

# 半導体用液状封止材の技術動向

## Technical Trends in Liquid Encapsulant for Semiconductor Devices

元当社 半導体材料事業部門 尾形正次 Masatsugu Ogata



半導体の樹脂封止法には、固形のエポキシ樹脂封止材を用いる低圧トランスファ成形法と液状のエポキシ樹脂封止材を用いるディスペンス、印刷法などがある。最近では、素子の高集積度化、高性能化、高機能化に加え、複数の素子を単一パッケージに搭載するSIP (System in Package) やモジュールの普及に伴い実装形態が多様化し、封止材に対する要求特性が高度化している。液状封止材は小形・薄形化、多ピン化、実装形態の多様化などへの対応が容易で、少量多品種生産に向くためCOB (Chip on Board), TCP (Tape Carrier Package) などに古くから採用されてきたが、最近では新規パッケージにも適用範囲が拡大している。当社は、応力解析および各種材料を組み合わせたモデル評価に基づき、半導体用各種新規実装材料の開発を行っている。本稿では液状封止材の技術動向について述べる。

Methods of plastic sealing of semiconductor devices include low-pressure transfer molding using solid epoxy resin encapsulant, and dispensing, or printing, using liquid epoxy resin encapsulant. To improve integration, increase the number of functions, and provide advanced performance of elements, various mounting devices have recently been developed based on system-in-package (SIP) technology that enables storing multiple elements in a single package. The performance required of the encapsulant is becoming more and more sophisticated. Liquid encapsulant enables thinner profiles, the use of a larger pins, and more diverse mounting devices. It is also suitable for small-batch production of a variety of products, so it has long been used for chip-on-boards (COB) and tape carrier packages (TCP). Recently, it has been used for new packages as well. Hitachi Chemical developed several types of mounting-device materials for semiconductors through the evaluation of various material combinations and stress distribution analysis. This paper describes some technical trends in liquid encapsulant.

### 〔1〕 緒言

半導体は素子を外部環境から保護して各種信頼性を確保し、基板実装を容易にするためパッケージが必要である。当初は金属、セラミックス、ガラスなどによる気密封止が行われたが、1960年代後半に固形の封止材を用いる低圧トランスファ成形によるICの封止法が開発され、これが今日の半導体封止技術の主流になっている<sup>1)</sup>。

半導体はその後高集積度化、高性能化、多機能化、多ピン化の一途をたどった。一方、パッケージは封止材の高性能化によって小形・薄形化や表面実装形化が行われ<sup>2)</sup>、高密度実装による電子機器の小形、高性能化に大きく貢献してきた(図1)。最近では実装の高密度化に加え、高速化、システム化、低コスト化などに対応するため各種CSP (Chip Size/Scale Package), 複数のチップを一つのパッケージに平面的あるいは立体的に収納したマルチチップパッケージ、薄形パッケージを積み重ねた積層パッケージなどが開発されている。また、究極の小形・薄形、低コスト対応パッケージとしてウェハ段

階でパッケージングを行うウェハレベルCSPが開発されている<sup>3), 4)</sup>。

ところで、液状封止材による樹脂封止はトランスファ成形法に比べると生産性が劣るが、比較的安価な設備で基板上の任意の場所を部分的に封止したり、種々の実装および封止形態に対応できるため、ベアチップが混載されるCOBやTAB (Tape Automated Bonding) 技術を用いたTCPのコート材、アンダーフィル材として採用されてきた(図2)<sup>5)</sup>。最近ではパッケージ形態が多様化し、液状封止材の方が対応しやすい場合があり、新規パッケージ分野で液状封止材の需要が増大している。

### 〔2〕 液状封止材の概要

液状封止材には溶剤/無溶剤、熱硬化/熱可塑、一液/二液など種々のタイプがある。熱硬化タイプはエポキシ樹脂系が主流であるが、フェノール樹脂、シリコン樹脂、ポリイミド樹脂などを用いたものもある。当社は、エポキシ樹脂系の溶剤および無溶剤(いずれも一液)タイプおよび耐熱性の熱可

