

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「IC 及び SMD 混載モジュール用樹脂封止剤の真空加圧成型プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 特定非営利活動法人 J R C M 産学金連携センター

目 次

第 1 章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	4
1-2-1 研究組織及び管理体制	4
1-2-2 研究員及びプロジェクト管理員	5
1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	6
1-3 成果概要	6
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	6
第 2 章 本論	7
2-1 真空加圧成型システム機の成型条件の検討	7
2-2 真空加圧成型システム用封止材料の開発	13
2-3 真空加圧システムで開発したモジュールの評価	20
第 3 章 全体総括	26
3-1 研究開発成果	26
3-2 今後の課題および事業化展開	26
参考文献・引用文献	26
専門用語の解説	27

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

サンユレック社では、従来から液状エポキシ樹脂を活用する真空印刷封止システム（Vacuum Printing Encapsulation System, VPES 法）を開発し、封止モールドを形成してきたが、モジュールの一層のコンパクト化に対応して、厚み、形状の寸法精度が厳しく要求され、信頼性の要求も高まっていることから新たな開発ニーズが高まっていた。

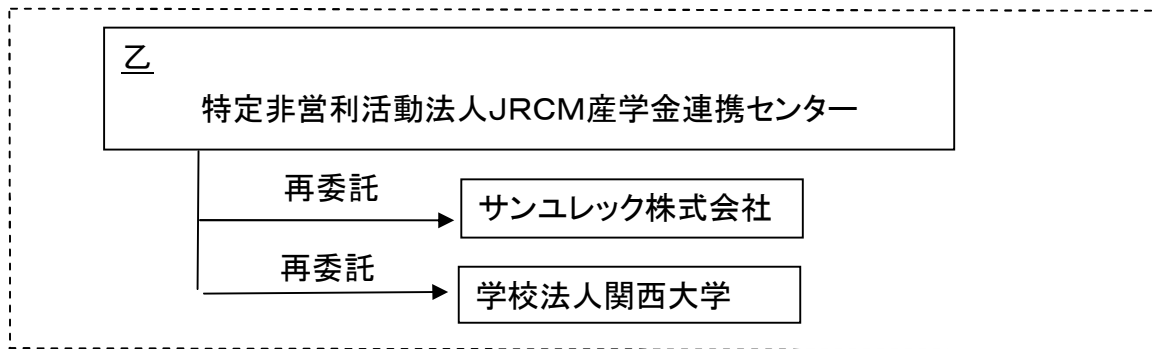
封止樹脂の固相及び液層の相変化を活用し、IC 及び SMD（表面実装部品）混載モジュールを一体的に封止し、高密度、高信頼性の樹脂封止モジュールを可能にする真空加圧成型システム及びこれに適合する樹脂を開発し、携帯電話、医療機器等電子機器のコンパクト化、高信頼性を図り、川下ユーザー企業のニーズに対応する。

開発するプロセスは、①金型に IC・SMD 混載モジュールを装着 ②顆粒状樹脂を IC・SMD 混載モジュールに供給 ③加熱による樹脂の流動化、④金型内真空吸引によるボイド除去 ⑤金型の加圧・表面形状の精密化 ⑥樹脂の硬化 ⑦IC・SMD 混載モジュールの金型からの取出 という工程により内部品質に優れ、表面形状が精密な IC・SMD 混載マイクロモジュールを高効率かつ高信頼性で生産する一連のプロセスである。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

(1) 研究組織(全体)



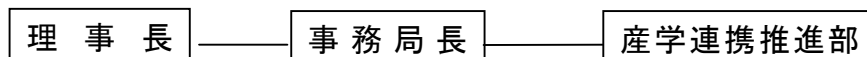
総括研究代表者（P L）
サンユレック株式会社
半導体事業部
部長
永井 孝一良

副総括研究代表者（S L）
学校法人関西大学
化学生命工学部 化学・物質工学科
助教
原田 美由紀

(2)管理体制

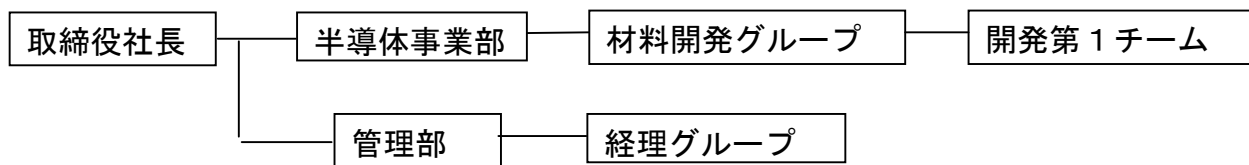
①事業管理者

[特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター]

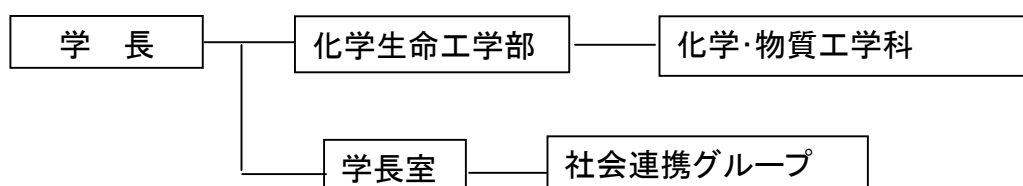


②(再委託先)

サンユレック株式会社



学校法人関西大学



1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理者】特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小島彰	理事長	④
伊藤瑛二	産学連携推進部長	④
浜田 ちひろ	産学連携推進部管理員	④
佐藤麻子	産学連携推進部管理員	④

【再委託先】

サンユレック株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
奥野 敦史	代表取締役社長	
永井 孝一良	半導体事業部長	① ② ③
萩島 賢晃	半導体事業部 材料開発グループ グループリーダー	① ② ③
宮脇 有紀	半導体事業部 材料開発グループ 開発第1チームリーダー	① ② ③
雪丸 城司	半導体事業部技術担当者	① ② ③

学校法人関西大学

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
原田 美由紀	化学生命工学部 化学・物質工学科 助教	②

1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター

(経理担当者)理事長 小島彰

(業務管理者)理事長 小島彰

(再委託先)

サンユレック株式会社

(経理担当者) 管理部 部長 中津川 晴通

(業務管理者) 半導体事業部 部長 永井孝一良

学校法人関西大学

(経理担当者) 学長室 社会連携グループ 前田正吾

(業務管理者) 学長室 社会連携グループ グループ長 島貫未来夫

1－3 成果概要

本開発では、新たな真空加圧成型システム機の最適運転条件の検討、及びその成型品の形状や反りなどの確認を行い、成型タイム5分以内で未充填箇所無しの樹脂成型品を完成させることができた。従来技術の液状封止に比べて、寸法精度にかなり優れている。また、モジュール用液状樹脂をBステージ化させ、顆粒化させる技術も検討した。その開発した顆粒樹脂とテスト用モジュール基板を使って作成したモジュールパッケージの信頼性評価を行なった結果、液状樹脂のモジュール製品と差異がないことが確認できた。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

