

第1章

樹脂封止および封止材料概論



1.1.2 樹脂封止法

チップの樹脂封止法は、封止材料の種類によって異なる(図1-7)。

材料	成形		注型		浸漬	滴下	浸入
	移送	圧縮	キャストイング	ポットイング			
固形材料	◎	○					
液状材料		△	△	○	△	△	○

封止法による EMC/LE の生産量 ◎: 大量, ○: 中量, △: 少量

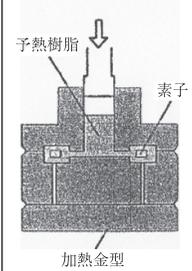
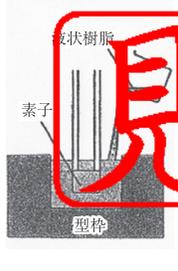
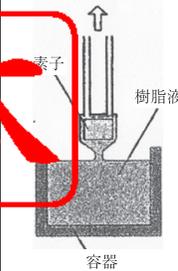
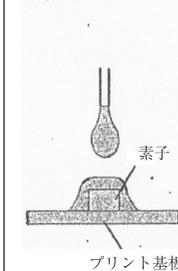
移送成形	キャストイング	ポットイング	浸漬	滴下
粉末材料をタブレットにし、予熱後素子をセットした金型で封入成形する。	型枠の中に素子をセットし、液状樹脂を注入した後加熱硬化させる。	樹脂ケースに素子をセットし、液状樹脂を注入した後加熱硬化させる。	素子を樹脂液に浸漬し、素子表面に樹脂を付着させた後加熱硬化させる。	素子に液状樹脂を滴下し、加熱硬化させる。
				

図1-7 半導体の樹脂封止法

1.1.2.1 固形材料・打錠品の封止方法

移送成形(Transfer Molding)が主流である。金型内にチップと接続回路部品を挿入し、固形材料・打錠品を予熱=少し熔融し流し込む成形方法である⁴⁾。固形材料・打錠品は、ペレット(Pellet)、日本ではタブレット(Tablet)と呼ぶ。古典方式(Conventional system)による成形工程を図1-8に示す。この方式では、多数のPKG容器(キャビティ; Cavity)を配した大きな金型を使用し、大きなタブレットを1か所から注入し、一度に多数のPKGを成形硬化する(図1-9(a))。大容量のタブレットは熔融しにくいので、高周波加熱器を用いて予熱する。移送成形法はPKG品質に優れ大量生産できることから、今日まで封止方法の主流となっている。PKG品質の信頼性要求が強くなると、移送成形法は古典方式から、封止材料の流動距離が短い多点投入方式=MP方式(Multi-Plunger system)、さらは一括成形方式=MAP方式(Molding Array PKG system)へと進化する。MP方式は、数個のキャビティを数列配置した小さな金型

を用い、数か所から注入し成形する(図1-9(b))。この場合、小さなタブレット(ミニタブレット)を使用するため、高周波予熱は行わず金型投入口(ポット;Pot)で予熱する。これを、ポット内予熱と呼ぶ。MP方式は古典方式に比べて、封止材料の流動距離が大幅に短縮されるため、成形時の不良は大きく減少しPKGの高品質化を可能にすることができた。このMP方式の低コスト化を図ったのが、MAP方式である(図1-10)。MAP方式は、多数のチップを接続回路部品に整列搭載そして封止し、最後に個別のPKGに切り離す方法である(図1-11)。この移送成形方式は、MP方式設備を転用できるため、一気に採用が進んだ。現在、先端PKGの多くは、MAP方式で生産されている。これらの動きは、封止材料の流動硬化距離を短縮することで成形不良(金線変形、未充填等)が減少でき、結果的に生産性の向上およびPKG品質の安定化=信頼性向上に繋がることを実証した。この実証体験が、後述する圧着封止法の試行=圧縮成形の見直しという流れになっていく。

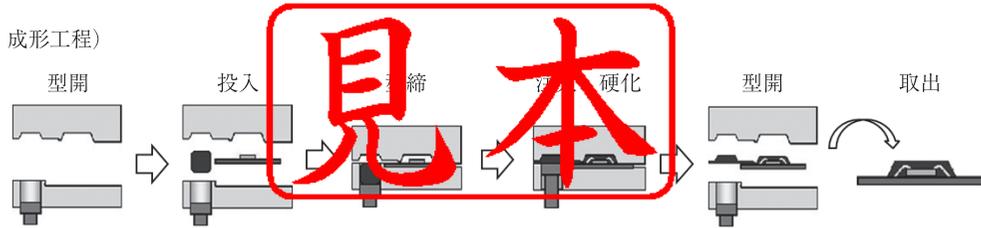


図1-8 移送成形法(古典方式)