# 総 説

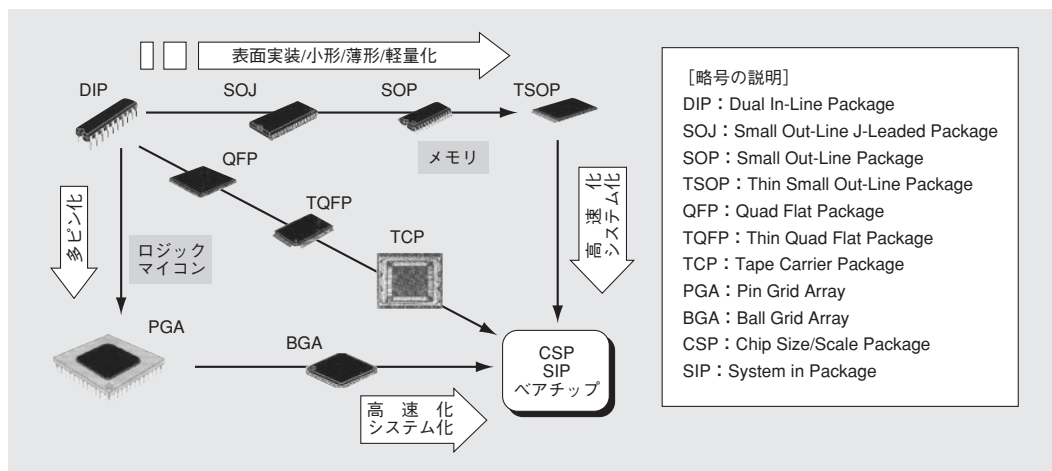


図1 ICパッケージの変遷  
パッケージ（実装技術）は高密度実装から高速化実装、システム化へと移りつつある。

Fig. 1 Changes in IC packages  
There has been a shift in mounting technology from the use of high-density packages to high-speed ones and systematized mounting.

封止法	低圧トランスファ成形法	ディスペンス法、印刷法
使用する封止材	固形封止材	液（含むペースト）状封止材
実装およびパッケージ形態		
用途	DIP, SOJ, SOP, TSOP, QFP, TQFP, BGAなど	TCP, モジュール、カード、ハイブリッドICなど
	最近のCSP, SIP, MCMはその構造、基板材質、混載部品の種類、生産物量などによって、低圧トランスファ成形、ディスペンス、印刷法が使い分けられている。	

図2 半導体の実装およびパッケージ形態と一般的な樹脂封止法

Fig. 2 Encapsulation of semiconductor devices

塑性芳香族ポリアミド樹脂をベース樹脂として用いた溶剤（一液）タイプを上市している。封止材には素子の各種信頼性を確保するため、接着性、低熱膨張、低弾性率のほか、耐湿性、耐熱性などが要求される。最近では実装およびパッケージ形態が多様化し、その最適物性はパッケージ構造や使用する部材の組み合わせによって異なる。そのため、応力解析や各種材料を組み合わせたモデル評価を行い開発のスピードアップが図られている。また、封止材に対する要求特性は厳しくなる一方であり、新しい発想に基づいた材料開発が重要になっている。

ここでは、液状封止材をTCP、COB用オーバーコート材、

フリップチップ実装用アンダーフィル材およびCSP用に分けて最近の技術動向を述べる。

### 〔3〕 TCP用液状封止材

TCPは時計、電卓、カメラなどに使用するICの実装技術として長い歴史がある<sup>6)</sup>。その後、サーマルヘッドや液晶表示パネルのドライバICの実装技術として発展し、最近では最先端のメモリ、ロジック、マイコン、ASICなどの薄形、多ピン、高密度実装対応技術としても利用されている。初期のTCPは無溶剤タイプの無水酸化エポキシ樹脂系液状封止材をディスペンス法で分厚く塗布していたが、最近ではパッケージを