法人名：特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター

住所：〒115-0003 東京都港区西新橋1丁目5番11号

第11東洋海事ビル6階

連絡担当者名・所属役職：伊藤瑛二 産学連携推進部 部長

TEL:03-3592-1381 FAX:03-3592-1285

第2章 本論

2-1 真空加圧成型システム機の成型条件の検討

2-1-1 成果の概要

本開発では、新たな真空加圧成型システム機の最適運転条件の検討、及びその成型品の形状安定性や寸法精度、反りなどの確認を行い、成型タイム5分以内で未充填箇所無しの樹脂成型品を完成させることを目標に掲げている。実験は、成型温度や特性の異なったFR-4基板など条件を変え、寸法精度、反り、充填性の比較を行なった。その結果、既存の技術である液状印刷封止と比較して、反りが大きくなってしまったことがわかった。反りが大きいと、部品への応力も大きくなる上、その後の工程であるダイシングが不可能になってしまう。今回は、反り対策として、成型後固定しながら徐冷する方法も検討した。その結果かなりの反り改善ができています。また、寸法精度と充填性には、かなり優れていることもわかった。これより具体的な結果、成果について報告する。

2-1-2 成型条件

今回開発する新しい真空加圧成型システム機の成型プロセスは以下のようになる。

- ① あらかじめ成型温度まで、金型を温めておく。(8時間以上)
- ② 下部金型に離型フィルムを吸着させる。
- ③ 上部金型に基板を吸引固定する。(チップなど搭載された能動面は下向き)
- ④ 下部金型に樹脂を投入する。(樹脂は、成型厚に関与する為重量管理されている)
- ⑤ 下部金型が*¹ プリヒート位置まで上昇する。
- ⑥ 金型内が設定時間、真空引きされる。
- ⑦ 設定された圧力になるまで加圧される。
- ⑧ 設定時間保持され、加圧硬化される。
- ⑨ 下部金型が下降し、成型された基板を取り出す。

*¹ プリヒート位置：真空引きの際の上部金型と下部金型の隙間の設定(クリアランス)
量産時などは、②の基板搬入、④の樹脂投入、⑨の基板排出はすべて自動で行なわれるが、今回は試作機のため、これらは手動で行なった。

上記成型プロセスを行なう上で、主には表 2-2-1 のような設定項目があり、これらの条件によって、成型品の出来具合が異なってくる。例えば、プリヒート位置(クリアランス)が低いと(クリアランスが大きい)、真空引き時に樹脂が金型外へ飛び出し、樹脂漏れが発生してしまう。反対にプリヒート位置が高いと(クリアランスが狭い)、真空引き力が弱い、あるいは真空になってない状態(空気がある状態)で密閉され、加圧が始まることになり、充填性や気泡の原因にもなってしまいます。今回は、ま

ず下記の条件（表 2-1-1）でトライした。

表 2-1-1 成型条件例

成型温度	150℃～170℃
成型時間	5 分以内
クリアランス	0.2mm
真空引き時間	2 秒
樹脂重量	10g（約 0.7mmt 設定）
* ² 設定圧	70kN

また、樹脂にかかる単位面積辺りの圧力は金型のサイズを $X \times Y$ とすると、下記のように計算して求める。

$$\text{圧力 (kg/cm}^2\text{)} = P \times X \times Y \times 9.8 / (1000 + F)$$

P : *² 設定圧 F : 金型反力

（金型内のスプリング設定、チェイスホルダー 0 リング状態により変動）

今回金型サイズが、8.8cm×8.5cm であり、金型反力 F は約 7kN であることから、表 2-2-1 の設定圧の場合、成型圧力は下記ようになる。

<70kN 設定の場合の成型圧力>

$$70 \times 8.8 \times 8.5 \times 9.8 / (1000 + 7) = \text{約 } 51 \text{Kg/cm}^2$$

これらの成型条件で、成型後の外観確認を行なった。

2-1-3 成型後の反り確認

成型後の反り確認用基板は、下記のような特性の異なる樹脂基板 FR-4（0.3mm t）を用いた。それぞれの特徴を、表 2-1-2 に示す。

表 2-1-2 基板の特徴

基板	特徴	T _g		CTE		
		TMA	DMA	縦方向	横方向	厚さ方向
A	汎用	125℃	150℃	14ppm	17ppm	65ppm
B	汎用 2	125℃	150℃	13ppm	15ppm	65ppm
C	高 T _g （FR-5 相当）	175℃	200℃	13ppm	15ppm	65ppm
D	低膨張、高 T _g	175℃	200℃	11ppm	15ppm	33ppm
E	ハロゲンフリー低膨張	160℃	180℃	12ppm	13ppm	27ppm
F	低膨張	135℃	155℃	12ppm	13ppm	26ppm

また、樹脂は、モジュール用液状樹脂を B ステージ化し、顆粒化したものを用いた。成型温度は、成型時間 5 分以内が可能な 150℃以上の温度条件下で、できるだけ短い時間に設定した。反りの確認は、フラットな台に基板面を下に置き、4 角浮き量の平

均を反り量とした。

表 2-1-3 成型後の反り 1

基板	成型条件	①	②	③	④	平均
A	150℃/5 分	17.5	15.0	0.5	1.0	8.5
	160℃/3 分	18.0	16.0	1.5	1.0	9.1
	170℃/2 分	19.0	19.5	1.0	0.5	10.0
B	150℃/5 分	14.0	16.5	1.0	1.0	8.1
	160℃/3 分	15.0	15.5	1.5	1.5	8.4
	170℃/2 分	17.5	19.0	0.1	0.1	9.2
C	150℃/5 分	13.0	13.5	0.5	1.0	7.0
	160℃/3 分	14.0	14.0	1.5	1.5	7.8
	170℃/2 分	15.5	16.0	1.0	0.5	8.3
D	150℃/5 分	15.0	15.0	1.0	1.0	8.0
	160℃/3 分	15.5	15.5	1.5	1.0	8.4
	170℃/2 分	15.0	15.5	2.5	2.5	8.9
E	150℃/5 分	13.0	14.0	1.0	0.5	7.1
	160℃/3 分	16.0	15.0	1.0	1.0	8.3
	170℃/2 分	18.0	19.0	0.5	0.5	9.5
F	150℃/5 分	13.5	13.0	2.5	2.0	7.8
	160℃/3 分	15.0	15.0	2.5	3.0	8.9
	170℃/2 分	18.5	17.0	1.0	0.5	9.3

基板種にかかわらず、成型温度が高い程反りは大きくなる傾向がある。これは、室温まで冷却される際の収縮により発生するが、成型温度が高いと、より室温との温度差が大きいため、上記のような結果になったと推察できる。これらの結果より、さらに成型温度を低くすることにより、改善されると思われるが、成型時間が5分以上となり、生産性が悪くなる。反りを改善するためには、樹脂の膨張係数を小さくする、或いは樹脂の硬化スピードを上げて成型温度を低くする方法も考えられるが、成型時の樹脂流動性や、ポットライフなどが同時に悪くなると思われ、これらを総合的に考慮した樹脂開発が必要となってくる。今回は、実績のあるモジュール用液状樹脂の顆粒化したもの樹脂Aで反り低減した成型ができるように、工法側から反り対策を試みた。

2-1-4 反り対策と反り改善

簡単にできる反り対策として、成型後固定しながら徐冷する方法を試みた。固定は、約1KgのSUS板2枚を使用し、あらかじめ金型温度と同じ温度に温めておき、成型後、

すぐに板に挟んだ状態で、約2時間放置した。(図 2-1-1 参照) 後硬化後も同様に反り対策を行い、それぞれの効果を確認した。

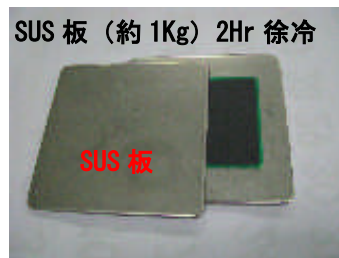


図 2-1-1 反り対策

反り対策した成型後の反り結果を表 2-1-5 に示した。かなりの効果が見られた。

表 2-1-3 成型後の反り 2 (対策有)