	古典型(CV法)	多点注入型(MP法)
金型寸法	大	小
注入口数	1	多
PKG数	多	少

注)CV;伝統的(Conventional), MP;複数注入(Multi Plunger)

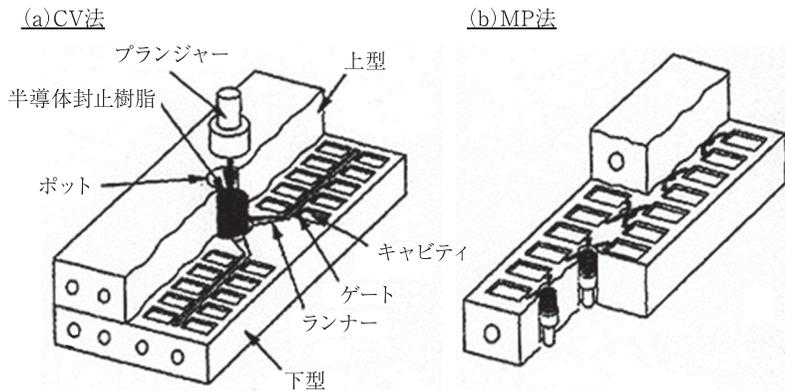


図1-9 移送成形法(キャビティ型成形)
MPの採用により、成形性・信頼性が向上

2. EMC開発に対する各国の状況

半導体開発の時期・環境が、大きくEMCの開発に影響した。これらに関して、米国・日本そして韓国の状況を顧みる。

2.1 米国

欧米で多くの最先端技術が発明されている。1970年代は「米国の時代」であり、自動車等の巨大産業が生まれた。当時、米国では大量生産方式が全盛で、EMCも汎用品量産を前提とした設備で製造した。これは、半導体という加速度的に進歩する製品には適さず、半導体の進化に対応したEMC諸元(組成・製法・設備等)の改良が行えない。この結果、1980年代以降は半導体の要求に応じることができずに、衰退していくことになる。また、米国では、ハードからソフトへの流れが起きて、製造業の海外移転および投資軽視に繋がり、衰退の動きを早め不可逆的なものにした。

2.2 日本

1980年代、半導体産業は日本独特の風土の中で急激に成長した。これによりEMC製造会社は、技術開発に必要な要因を得るといふ幸運に恵まれ、世界を制する製品を作り上げた。それ以降、他国の消極的状況も好条件となり、その位置を継続している。技術開発に寄与した要因は次の通りである。

①日本の半導体(DRAM)が世界トップになった

②EMC開発時に、企業系列という恩恵を受けた

例)技術協力：日本電気(NEC)社→住友ベークライト社、日立製作所社→日立化成社

③EMCと同時に回路基板の開発等も行っていた

回路基板製造：清潔度(例：クラス1,000)→違和感なくEMCへ適用

④開発方針が、スペシャリティ、品質重視であった

当時のスローガン：欧米との競争に勝つ、技術立国を目指す

2.3 韓国

1980年代は、発展途上国と位置付けられていた。当時、半導体も日本からの技術導入(例：DRAM)で手一杯の状態であり、EMCまで手が回らなかった。1990年代になると、日本のEMC製造会社の海外進出が進み手遅れの状態になった。また、半導体における企業系列が1つ(Samsung社→CHEIL社)しかなく協力関係も弱かったこと、韓国では短期的視野での経営