薄形化するために溶剤タイプのフェノールノボラック硬化形エポキシ樹脂系封止材で100 $\mu$ m前後の厚さに塗布することが多い。液晶表示パネル用ドライバICは、パネルの額縁面積を小さくするためチップが極端にスリム化され、多ピン化に伴ってリードの狭ピッチ化が進み、実装時にパッケージは折り曲げて装置に組み込まれる。メモリ、ロジック、マイコン、ASIC系デバイスは一般にチップサイズが大きく、通常トランスファ成形による封止が行われているため信頼性の要求レベルが高い。そのため、TCP用液状封止材には成膜性、含浸性、形状保持性などの成形性、速乾速硬化性、折り曲げ実装性（接着性、強靱性）、信頼性などが厳しく要求される。表1に当社の代表的なTCP用液状封止材の一般特性を示す。CEL-C-5000シリーズは、液晶表示パネルやPDP（Plasma Display Panel）のドライバIC用TCPのほか、積層TCP形メモリモジュールやロジック、マイコンを搭載したTAB-BGAにも採用されている。特に、CEL-C-5020はTCP特有の要求特性である耐折り曲げ性に優れた材料として好評を得ている。

## 〔4〕 COB用オーバーコート材

COBはボードレベルのペアチップ実装技術であるが、最近では金属製リードフレームの代わりにガラス/エポキシ、ポリイミド基板などを用いたBGA/CSPなどでも同様な実装が行われている。このようなパッケージではチップの多ピン化、大形化が進み、複数のチップを一括封止するため封止面積が広がる傾向がある。また、環境対応の一環として鉛フリーはんだが採用されるようになり、リフロー温度が高くなっている。そのため、COB用オーバーコート材には、封止作業性、形状保持性、ワイヤ下/ワイヤ間への充填（てん）性、接着性、低反り、高温耐リフロー性や耐湿性、耐熱衝撃性などの信頼性が要求される。従来COB用オーバーコート材には無水酸硬化形エポキシ樹脂に球形フィラを高充填した低熱膨張材や多官能エポキシ樹脂を用いた高Tg材が用いられてきたが<sup>5)</sup>、高温耐リフロー性が不十分なため、当社は応力解析およびモデル評価に基づき高接着・低弾性率材を開発した（表2）。これら

表1 TCP/TAB-BGA用液状封止材の一般特性 CEL-C-5020シリーズは成膜性、折り曲げ実装性が優れ標準材として広く用いられている。CEL-C-5400は接着性、難燃性、CEL-C-5800は硬化性に優れている。

Table 1 General properties of liquid encapsulants for TCP/TAB-BGA

Encapsulants of the CEL-C-5020 Series are widely used as standard materials because of their excellent film-forming and bent-mounting properties. CEL-C-5400 features excellent adhesion and flame resistance, and CEL-C-5800 excellent curing properties.

項目		単位	CEL-C-5020	CEL-C-5400	CEL-C-5800	試験法
特長		—	高PKG強度	高接着/難燃性	速硬化性	—
粘度, 25℃		Pa・s	3.0	2.5	3.1	E形粘度計
揺変指数		—	1.15	1.02	1.14	2rpm/20rpm粘度比
不揮発分		wt%	79	62	85	—
硬化条件	予備加熱	℃/min	90-110/15-30		60/30	—
	本硬化	℃/h	120/4 or 150/2	125/6 or 150/2	120/0.5	—
硬化物性	ガラス転移温度	℃	104	102	92	TMA
	線膨張係数 ( $\alpha_1$ )	ppm/℃	19	21	24	
	曲げ弾性率	GPa	12	10	12	JIS K 6911
	体積抵抗率	$\Omega \cdot \text{cm}$	$>1 \times 10^{15}$	$>1 \times 10^{15}$	$>1 \times 10^{15}$	JIS K 6911
	接着力 (対ポリイミド)	N/m	140	550	140	90°ピール試験
	難燃性	—	HB相当	V-0	HB相当	UL-94
抽出液特性	Cl <sup>-</sup>	ppm	1.0	0.1	1.2	純水による100℃/20h抽出液の特性
	pH	—	6.3	4.8	3.8	
	電気伝導度	$\mu\text{S/cm}$	40	40	40	

表2 COB用液状封止材の一般特性 低弾性率、高接着性のため、セラミック基板、有機/金属複合基板を用いたEBGA、モジュールなどに適用した場合高温耐リフロー性が優れている。

Table 2 General properties of liquid encapsulants for COB

Because of their low elastic modulus and high adhesion, they feature excellent re-flow resistance at high temperatures when used for modules, EBGAs using ceramic or organic/metal hybrid substrates, and so on.