基板	成型温度	①	②	③	④	平均
A	150°C/5 分	1.5	1.0	1.5	1.0	1.3
	160°C/3 分	1.5	1.0	1.5	1.0	1.3
	170°C/2 分	2.0	1.5	1.5	2.0	1.8
B	150°C/5 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	160°C/3 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	170°C/2 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
C	150°C/5 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	160°C/3 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	170°C/2 分	1.5	1.0	1.0	1.0	1.1
D	150°C/5 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	160°C/3 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	170°C/2 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
E	150°C/5 分	1.5	1.0	1.5	1.0	1.3
	160°C/3 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	170°C/2 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
F	150°C/5 分	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	160°C/3 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	170°C/2 分	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

対策有無で反り結果が 1/10 近く下がったことから、反り対策をすれば、その後のダイシング工程でも影響は出ないと思われる。図 2-1-2 は、各成型温度での反り対策効果を示している。

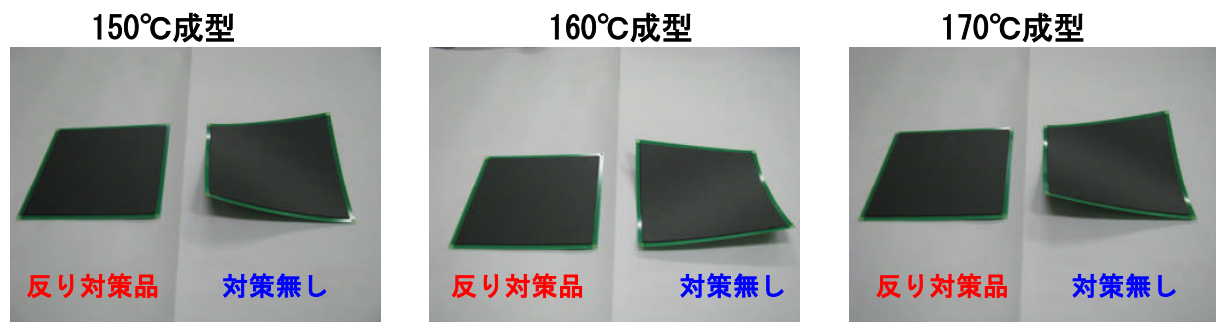


図 2-1-2 反り対策品との比較

2-1-5 成型後の形状確認

成型後の寸法安定性を確認するため、マイクロメーターにより、厚み測定を行なった。厚みは、中心1点と4角付近の5点測定した。

表 2-1-4 成型後の厚みばらつき（成型条件 170°C／2 分）

基板	厚み（mm）							
	①	②	③	④	⑤	Min.	Max.	Ave.
A	0.72	0.72	0.73	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73
B	0.74	0.73	0.74	0.74	0.75	0.73	0.75	0.74
C	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.72	0.73	0.72
D	0.75	0.74	0.75	0.75	0.76	0.74	0.76	0.75
E	0.74	0.75	0.73	0.73	0.75	0.73	0.75	0.74
F	0.73	0.73	0.74	0.73	0.74	0.73	0.75	0.73

1 枚のモジュール基板の中で、厚みばらつきは $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内であり、精度は良いと判断できる。ブリードや未充填具合が発生しない条件設定ができれば、金型成型のメリットである寸法安定性やフラット性は、かなり良好と言える。

2-1-6 真空印刷機による液状樹脂封止との比較

同様に、従来工法である真空印刷機での成型比較を行なった。金型と同じサイズのマスクを作成し、液状印刷封止したモジュール基板の反り結果を表 2-1-5 に示した。また、基板は、真空加圧成型システムで確認した基板と同じものを用いた。真空加圧成型と比較して全体的に反りが小さく、基板種による差は同様にあまり見られない。そして、仮硬化後と比較すると、後硬化後は反りが大きくなっている。これは、仮硬化時の硬化率がまだ十分でないことから、密着性や架橋密度が小さいためと思われる。ただ、反りの小さい仮硬化後にダイシングを行えば、生産プロセスも可能であり、実際その方法で量産化されている。

表 2-1-5 真空印刷封止による成型の反り

基板	内容	仮硬化後の反り	後硬化後の反り
		平均	平均
A	汎用	3.1	6.0
B	汎用 2	2.5	5.8
C	高 T _g (FR-5 相当)	2.5	5.5
D	低膨張、高 T _g	3.0	6.0
E	ハロゲンフリー低膨張	3.4	5.8
F	低膨張	2.9	5.0

これに比べて、真空加圧成型システム機では、1ショットの時間を短くする必要があり、どうしても高温での成型になってしまう。また、真空加圧成型と同様に反り対策を行った場合の結果を表 2-1-6 に示した。

表 2-1-6 真空印刷封止による反り対策時の反り

基板	内容	仮硬化後の反り	後硬化後の反り
		平均	平均
A	汎用	1.0	1.0
B	内容確認中	1.0	1.0
C	高 T _g (FR-5 相当)	1.0	1.0
D	低膨張、高 T _g	1.3	1.3
E	ハロゲンフリー低膨張	1.0	1.0
F	低膨張	1.0	1.3

次に、厚み寸法ばらつきについて、確認した結果を表 2-1-7 に示す。

表 2-1-7 真空印刷液状封止成型の厚みばらつき

基板	厚み (mm)							
	①	②	③	④	⑤	Min.	Max.	Ave.
A	0.67	0.70	0.68	0.68	0.73	0.67	0.73	0.69
B	0.72	0.69	0.67	0.71	0.71	0.67	0.72	0.70
C	0.69	0.71	0.70	0.70	0.77	0.69	0.77	0.71
D	0.75	0.69	0.69	0.70	0.82	0.69	0.82	0.73
E	0.68	0.71	0.70	0.69	0.85	0.68	0.85	0.73
F	0.72	0.74	0.72	0.70	0.71	0.70	0.74	0.72

このように印刷封止では、樹脂流れなどで封止エリアが安定できないため、真空加圧成型システムと比較すると、明らかに、厚みばらつきが大きくなってしまっている。

2-2 真空加圧成型システム用封止材料の開発

2-2-1 成果の概要

本開発では、モジュール用液状封止樹脂を、B ステージ化させたものを粉砕することにより顆粒化させる技術を検討した。まず、B ステージ条件の検討を行なった。サンユレックでは、DSC（差走査熱量測定）による硬化度測定と、TAインスツルメントのレオメーター（AR-G2）を利用し、条件ごとの弾性率、粘度などの物性確認を行なった。また関西大学のご協力により、同条件下でFT-IRによるエポキシ変換率やGPCによる分子量分布を測定して頂き、樹脂の構造から反応進行度を確認した。次に、Bステージ化したシート状の樹脂を、実験用粉砕機を用いて顆粒化の検討を行なった。顆粒サイズは、成型時に扱いやすいように、ある程度コントロールする必要がある。粉砕機のメッシュサイズを変更することにより、適度なサイズの顆粒樹脂を作ることができた。顆粒樹脂と液状樹脂から成型された高周波誘電率特性の違いについても報告する。