第2章

封止材料の基本組成と製造諸元・特性評価方法

見本

3. 封止材料の製造諸元

本項では、封止材料の製造方法・製造設備、工程管理・環境管理、工程検査・製品検査および取扱方法に関して説明する。

3.1 製造方法および製造設備

3.1.1 試作方法および試作設備

封止材料は、試作から量産という段階を踏んで開発を進めていく。まず、封止材料特性について開発目標値を定め、小規模実験およびその検証を繰り返して組成・製法の最適化を図る。封止材料の設計に関しては、第4章で詳述する。ここでは、EMCの試作方法および試作設備について述べる。試作では、複数の組成候補案を作成し、これらを少量規模(～1 kg)で材料化し、その材料品質を設計時の目標値と比較検証する。EMC開発における試作工程を図2-27に示す。固形樹脂成分は粗粉碎する。微量固形成分(例：硬化触媒・離型剤)は回転型ポットミルを用いて主成分の一部(例：硬化剤)と微粉碎混合を行う。これは、微量成分の分散性を高めるためであり、この工程を「**見本**」と呼ぶ。次に、これらに他の組成(例：充填剤)を加えて、ポリ袋や小型攪拌分散機(例：アキシールミキサー)を用いて混合する。この時、微量液状成分は滴下や噴霧により添加する。その後、小型混練機(例：二軸押出機)を用いて熔融混合する。また、材料温度の管理が重要であり、樹脂類が熔融し硬化が進まない温度(例：75～85℃)に混練条件を調整する。混練後は小型2本ロールを用いてシート化冷却する。これらの試作設備例を図2-28に示す。試作実験における文書管理は必須であり、作業指示書(図2-29)により実験記録を残す。また、試作工程の作業標準書(図2-30)を作成し、作業時のバラツキを低減することも忘れてはいけない。

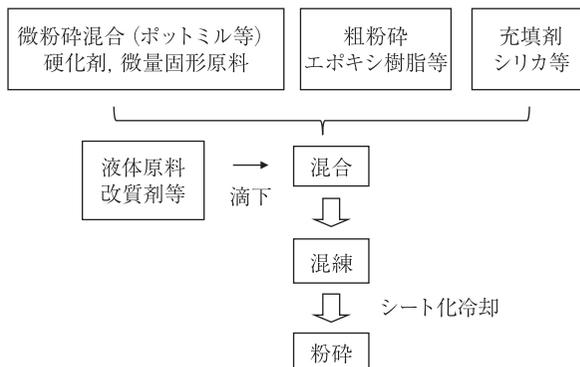


図2-27 EMCの試作製法(例)

試作作業標準（マスターバッチ）

工程	作業内容	急 所
1. 準備	ポットミル、ボール、篩を準備 (ボールはミル容量の40~50%)	クリーン度確認
2. 仕込1	硬化剤、固形触媒を入れる (大きき: ボール径の1/2以下)	仕込量ダブルチェック
3. 粉砕1	予備粉砕 (10~20分/15分目安)	ザラ目状まで
4. 仕込2	触媒剤を入れる	仕込量ダブルチェック
5. 粉砕2	微粉砕 (約60分)	粗粒の無いことチェック
6. 取り出し	篩を使用し内容物を取り出す (ボール径>篩の目開き) ex. 20mm>10mm	器壁の付着物をかき出す ボール表面の付着物も取る
7. 洗浄	1) エアード洗浄 2) アセトンで洗浄 (ボールが漬かる量を入れる) 3) アセトン抜き出し 4) 乾燥 (ミル内、ボール)	ドラフト内 ボールを入れ空運転 ミルをひっくり返して取り出す サラサラに
8. 保管	ミル、ボールを別々に保管	ホコリの付着防止
特記事項 試作レベルのボールは小さいので、硬化剤をまず細かくする必要がある この工程なしに触媒剤を同時粉砕すると、スリップし粉砕難 尚、硬化剤等が固結している場合には、ボール径の1/2以下まで粗粉砕が必要		

試作作業標準（混練）

工程	作業内容	急 所
1. 準備	装置、備品類の確認 (定量供給機、ニード/ローラ、輻射温度計 バツ/容器)	汚れもチェックする
2. 昇温	ニードの温度シフト、駆動シフトを入れる (温度設定105℃、昇温まで約30分)	ジャケットに水を入れ止める
3. 混練開始	ロールのスイッチを入れる 材料を定量供給機に入れる (1kgを約15分で供給)	こぼさないように
4. 混練	ニード出口の材料温度をチェックし、 適正温度内のみシートで取り出し (通常110±3℃を評価用とする)	作業指示書に温度カーブを書く (予測して材料を識別する)
5. 混練終了	複数種の材料を連続混練する場合は、 定量供給機に材料投入	切換前後の材料は廃棄
	供給機、ニード、ロールの駆動停止 ニードの温度スイッチを切る ジャケットに冷却水を流す 補充機内材料は粉砕工程へ	作業順番の厳守 冷却後水を止める
6. 掃除	ニードは分解掃除 (スクラッピング、溶剤洗浄) 他は掃除機で吸い取る	こぼさないように
	補充機の材料を立上げて	組立後手動で回転確認
特記事項 材料温度とバリの相関図を作成し、評価の目的によって材料化 温度を決める。 また、予測して温度チェックをする		