項目		単位	CEL-C-7260 (ディスペンス用)	CEL-C-7400 (印刷用)	試験法	
特長		—	低弾性/高接着/高耐湿		—	
粘度, 25℃		Pa・s	30	100	EまたはB形粘度計	
揺変指数		—	0.9	1.3	2.5rpm/10rpm粘度比	
硬化条件	予備加熱	℃/min	100/60	—	—	
	本硬化	℃/h	160/2.5	150/4	—	
硬化物性	ガラス転移温度	℃	22	28	TMA	
	線膨張係数 ( $\alpha_1$ )	ppm/℃	21	16		
	弾性率	25℃	MPa	5,500	9,270	DMAの貯蔵弾性率
		260℃		48	97	
	接着力 (対Al箔)	25℃	N/m	730	780	90°ピール試験
		260℃		155	160	
体積抵抗率		$\Omega \cdot \text{cm}$	$>1 \times 10^{15}$	$>1 \times 10^{15}$	JIS K 6911	
抽出液特性	Cl <sup>-</sup>	ppm	3.6	3.9	純水による121℃/20h抽出液の特性	
	pH	—	4.3	4.2		
	電気伝導度	$\mu\text{S/cm}$	49	51		

# 総 説

表3 ハイマルHIRシリーズの一般特性 ガラス転移温度が高く、低熱膨張、低弾性率のため熱応力の発生が少なく、COG、プリンタ用サーマルヘッドなどの封止に適している。

Table 3 General properties of encapsulants of the HIMAL HIR Series

They are suitable for thermal heads of printers and similar devices, because of their higher glass transition temperature and lower thermal stress resulting from their low coefficient of thermal expansion and low elastic modulus.

項目	単位	HIR-2500	HIR-3000	試験法
特長	—	熱可塑性 低反り性	熱硬化性 高信頼性	—
不揮発分	wt%	75	76	—
粘度, 25℃	Pa・s	40	28	E形粘度計
ガラス転移温度	℃	190	150	TMA
線膨張係数 ( $\alpha_1$ )	ppm/℃	8	14	TMA
熱分解温度	℃	400	315	TG/DTA
弾性率	GPa	3.8	3.0	DMAの貯蔵弾性率
誘電率 (1kHz)	—	3.8	3.2	JIS K 6911
吸水率	wt%	0.7	0.7	PCT (121℃/100%RH) /3h
抽出物	Na <sup>+</sup>	ppm	<0.1	純水による121℃/24h抽出液の特性
	K <sup>+</sup>		<0.1	
	Cl <sup>-</sup>		1.0	

硬化(乾燥)条件: 70℃/1h+120℃/1h+160℃/1h

の材料は260℃リフロー対応EBGA、モジュール用液状封止材として良好な評価を得ている。

耐熱性の熱可塑性芳香族ポリアミド樹脂をベース樹脂として用いた「ハイマル」HIRシリーズは、表3に示すように熱膨張係数、弾性率が小さく、熱応力の発生が少ないことが特長である。また、各種基材との密着性、耐湿性、耐熱性などにも優れている。溶剤タイプのため周辺部材との適合性を確認する必要があるが、COG (Chip on Glass)、サーマルヘッド用COB、パワーICなど熱応力起因の反りや耐熱衝撃性が問題になる分野でオーバーコート材として採用されている。