2-2-2 材料の選定

顆粒化する樹脂材料は、先に述べたモジュール用樹脂をベースに用いた。モジュール用樹脂Aの特性を表2-2-1に示した。この樹脂は界面の密着性が大変強く、低吸水、低膨張の特徴を持つ。また、室温での弾性率が高いが、リフロー時の弾性率が極端に低くなる特徴を持ち、リフロー時に起こる樹脂内の半田の膨張に追従し、応力を小さく抑えることができる。

表 2-2-1 モジュール用樹脂Aの硬化物特性

項目	単位	モジュール用樹脂 A
特徴	—	高密着、低膨張
フィラー%	wt%	> 80
比重	—	1.9
吸水率（85°C/85%/168Hr）	wt%	0.4
接着性（Al-Al 引っ張りせん断）	Mpa	12
ガラス転移温度 T_g （TMA）	°C	60
線膨張係数 CTE α_1	ppm/°C	12
線膨張係数 CTE α_2	ppm/°C	50
ヤング率 E T_g 以下	Gpa	20
ヤング率 E T_g 以上	Mpa	210

2-2-3 Bステージ条件の検証

今回は、量産性を考慮し、120℃でBステージ化させる条件を基準とし、安定して作成可能な低温（100℃、80℃）でのBステージ化についても検討比較を行なった。

表 2-2-2 Bステージ状態の確認内容

装置	確認内容	測定担当
DSC	Bステージ状態の反応熱から硬化率の確認	サンユレック
レオメーター	Bステージ状態の弾性率と粘度の確認	サンユレック
FT-IR	Bステージ状態のエポキシ基 変換率の確認	関西大学
GPC	Bステージ状態の分子量の確認	関西大学

まず、DSCによる硬化率の測定を行なった。

測定方法は、まず液状の樹脂（Aステージ）から測定した全反応熱量（ $A_{J/g}$ ）を測定する。次に、熱がかけられた樹脂（Bステージ）の反応熱量（ $B_{J/g}$ ）を測定し、それを比較した結果から得られる。

$$\text{＜計算式＞ 硬化率（％）} = (A - B) / A \times 100$$

上記計算式より算出した値をグラフにまとめた。（図 2-2-1）

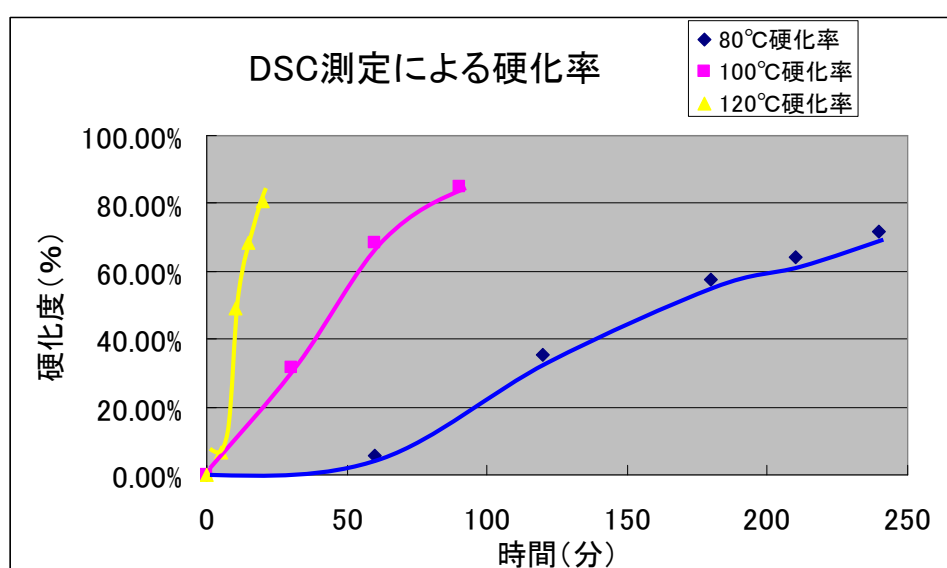


図 2-2-1 DSC測定による硬化率のグラフ

この結果より例えば、硬化率 60%を達成するのにかかる時間は、120℃なら約 13 分、100℃なら約 50 分、80℃であれば約 200 分程である。

次に粘弾性測定レオメーター（AR-G2、TA インストルメント社製）による、弾性率（ G' 貯蔵弾性率、 G'' 損失弾性率）と複素粘度を求め、各Bステージ条件でそれぞれの値を比較検証してみた。温度は、80℃、100℃、120℃で一定に保ち、その間の弾性率と粘度を確認した。

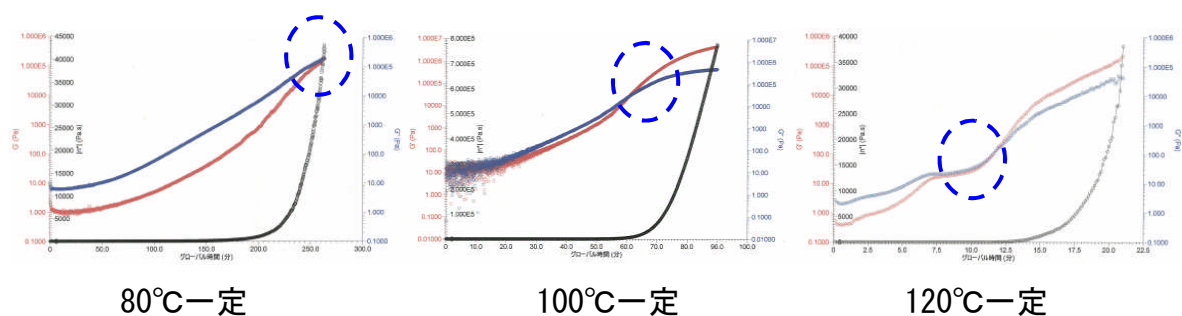
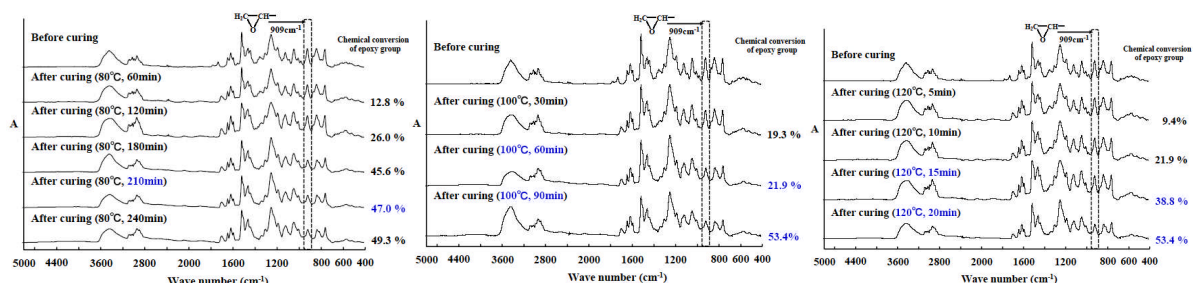


図 2-2-2 レオメーターによる粘弾性チャート

これらのチャートを観察すると、いずれの温度でも、 G' の貯蔵弾性率と G'' の損失弾性率の値が逆転（交差）するところが存在する。貯蔵弾性率は、外部からの仕事によるエネルギーを物質内に溜め込むことができる特性を表す弾性率であり、この貯蔵弾性率が高くなれば、変形挙動が固体的になったと言える。また、損失弾性率は、外部からの仕事によるエネルギーを熱エネルギーなどの形で損失する特性を表す弾性率であり、この損失弾性率が高い時（チャートの初期）は、変形挙動が液体的である。よって、このポイントで、物性の変換が起きていると言え、実際この交差部分から、一気に複素粘度も上昇している。これらの結果から、80℃では、約 240 分、100℃では約 60 分、120℃では約 12.5 分のところで変形挙動が固体的に変化している。

