (スルーホール壁間: 0.07 mm)		85°C/85%RH 印加電圧5.5 V	h	500以上	500以上
比誘電率 (Dk)		1 GHz	—	4.70-4.90	4.70-4.90
誘電正接 (Df)		1 GHz	—	0.0115-0.0130	0.0180-0.0190

\*1 PCT121°C/0.22 MPa

表4 MCL-E-679GTのドリル加工性の結果 MCL-E-679GTは、ドリル加工後のスルーホール状態が良好である。

Table 4 Drilling properties of MCL-E-679GT  
The through-hole quality of MCL-E-679GT after drilling is excellent.

ドリル径 ( $\phi$ mm)	基材: MCL-E-679GT		基材: 高TgFR-4
	スルーホール内形状		スルーホール内形状
	ドリル加工: 初期	ドリル加工: 10,000ヒット後	ドリル加工: 10,000ヒット後
0.105*1	 内壁粗さ: 4~6 $\mu$ m	 内壁粗さ: 6~8 $\mu$ m	 内壁粗さ: 7~9 $\mu$ m

\*1) ドリル加工条件: 基材厚み0.4 mm, ドリル回転数80 krpm, 速度2.0 m/min

に際して10,000ヒットまでドリルの折れがなく穴壁の平滑性も良い。したがって、ドリルビットの寿命は長くなっている、と言える。また、スルーホール内のドリル壁面粗さは、10,000ヒット後4~8 μmであり、従来材（高TgFR-4）と同等である。

図5は、銅箔をエッチング除去した基材について、室温からはんだリフロー温度領域まで加熱したときの反り量を、レーザースキャニングを用いて測定した結果である。MCL-E-679GTは、室温から250℃（はんだリフロー温度領域）の間の反り変化量も少ない。特に、はんだリフロー温度領域の250℃において、反り量が小さいことが特長的である。

図6は、スルーホール壁間0.07 mm、85℃/85%RH、印加電圧25 Vの試験条件における絶縁抵抗値の結果である。MCL-E-679GTは、絶縁抵抗値の劣化が小さく（500 h以上）、優れた絶縁信頼性を示すことが分かる。

### 〔3〕 結 言

以上、当社が開発した薄物パッケージ基板用材料MCL-E-679GTの特長について紹介した。

開発したMCL-E-679GTはドリル加工性を維持しながらパッケージ基板の反りの低減や絶縁信頼性を向上することが可能である。本開発材料は、三次元実装をはじめとする今後の実装技術の進歩に寄与できる、と期待している。

#### 参考文献

- 1) 春日 亮：パッケージ技術動向，エレクトロニクス実装学会誌，No.5, pp.353-357 (2007)
- 2) 赤沢 隆：SiPの最新技術動向，エレクトロニクス実装学会誌，No.5, pp.363-367 (2007)
- 3) 高木 善範：PoP実装におけるはんだ付け工法，電子材料，47, No1, pp.66-69 (2008)
- 4) 新井，ほか：特開2004-182581号 (2004)
- 5) 橋本 伸晃：特開2000-243864号 (2000)
- 6) 瀬川 博史：特開2000-114727 (2000)
- 7) 安江 健治：液晶性高分子フィルムの特長，高分子，43, No10, pp.728-729 (1994)
- 8) 沼田，ほか：電子部品用エポキシ樹脂の最新技術，株式会社シーエムシー出版，pp.14-18 (2006)
- 9) L.E.Nielsen：高分子と複合材料の力学的性質，株式会社化学同人発行，p.111 (1992)
- 10) 高根沢，ほか：日立化成テクニカルレポート，41, pp.35-38 (2003)

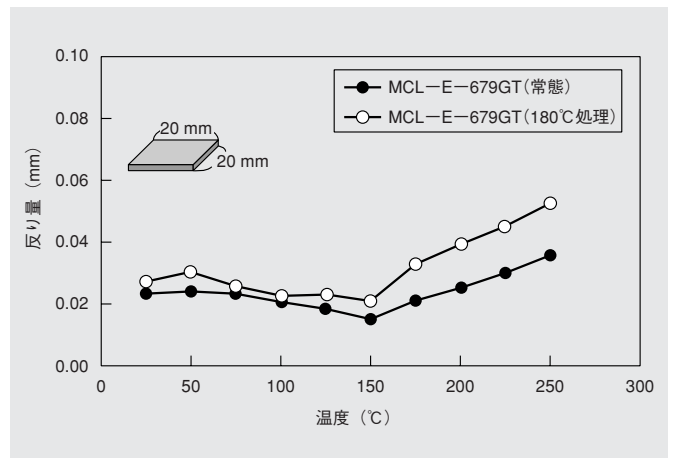


図5 MCL-E-679GTの反り特性 MCL-E-679GTは良好な反り特性を示す。

Fig. 5 Warpage characteristics of MCL-E-679GT  
MCL-E-679GT exhibits excellent through-hole quality after drilling.

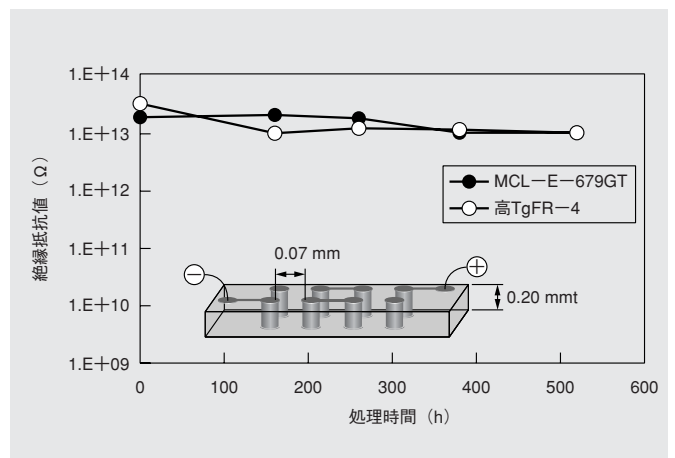


図6 MCL-E-679GTの絶縁信頼性 MCL-E-679GTの絶縁信頼性は良好である。

Fig. 6 CAF restraining property of MCL-E-679GT  
MCL-E-679GT has excellent CAF restraining property.