## 〔5〕 フリップチップ実装用アンダーフィル材

フリップチップ実装した素子は、素子および接合部の信頼

性を確保するため通常チップと基板の隙間に補強用の樹脂(アンダーフィル材)を充填(てん)する<sup>7)</sup>。このようなアンダーフィル材には狭い隙間に短時間で含浸し、ボイドやフィラ沈降がなく、各種基材との接着性が優れ、素子および接合部の信頼性を十分に確保できることが求められる。フリップチップ実装は高密度実装技術として、モジュール、カードなどのほか、最近パッケージレベルでも採用されており、使用する基板はセラミックス、ガラス/エポキシ、ポリアミドフィルムなどさまざまである。そのため、上記要求特性のうち、特に接合部の耐温度サイクル寿命を確保するためのアンダーフィル材物性の最適化が重要である。液晶表示パネルやPDP用ドライバICの実装方式として最近需要が増えているCOF (Chip on Film) について解析した結果を図3に示す。基板表

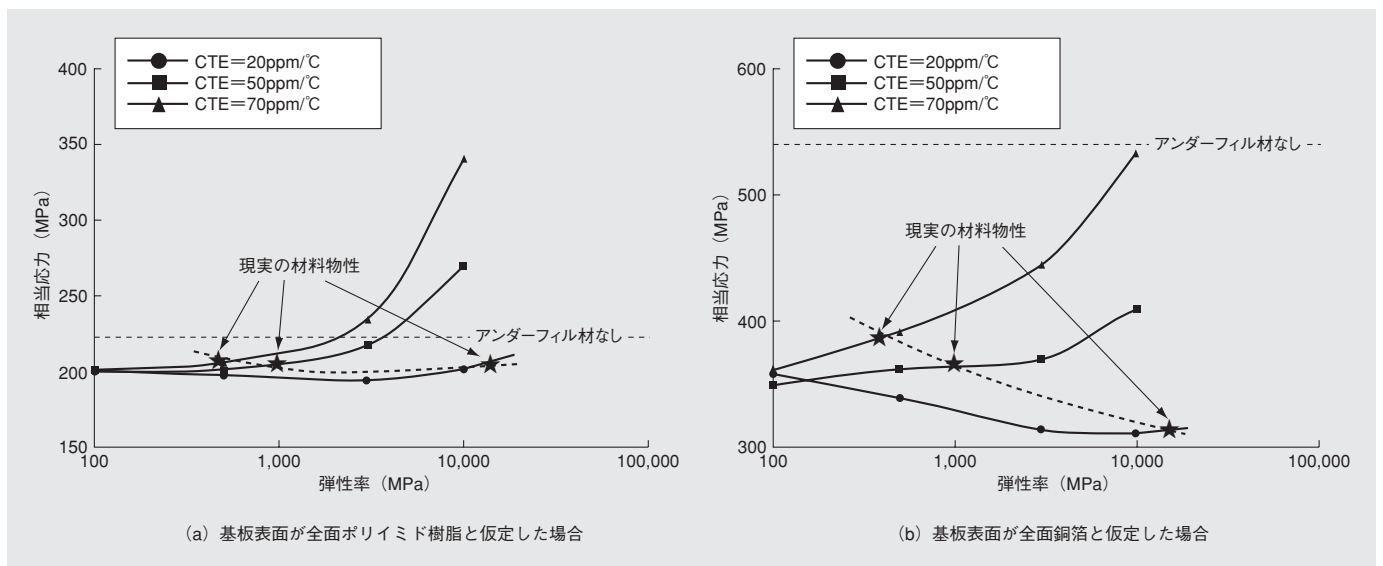


図3 COFのバンブ部発生応力に及ぼすアンダーフィル材物性の影響(シミュレーション結果) 基板表面に占めるポリイミド樹脂の比率が大きい場合、バンブ部に発生する応力に及ぼすアンダーフィル材物性の影響は小さい。銅箔の比率が大きい場合はアンダーフィル材の熱膨張係数が小さい(弾性率が高い)ほどバンブ部に発生する応力は小さい。

Fig. 3 Effects of under-filling materials on mechanical stress generated at the bump of COF (simulation results)

This effect is minimal when the ratio of polyimide resin area to the total substrate surface area is large. When the ratio of copper foil area to the total area is large, a smaller coefficient of thermal expansion (and higher modulus) of the under-filling material results in lower stress.