次に関西大学のご協力で、FT-IRによるエポキシ変換率の測定、及びGPCによる分子量分布の確認を行い、先に述べた物性的なデータと材料の構造面からのデータとの相関性について確認した。

まず、FT-IR（フーリエ変換赤外分光）測定により、硬化過程のエポキシ基反応率の追跡を行なって頂いた。装置は、フーリエ変換型赤外線吸収測定装置(SPECTRUM 100、PERKINELMER 社製)を用いて測定された。測定はKBr 法によって行い、円盤状に成型した資料を用いて行なった。また、 1500cm^{-1} の芳香環に起因すると考えられるピークを内部標準とし、 910cm^{-1} のエポキシ基のピークの減少面積から評価した。

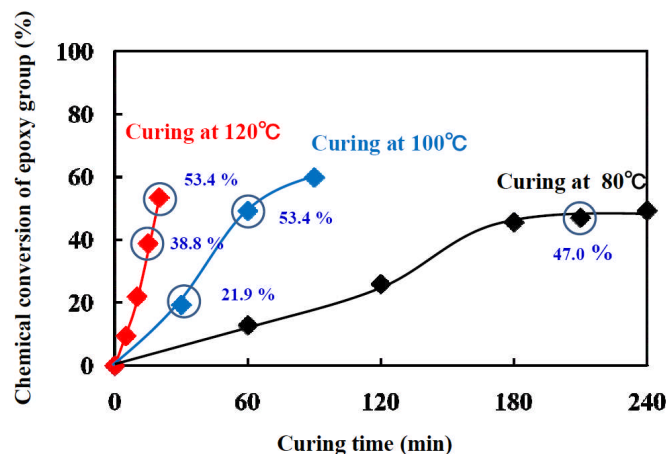


80℃Bステージ化

100℃Bステージ化

120℃Bステージ化

図 2-2-3 FR-IR 測定チャート

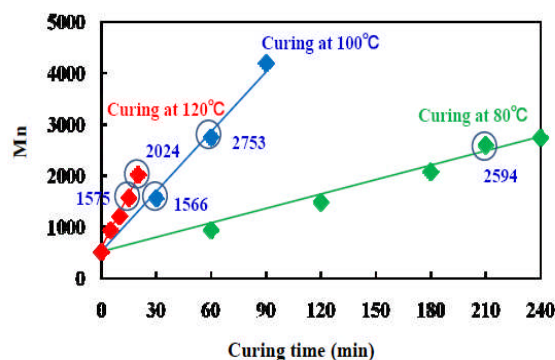


測定条件：測定領域 $5000\text{cm}^{-1}\sim 400\text{cm}^{-1}$ 、積算回数 4 回、分解能 4.0cm^{-1}

図 2-2-4 硬化時間に対するエポキシ反応率変化 (FT-IR)

これらの結果から、硬化温度の上昇に伴って反応速度が大幅に増大していることが確認された。また、80℃硬化系では反応時間 180 分で反応率がゆっくりと漸近してきており、系の粘度上昇に伴って拡散律速状態にあるものと考えられる。120℃硬化では、反応率は急激に増加しているが、50%以上のエポキシ基反応率にもかかわらず、80℃硬化系に比べて拡散律速状態になっていないものと考えられる。また、120℃硬化では、反応の進行が非常に早いため、硬化度を再現性良く一定とするのは、若干困難であると予想される。

次に GPC 測定により、硬化反応過程における分子量の変化を確認して頂いた。数平均分子量分布の結果をグラフ上にまとめた。(図 2-2-5)



測定条件：検出器 示差屈折率計、カラム温度 40℃、流速 1.0ml/min、キャリア液体 THF

図 2-2-5 硬化時間に対する数平均分子量の変化 (GPC)

GPC 測定でも、各温度条件では、その他の測定と同様の挙動を示している。また、今回、B ステージ状態のばらつきを考慮して、サンユレックで作成した顆粒樹脂と関西大学で調製して頂いたサンプルの分子量分布を比較して頂いた。その結果、80℃・

210 分の系では、ほぼ再現性が取れていることがわかった。しかし、120℃の系では分子量に誤差が観察され。これらのことから、やはり 120℃でのBステージ化は反応速度が非常に早いために、実験室レベルでは、精密に分子量を制御することが困難であると思われる。

2-2-4 顆粒化の検討

これらの物性や化学構造から得られた分析データを参考に各温度でBステージ化した樹脂を顆粒化する検討を行なった。各温度下で顆粒化できる最短時間を検討し、その結果、分析データとほぼ近い、80℃/210 分、100℃/60 分、120℃/15 分が顆粒化できる最短時間とした。ただ、その中で 120℃/15 分は、オープン温度分布のばらつきや、大きさ、風の強さなどでばらつきが大きい。同じように作成したつもりでも、樹脂の硬さに差が見られた。安定したBステージ樹脂を作成するには、やはり 80℃でゆっくりBステージ化させたものが最も安定した硬さの樹脂が可能である。ただ、量産工程では、樹脂の量や厚み、オープンなど一定条件下でBステージ化されるため、その後の保存安定性が問題なければ、十分可能であると思われる。よって、今回は、標準条件として 120℃/15 分のBステージ樹脂で、顆粒化の検討を行うことにした。粉碎機はダルトンの設備を検討した。



図 2-2-6 実験用小型粉碎機 (ダルトン社製)

図 2-2-7 は、粉碎機を使って顆粒化検討したもので、メッシュ（スクリーン）の粗さを変えて、それぞれ試作してみた。

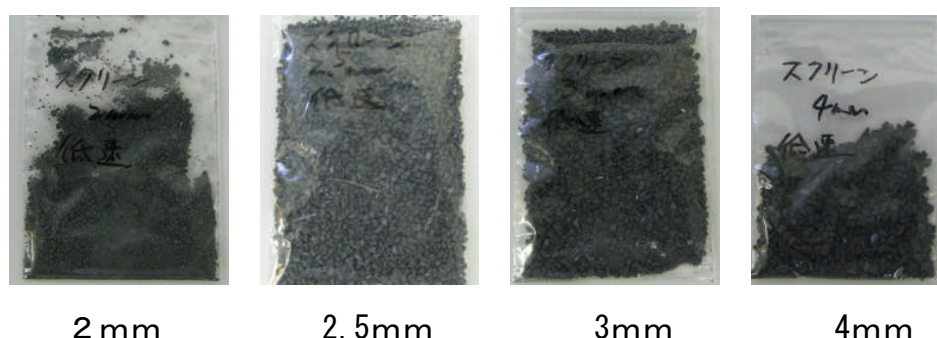


図 2-2-7 スクリーンサイズ別顆粒樹脂

メッシュサイズ 2mmは、粉状になってしまうものが多く、また 4mmは大きすぎるため、成型時の重量管理が難しい。メッシュサイズは、2～2.5mmのものが最適のように思われる。

2-2-5 顆粒樹脂の保存安定性確認

次に顆粒化した樹脂の保存安定性について確認した。今回一液性の封止樹脂をさらに途中まで反応させる方法でBステージ化させているため、保存安定性に欠けることが懸念される。ある程度の保存性（ポットライフ）がないと、量産時に使用することができない。今回、保存安定性の確認として、 -20°C での冷凍保管後の物性確認を行った。