図2-30 EMC 試作時の作業標準書(例)

封止材料の製造会社は、独自の設計思想(組成、製法等)で開発を行うため、封止材料の品質特性に違いが生じる。各社封止材料の主成分は類似しているが、微量成分や製造工程が異なるため材料特性の違いを生じる。これが技術力の差となり、各社の生産販売量に差がつく主要原因の1つとなる。

・試作実験における注意点

全く同一条件で試作実験を行うことはできない。つまり、常に「バラツキを含む」ことを認識することが重要である。理論的には、繰り返し実験により「実験誤差」を把握することが必要である。特に、試作は少量で行うため、試作条件の影響を受けやすい。しかし、時間的な要因もあり実際には実験数を大幅に増やすのは難しい。この場合、試作する順番をランダムに行う、実験前にダミー材を試作し設備条件を安定化する、実験時に標準材料を加えバラツキを把握する、といった対策を講じる。これらにより試作順序による影響を排除し、バラツキの低減を図ることが重要である。

第3章



封止材料の構成原料



1.1 シリカ

シリカはケイ素と酸素の化合物であり、結晶質と非晶質の2種類がある³⁾。結晶質シリカは放熱性が重要となるDIS用の充填剤、非晶質シリカは低応力性が重要となるIC用の充填剤として用いる。半導体はICを中心に発達したため、IC用非晶質シリカの技術開発が進んだ。

1.1.1 開発経緯

ここでは、非晶質シリカの開発経緯について説明する。封止材料は半導体PKGの進化に追従して改良を続けてきた。非晶質シリカの開発をPKGの変遷に従って述べる(図3-3, 図1-31参照)。PKGは軽薄短小化=CSP化, 高速化=3DP化, そして一括封止化=MAP化してきた。これに伴い、シリカは破碎状から球状へ、細粒から微粒へ、品質を改良してきた。

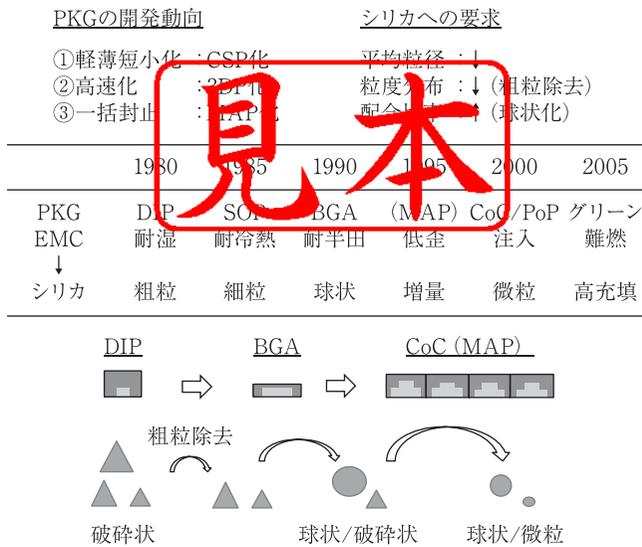


図3-3 シリカの開発経緯

1.1.1.1 DIP用

DIP用封止材料は熔融シリカ=破碎状非晶質シリカ⁴⁾を用いており、課題となったのは「耐湿性」である。これは、外部からの水浸入が原因で起こる半導体部材の腐食である。このため、シリカの粗粒を除去する改良が行われた。大きなシリカが存在すると、接触する樹脂類との間に熱膨張差=界面剥離を生じる。この隙間に水が浸入し、耐湿性の劣化を招く危惧がある⁵⁾。特に、破碎状シリカは異方性であるため、大きな粒子は局所応力=応力が局所に集中する危惧⁶⁾もあり、粗粒除去の動きに拍車をかけた(除去上限; 150→105→75 μm)。

1.1.1.2 SOP用

SOPで課題となったのは、「注入性」と「耐冷熱衝撃性」である。SOPは樹脂封止部が薄く、シリカを細粒化(粒径を小さく)し、注入性を高める対策を講じた。また、PKGの基板搭載が挿入法から表面実装法(図1-33)へと変化し、半田再溶融=半田リフローによる熱衝撃の低減が求められた。しかし、PKG全体を急激な半田リフロー温度に曝すことを防止できる。例えば、PKG部分に金属箔を貼り赤外線を遮断する、PKGリード部分を局所加熱する等の方法である。このため、耐冷熱衝撃性の評価は冷熱サイクル試験(TCT)で行われた。これは、低温・室温・高温へ緩やかに温度変化を繰り返す試験法であり、封止材料はシリカ配合比率を増加することで対応した。また、封止材料の流動性低下は、封止方法をCV法からMP法にして流動距離を短縮することで対応した。