表4 アンダーフィル材の一般特性 CEL-C-3807はフレキシブル基板用のノンフィラタイプで含浸性が良好。CEL-C-3720および3800はリジッド基板用のフィラ配合タイプ。CEL-C-3720はフィラ粒径が細かいため狭い隙間への含浸性が良く、耐湿接着性が優れている。

Table 4 General properties of under-filling materials

CEL-C-3807 is a non-filler type of the material for flexible substrates and it has excellent permeability; CEL-C-3720 and 3800 contain filler and are used for rigid substrates. CEL-C-3720 has excellent moisture-resistant adhesion and good permeability into narrow gaps resulting from its small filler diameter.

項目	単位	CEL-C-3807	CEL-C-3720	CEL-C-3800	試験法	
用途	—	COF	COB, FC-BGA, CSP, SIPなど	—	—	
特長	—	含浸性	高接着/高耐湿	高Tg	—	
フィラ (平均/最大粒径)	(μm)	なし	あり		—	
			(1/10以下)	(2.3/24以下)		
粘度, 25℃	Pa・s	0.6	6	12	E形粘度計	
揺変指数	—	1.1	0.5	1.0	2rpm/20 rpm粘度比	
硬化条件	予備加熱	℃/min	130/5-10	70-90/10-30	—	
	本硬化	℃/h	150/2	150/3	—	
硬化物物性	ガラス転移温度	℃	118	120	150	TMA
	線膨張係数 (α <sub>l</sub> )	ppm/℃	82	28	27	
	曲げ弾性率	GPa	3.4	11	13	JIS K 6911
	接着力 (対Al箔)	N/m	175	750	150	90°ピール試験
	体積抵抗率	Ω・cm	> 1.0×10 <sup>15</sup>	> 1.0×10 <sup>15</sup>	> 1.0×10 <sup>15</sup>	JIS K 6911
抽出液特性	Cl <sup>-</sup>	ppm	3.8	1.2	1.0	純水による121℃/20h抽出液の特性
	pH	—	4.5	3.6	3.4	
	電気伝導度	μS/cm	50	98	65	

面に占めるポリイミド樹脂の比率が大きい場合、 bumps部に発生する応力に対するアンダーフィル材物性の影響は小さい。全面が銅箔（はく）の場合は、アンダーフィル材の熱膨張係数が影響し、熱膨張係数が小さいほど bumps部に発生する応力は小さい。当社はこのような応力解析およびモデルパッケージによる含浸性、ボイド、フィラ沈降、信頼性などの評価結果をもとにアンダーフィル材の開発を行っており、表4に示す各種エポキシ樹脂系のアンダーフィル材を上市している。

〔6〕 CSP用液状封止材

近年盛んに開発が行われているCSPのチップ/インターポーザ間の電氣的接続にはWB (Wire Bonding), ILB (Inner Lead Bonding), FCB (Flip Chip Bonding) などが用いられている。基本構造は従来のCOB, TCPと類似しており、封止材も同じような材料を使う場合が多い。ここでは、新規封止材の開発

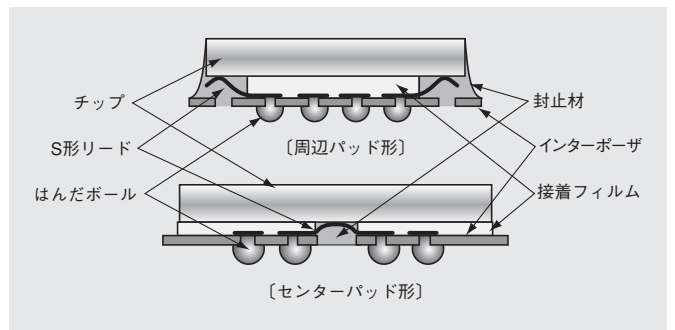


図4 μ-BGAの断面構造 接着フィルムおよび封止材に低弾性率材料を用い、チップと実装基板の熱膨張のミスマッチによって発生する熱応力を緩和する。

Fig. 4 Cross-sectional structure of μ-BGA Using lower-elastic-modulus materials for the adhesive film and encapsulant minimizes thermal stress generated from the mismatch in thermal expansion between the chip and the mounting substrate.