表 2-2-3 保存安定性の確認項目

装置	確認内容
レオメーター	顆粒～成型温度時の粘度、弾性率の確認
オートグラフ	接着性の確認

レオメーターは、測定誤差を減らすために、顆粒樹脂をタブレット状にして測定した。条件は、成型時の流動性に変化がないか確認するために、成型温度と同じ環境下で測定した。測定の初期はサンプルセット時間のばらつきで、測定誤差が生じやすいため、成型時間の半分の時間の貯蔵弾性率と粘度の数値をピックアップし、保存後の状態変化を確認した。（図 2-2-8）

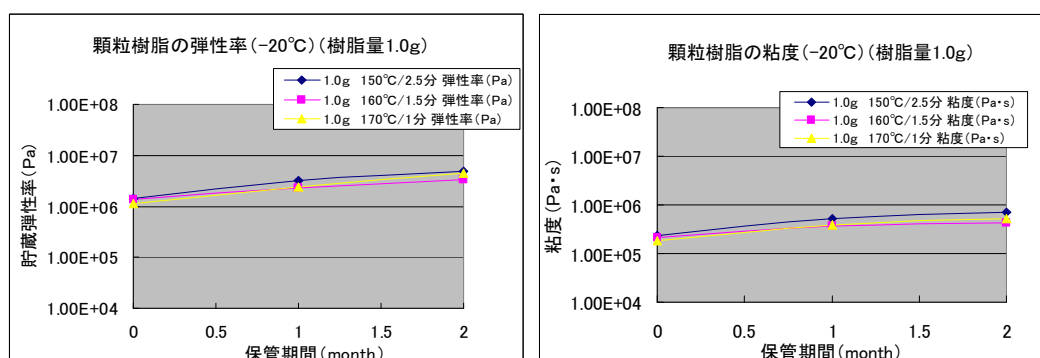


図 2-2-8 顆粒樹脂の保存安定性確認（弾性率と粘度）

上記のように、急激な劣化はないものの若干の弾性率と粘度の上昇が見られる。

次に接着性の確認を行った。接着試験はアルミの引っ張りせん断試験で確認した。テストサンプル形態を、図 2-2-9 より示す。

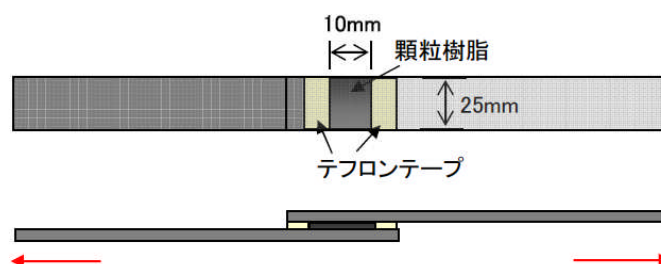


図 2-2-9 接着試験サンプル

表 2-2-4 顆粒樹脂の保存安定性確認（接着性）

顆粒化		実測値	Ave.
作成後すぐ	N=3	13.65 Mpa	13.22 Mpa
		13.73 Mpa	
		12.28 Mpa	
保管 1 ヶ月後	N=3	13.08 Mpa	12.68 Mpa
		12.37 Mpa	
		12.58 Mpa	
保管 2 ヶ月後	N=3	10.30 Mpa	11.73 Mpa
		12.68 Mpa	
		12.22 Mpa	

測定は、N=3 で行なった。少しばらつきはあるが、平均を見てみると、若干の小さくなっている。保管で B ステージ化が少し進んだためと思われるが、液状モジュール用樹脂の代表値は 12MPa（表 2-2-1）であり、問題ないレベルと思われる。ただ、今後どの程度のばらつきまで製品への信頼性が問題ないかなど、充填性、特性、信頼性のマージンについても確認していく必要がある。

2-2-6 液状樹脂との比較

液状樹脂（A ステージ）から硬化（C ステージ）させたものと、顆粒樹脂（B ステージ）から硬化（C ステージ）したものの硬化物特性の比較を行なった。特性の比較は、高周波誘電率特性を確認した。顆粒樹脂の硬化物試験片を作成するために、真空加圧成型機で樹脂厚 1mm になるように成型して作成した。また、今回測定した顆粒樹脂の B ステージ条件は、120℃・15 分のものを用いた。

表 2-2-5 高周波誘電率、誘電正接（空洞共振器摂動法）

樹脂	周波数	誘電率	誘電正接
① 液状	1Hz	3.512	0.0066
	2.45GHz	3.518	0.0064
	5GHz	3.479	0.0063
	10GHz	3.358	0.0065
② 顆粒樹脂	1Hz	3.448	0.0062
	2.45GHz	3.451	0.0062
	5GHz	3.411	0.0062
	10GHz	3.296	0.0064

誘電率は、若干低めにシフトしている。

今後、その他の物性（CTE、T_g、E'、吸水率など）も確認していく予定である。

2-3 真空加圧システムで開発したモジュールの評価

2-3-1 成果の概要

本開発は、顆粒樹脂を用い、真空加圧成型システムで作成したモジュール成型品の信頼性評価を実施し、従来技術である印刷封止成型品と差異がないこと（信頼性クリア）を目標に掲げている。実際の製品に近い形で確認したいため、テスト用モジュール基板（TEG基板）を設計した。成型後、SAT（超音波顕微鏡）で充填性を確認し、抵抗値の確認を行なった。信頼性項目は、前処理条件である吸湿リフロー試験を行い、試験前後の抵抗値確認及びSATによる非破壊検査を行なった。環境試験は、冷熱サイクル試験を行った。冷熱サイクル試験中、導通評価システムを利用し、抵抗値の変化を後で追えるようにしている。また、同時に特性の異なる低弾性タイプの顆粒樹脂も比較評価している。その結果、従来技術の真空印刷成型と差異が無いことがわかった。ただ、TEG基板の洗浄不足による不具合も発生しており、信頼性評価結果と今後の課題についても報告する。

2-3-2 評価用TEG基板の設計

信頼性評価を行なうために、テスト用モジュール基板（TEG基板）を作成する必要がある。今回、弊社顧客からの情報や経験を参考にTEG基板を設計した。基板サイズは、現在保有している金型サイズに合わせて設計することにした。TEG基板には、半田接続されたFC（フリップチップ）搭載とチップ部品（今回は抵抗）を搭載することにした。モジュールPKG基板の主な仕様は以下のとおりである。

表 2-3-1 モジュールPKG基板仕様

基材	E679FG Low プロファイル材(9 μ m 銅箔仕様)
総厚	0.3mm $\pm$ 0.06mm(SR-SR)
層数	両面(THメッキあり)
外形	94mm $\times$ 91mm
PKG	14.8 $\square$ (5 $\times$ 5pcs)
L/S	100 μ m/100 μ m
FC搭載部分	ランド径 ϕ 190 μ m/GAP65.4 μ m
FC搭載部SR開口	Bottom 開口 ϕ 100 μ m $\pm$ 10 μ m 狙い
	TOP ϕ 130 μ m $\pm$ 10 μ m
	SR厚 パット上で10 μ m $\sim$ 20 μ m狙い
SR	PSR4000G24K
表面処理	無電解Ni-Auフラッシュ