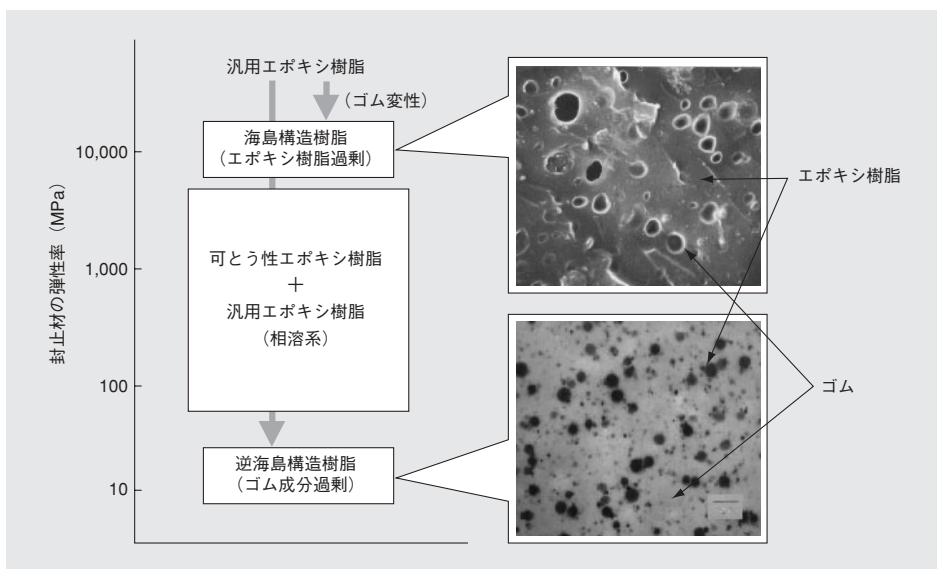


図5 エポキシ樹脂の低弾性率化手法 エポキシ樹脂の変性方法によって樹脂硬化物および封止材の弾性率を広い範囲で制御することができる。

Fig. 5 Lowering the elastic modulus of epoxy resin The elastic modulus of a cured resin and encapsulant can be controlled in a wide range by modification.

# 総 説

表5 低弾性率液状封止材の一般特性 逆海島構造樹脂を用いることにより弾性率を大幅に低減した。低粘度でフィラを充填することができるため、線膨張係数はシリコンゴムの1/2以下である。

Table 5 General properties of liquid encapsulants with a low elastic modulus

The elastic modulus has been reduced substantially due to the use of resin with a reversed sea-island structure. Because large quantities of filler can be added, the coefficient of thermal expansion is less than one-half that of silicone rubber.

項 目		単 位	CEL-C-4100 (ディスペンス用)	CEL-C-4105 (印刷用)	試験法	
特長		—	超低弾性率		—	
粘度, 25°C		Pa・s	22	193	B形粘度計	
揺変指数		—	1.1	1.5	5rpm/20rpm粘度比	
硬化条件	予備加熱	°C/h	120/1		—	
	本硬化		150/3		—	
硬化物性	ガラス転移温度	°C	-68/64	-50/75	TMA	
	平均線膨張係数	ppm/°C	130~160 (-55~175°C)	90~110 (-55~175°C)		
	弾性率	MPa	10	90		DMAの貯蔵弾性率
	接着力 (対Al箔)	N/m	500	625		90°ピール試験
	吸湿率	wt%	0.5	0.4		85°C/85%RH/168h
抽出液特性	抽出液特性	Cl <sup>-</sup>	ppm	4.3	純水による121°C/ 20h抽出液の特性	
		Na <sup>+</sup>		1.5		1.2
		pH	—	5.7		5.6
		電気伝導度	μS/cm	134		130