上記仕様に基づいて設計した基板外形図面を図 2-3-1 より示す。

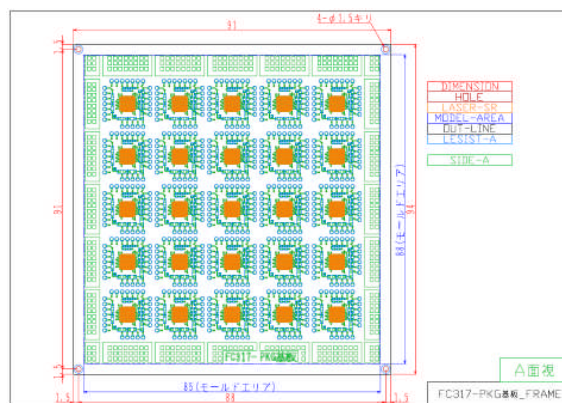


図 2-3-1 モジュール PKG 基板外形図

また F C の仕様を表 2-3-2 に示す。

表 2-3-2 フリップチップ (FC) の仕様

チップサイズ	5mm□
Pitch	254 μ m
Metal 厚	17K Å
Passivation 厚	10K Å
バンプ高さ	125 μ m
Passivation タイプ	Nitride
UBM Metal 組成	Al98／Cu1.0／Si1.0
チップ厚	600～650 μ m
バンプタイプ	Pb フリー Sn95.5／Ag3.5／Cu0.5

F C は、モジュール基板の中心の 1pc にのみ搭載することにした。抵抗は、汎用的なサイズのもの 3 種類をそれぞれ 5 個ずつ直列に搭載した。3 種類の抵抗は、それぞれ 1K Ω の抵抗値のものを搭載した。抵抗は 1 枚の基板 (25pcs) の中に 10pcs 搭載した。1Pc のパッケージ図を図 2-3-2 に示す。

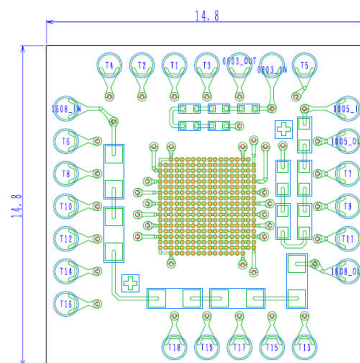


図 2-3-2 14.8□パッケージ図

それぞれのチップ抵抗は、同サイズのものを直列に配置し、サイズごとに $5\text{ k}\Omega$ になるように設計した。またフリップチップは 19 列あるうち、1 列ごとに配線を出し、全体のチェックのみではなく、1 列ずつの確認ができるように設計した。フリップチップの回路パターンを図 2-2-3 に示した。

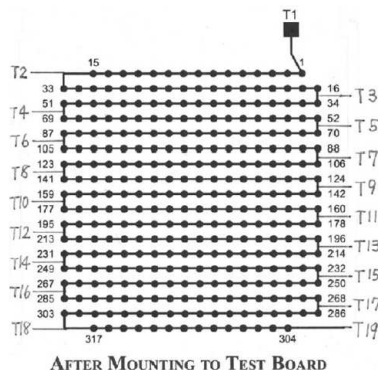


図 2-3-3 フリップチップの回路パターン

次に、評価ボードである 2 次実装基板を設計した。この基板、環境試験（ヒートサイクル試験機）に投入する際に使用する。今回設計した評価ボードの詳細仕様を表 2-3-3 に、図面を図 2-3-4 に示した。

表 2-3-3 評価ボード（2 次実装基板）の仕様

基材	E679FG（ $12\mu\text{m}$ 銅箔仕様）
基板厚	1.6mm
外形	80mm × 40mm
L/S	0.15mm/0.15mm（一部 0.1mm/0.1mm）
SR	PSR-4000G24K
表面処理	無電解Ni-Au（フラッシュ）

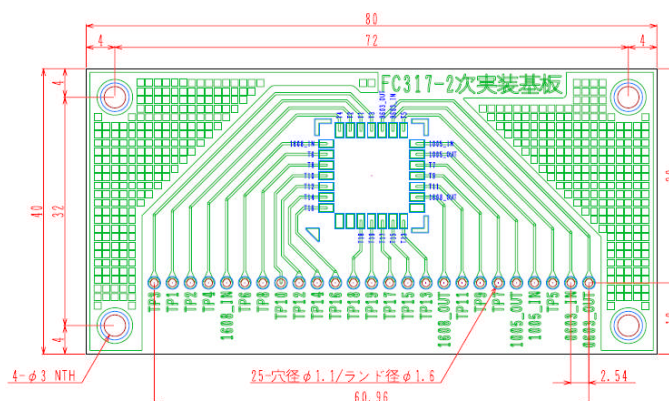


図 2-3-4 評価ボード（2 次実装基板）図面

2-3-3 評価用TEG基板への成型

信頼性評価用TEG基板に樹脂の成型を行なった。成型は以下の比較確認ができるよう、準備した。Bステージ条件は120℃・15分を基準とし、成型温度の比較及び樹脂種の比較を行なった。樹脂種の比較は、今まで評価してきたモジュール樹脂A（低膨張タイプ）を標準とし、もう一種を、逆に膨張率が高く、弾性率を低くしたタイプ、樹脂Bを比較評価することになっている。低弾性タイプBも低膨張タイプAと同様の条件で顆粒化した。評価サンプルは下記の条件で作成した。

表 2-3-4 信頼性評価用サンプルの成型条件

基板No.	樹脂	Bステージ条件	封止設備	成型温度
1	A 顆粒樹脂	80℃・210 分	真空加圧成型	170℃/ 2min
2	(低膨張タイプ)	120℃・15 分		
3	標準			150℃/ 5min
4	B 顆粒樹脂			170℃/ 2min
5	(低弾性タイプ)			150℃/ 5min
6	A 液状樹脂	無し		170℃/ 2min
7			150℃/ 5min	
8			真空印刷機	(100℃/1.5Hr)

また、液状樹脂Aを使用し、真空加圧成型で作成する基板No. 6と7は、成型圧力設定を40kNまで下げた。これは、70kNのまま成型すると、熔融粘度が顆粒に比べて極端に低いため、圧力が高すぎることから、バリが多く発生し、厚みが出なくなってしまう（薄くなってしまう）しまったためである。

2-3-4 前処理評価 吸湿リフロー試験

各条件下で成型後、ダイシングで小片化し、初期状態を確認したサンプルで吸湿リフロー試験を行なった。吸湿リフロー試験のプロセス及び条件は以下のように行い。リフロー後の抵抗値確認を行なった。

＜吸湿リフロー試験工程＞

- ① 乾燥 125℃／24Hr
- ② 吸湿 60℃／60％／120Hr (Level2A)
- ③ リフロー Pbフリー条件 Max. 260℃×3回

抵抗値確認の結果、FC部分は測定不可能となり、なんらかの不良が多発していると考えられた。また、チップ抵抗はリフロー前後で変化していない。そこで、成型後の同条件でSAT観察を行ない、変化を確認した。