が必要になったCSPのうちから、μ-BGA (米国TESSERA社商標)<sup>8)</sup> およびウェハレベルCSP<sup>9)</sup> を取り上げ、液状封止材の開発動向を述べる。

## 6.1 μ-BGA用液状封止材

μ-BGA (図4) は、チップとインターポーザの接着およびインナーリードの封止に低弾性率のシリコン系材料を用い、それによってチップと実装基板の熱膨張係数のミスマッチによって発生する応力を緩和し、接合部の温度サイクル寿命を高めようとする高速デバイス対応のパッケージである。

このμ-BGAは、チップが大形化し、パッドが周辺配置からセンター配置になるとリードの温度サイクル寿命に問題が生じる。応力解析の結果、シリコン系封止材の熱膨張係数が大きい (270ppm/°C) ことが原因であり、接着剤および封止材の最適物性は弾性率が1GPa以下、熱膨張係数が200ppm/°C以下と推定された<sup>9)</sup>。従来このような低弾性率エポキシ樹脂系封止材は存在しなかった。そこで、当社は逆海島構造、つまりゴム成分が形成する海層にエポキシ樹脂を島状に分散させた構造 (図5) の樹脂およびこれをベース樹脂として用いた低弾性率液状封止材を開発した (表5)。開発材はシリコン系封止材と比べると低温領域の弾性率は若干大きいですが、通常のエポキシ樹脂系封止材に比べると極めて小さく、熱膨張係数はシリコン系封止材の1/2以下である。同時に開発した非シリコン系接着剤と組合せてμ-BGAの耐温度サイクル性を評価した結果、シリコン系材料を組み合わせる場合に比べて温度サイクル寿命が大幅に改善され、耐はんだリフロー性や耐湿信頼性も良好なことを確認している。

## 6.2 ウェハレベルCSP

ウェハレベルCSPは樹脂封止形、再配線形、インターポーザ形、スプリングリード形など数十種類が発表されている<sup>4)</sup>。樹脂封止形およびスプリングリード形の一部はウェハ全面が樹脂封止され、インターポーザ形はボンディングワイヤ周辺が樹脂封止される。封止方法および使用する封止材は各社各様であるが、液状封止材による封止も検討されている。ウェハレベルCSP用封止材の最大の課題はウェハを封止した際の

反りである。反りを小さくするためには低熱膨張化および低硬化収縮率化または低弾性率化が必要である。現在、フィラ高充填による低熱膨張化とゴム変性による低弾性率化を組み合わせた低応力エポキシ樹脂系封止材が一部で採用されているが、ウェハの大口径化に対応するためさらに反りを小さくする材料の開発が進められている。

## [7] 結 言

携帯電話、PDA、デジカメなどの電子情報機器分野では、素子の性能を最大限に生かし、かつ、高集積化、システム化、高密度実装化に対応するため新規パッケージや実装方式の開発が重要になっている。それに伴って実装技術を支える高分子材料に対する要求がますます高度化しており、当社はマテリアルシステムソリューション (Material System Solution) の提案によって今後とも半導体産業の発展に貢献していく所存である。

## 参考文献

- 1) N. Kinjo et al: Advances in Polymer Science, Vol.88, p.1, Springer-Verlag (1989)
- 2) (株)日立製作所半導体事業部編, 表面実装型LSIパッケージの実装技術とその信頼性向上, 応用技術出版 (1988)
- 3) 春日: CSP/BGA技術, 日刊工業新聞社 (1998)
- 4) 日経マイクロデバイス, p.44 (1998年8月号), 同, p.40 (1999年2月号), など
- 5) ハイブリッドマイクロエレクトロニクス協会編, エレクトロニクス実装技術基礎講座, 工業調査会 (1994)
- 6) TAB-IC (TCP) マーケット現状とアプリケーション将来展望 '93, (株) ネットブレイン (1993)
- 7) 半導体封止用材料の開発と信頼性技術, 技術情報協会 (2001)
- 8) Dr. Di Stefano et al: Electro. Prod., 2, p.327 (1996)
- 9) 富山, 外: ネットワークポリマー, 21 (3), p.136 (2000)