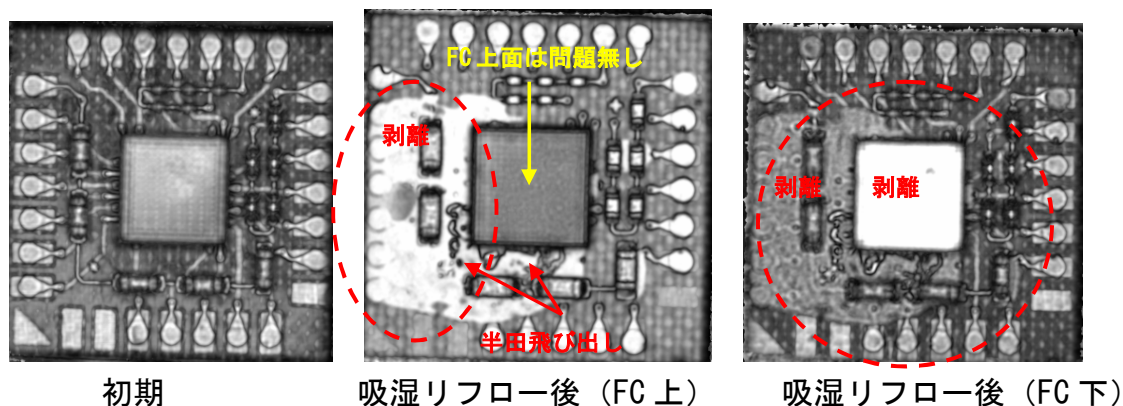


図 2-3-5 基板 No. 1 の吸湿リフロー後の SAT 写真

SAT 観察結果より、FC 上面は問題なく接着されている（剥離無し）。しかし、FC 下では、全面剥離し、基板と樹脂の界面からパッケージの外側に向かって剥離が進行してしまっている。また、半田が FC 外へ飛び出している様子も観察された。顆粒樹脂 B は反りの影響で SAT 観察が出来なかったが、その他の条件下で行なった基板もほぼ同様の結果となっている。今回の結果は、従来技術である基板 No. 8（液状樹脂を使用した真空印刷封止）でもクリアしておらず、量産されている基板と TEG 基板の仕様の条件差で NG になったと思われる。最も疑わしいのは FC 下のフラックスの残渣である。フラックス残渣があると、密着性が悪くなり、半田フラッシュが多発した経験を持つ。洗浄技術は各社試行錯誤で工夫されており、一般的な洗浄方法では、残渣の除去が困難であったと思われる。次工程であるヒートサイクル試験には、吸湿リフロー試験をしていないパッケージを使用して、評価していくことにした。

2-3-5 環境信頼性評価 冷熱サイクル試験

冷熱サイクル試験は、小片化したモジュール P K G を 2 次実装ボードに搭載し、評価する。また、2 次実装後の抵抗値も測定し、問題がないことを確認した。冷熱サイクル中の導通チェックは 4 つのケーブルにそれぞれ 10 C h ずつ、計 40 C h まで同時に測定ができる。今回、冷熱サイクル試験機には、表 2-3-5 の条件下で作成した 4 パッケージを投入することにした。

表 2-3-5 冷熱サイクル試験 評価サンプル

項目	樹脂	Bステージ条件	成型条件	工法
1	顆粒樹脂A	120℃・15 分	170℃・2 分	真空加圧成型
2	顆粒樹脂B	120℃・15 分	170℃・2 分	真空加圧成型
3	液状樹脂A	—	170℃・2 分	真空加圧成型
4	液状樹脂A	—	—	真空印刷

導通評価は、1 パッケージにつき 10 箇所ずつ（3 種のチップ抵抗と、F C は 1 列ずつ区切った 7 箇所）のポイントで確認することにした。（表 2-3-6）

表 2-3-6 冷熱サイクル抵抗値確認箇所

Ch数	Ch01	Ch02	Ch03	Ch04	Ch05	Ch06	Ch07	Ch08	Ch09	Ch10
測定箇所	抵抗 1608	抵抗 1005	抵抗 0603	FC T1-T2	FC T4-T5	FC T7-T8	FC T10-T11	FC T13-T14	FC T16-T17	FC T18-T19

冷熱サイクル条件は、-40℃～85℃（30 分）で運転する。

表 2-3-7 冷熱サイクル（-40～85℃）評価状況

No.	樹脂	工法	チップ抵抗	FC
1	顆粒樹脂A	真空加圧成型	OK(継続中)	OK(継続中)
2	顆粒樹脂B	真空加圧成型	OK(継続中)	72cycles T1-T2NG 83cycles T4-T5NG 94cycles T18-T19NG
3	液状樹脂A	真空加圧成型	OK(継続中)	OK(継続中)
4	液状樹脂A	真空印刷封止	OK(継続中)	OK(継続中)

冷熱サイクル試験の状況は、No. 2 の顆粒樹脂Bでのみ、抵抗値異常（上昇）が見られた。また、いずれも NG は高温側で起こっている。これは、顆粒樹脂 B は、膨張係数が大きいため、冷熱サイクル時のパッケージの伸び縮みが大きく、接続部のバンブに大きな応力がかかったためと思われる。低膨張タイプ樹脂 A を用いたサンプルは、いずれの条件下で成型されたものでも、問題はなかった。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

真空加圧成型プロセスの開発により、従来技術である真空印刷封止に比べて、生産性、寸法安定性、表面平滑性及び高密度パッケージへの充填性に優れたパッケージを作成することができた。また、液状樹脂をBステージ化させ、一定条件で粉砕することで、顧客のハンドリング面を考慮した顆粒樹脂も作成することができた。さらに、その開発した顆粒樹脂を使用して、真空加圧成型プロセスで作成したモジュールパッケージは、従来技術で作成したものと信頼性試験結果で差異はなく、量産化は可能であると判断することができた。

3-2 今後の課題および事業化展開

半田実装されたFCやSMD混載のモジュールPKGにおいて、最も大きな課題は前処理条件である吸湿リフロー評価である。しかし、今回使用したTEG基板ではすべての条件で不良が発生してしまった。量産実績のある液状樹脂の真空印刷封止でも同様に不良が発生していることから、TEG基板条件（特にフラックスの洗浄方法）に問題があったと思われる。しかし、今回の一連の結果から、既存技術である液状封止品と顆粒樹脂による真空加圧成型品との特性上の差異は見られないため、さらなる検証実験は必要だが、信頼性に差はなく、量産化できる可能性は高いと判断することができた。ただ、反り対策などプロセス側の工夫も必要となり、材料面の開発も今後必須である。また、信頼性評価の冷熱サイクル試験においては、標準とした樹脂では、顆粒樹脂、液状樹脂の真空加圧成型でも問題がないことがわかった。今回の導通評価システムの導入とTEG基板の使用により、特性の異なる樹脂の評価結果の差も明確にすることができ、今後は、さらに樹脂特性を改良させたものでも評価していきたい。また、もっと厳しい条件（-55℃～150℃など）下でも同様に確認していき、より高い信頼性を持った高密度パッケージの開発を行い、顧客ニーズに対応していく。

参考文献・引用文献

- 1) Okuno, et al.: "Wafer Level CSP Process by VPES", 2000 Int'l Symp on Electronic Materials & Packaging
- 2) Okuno, et al.: "Combination technology of low warpage epoxy resin and Vacuum Printing Encapsulation System (VPES) for stacked IC", The Fifth VLST Packaging Workshop of Japan, 2000
- 3) Okuno, et al.: "New Packaging Technology by VPES (Vacuum Printing Encapsulation Systems) of CSP, Wafer Level Packaging, SIP and LED", Proceeding of The 2003 Fall Technical Symposium on Microelectronics and Packaging

専門用語の解説

- ・ 真空印刷封止システム（Vacuum Printing Encapsulation System. VPES 法）
サンユレックが独自に開発した封止樹脂の塗布技術。真空チャンバーの中で印刷塗布するので、大量のモジュールに対して気泡の入らない樹脂封止層を形成することが可能である。
- ・ SMD（Surface Mount Device）
表面実装技術でプリント基板に実装することのできるLSI、抵抗、コンデンサなどの電子部品。