1.1.1.3 BGA用

BGAでは、PKGの接続回路がリードフレーム方式から子基板方式に変わった。PKGの母基板への搭載は、PKG子基板裏面の光球による表面実装になった。この結果、PKG全体が半田リフロー温度(230~230℃)に一気に上昇する熱衝撃=半田衝撃を受けることになり、BGAでは半田衝撃による急激な「熱歪」への対策が求められた。このため、封止材料は球状の熔射シリカ⁷⁾を採用し、シリカ配合比率を高める方法で対処した。また、球状シリカは等方性であり、局所応力の発生を防止すると期待された。しかし、当時の球状シリカは高価格で粒度分布調整も不十分であり、破碎状シリカと併用することで使いこなした。シリカ高充填による封止材料の流動性低下は、樹脂類の流動性を高めることで対処した。これに関しては、本章2項で説明する。

1.1.1.4 MAP用

現在、PKGは生産性が高く材料ロスの少ない一括封止法=MAP法で成形加工する。この方法は、封止容積が大きくなる(図2-9)ため、成形収縮による「反り」対策が必須となる。封止材料の熱膨張率が大きいため、MAP法では成形後の室温冷却時に封止材料側に湾曲する。つまり、封止材料のシリカ配合率を高め、熱膨張率を低下させる対策を極限まで講じる必要が生じた。シリカ高充填は、シリカ全量を球状とし、熔射シリカと燃焼シリカ⁸⁾を併用する方法で達成した。幸いにも、熔射シリカの低コスト化が進み、熔射シリカの粒度分布調整に燃焼シリカが役立ち、高流動性の球状シリカが設計できた。

封止材料ではなく基板材料を変更し、発熱等による損失を低減する取り組みがされている。基板材料として、GaN・SiC等が検討されている。これに関しては、第5章で詳述する。

2. エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は、封止材料の主要原料の1つであり、反応性官能基として「エポキシ基」を有する熱硬化性の樹脂である。エポキシ樹脂が反応＝架橋することにより、PKGを物理的および化学的に保護する。エポキシ樹脂として、EMCは耐熱性を重視して多官能性(エポキシ基>3個)を、LEでは液体の2官能性を使用する。

2.1 種類

エポキシ樹脂を、汎用型および高機能型の2つに分類する。



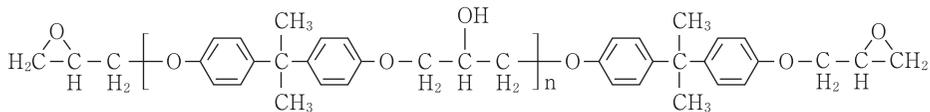
2.1.1 汎用型

LEには汎用エポキシ樹脂、EMCには汎用ノボラック型エポキシ樹脂を使用する。

・汎用エポキシ樹脂

液状用のビスフェノールA型エポキシ樹脂(EBPA)とビスフェノールF型エポキシ樹脂(EBPF)の2種類が主力製品である(図3-31)。いずれも、両末端に2個のエポキシ基を有しており、これが反応に関与し2次元的に架橋する。これらは、液状用途＝低分子であるため、硬化後の架橋密度は低い。また、EBPAは芳香環を連結する炭素原子にメチル基が置換しており、EBPFより疎水性＝耐湿性に優れる。

①ビスフェノールA型(EBPA)



②ビスフェノールF型(EBPF)

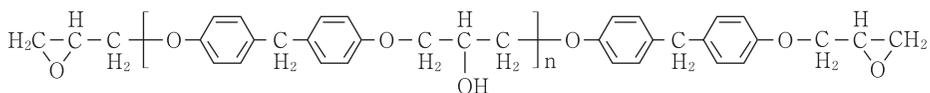


図3-31 エポキシ樹脂の種類(1) 汎用エポキシ樹脂

第5章

半導体封止材料における今後の開発指針

見本

再配線型と子基板型の長所を両立→薄層接続回路

	再配線型	子基板型	薄層接続回路	
回路厚	薄い	厚い	薄い	
信頼性	△	○	○	
生産性	×	△ (SMT)	○ (PLP)	
	再配線型	子基板型	細線加工	矩形加工
前工程	○		○	× (WLP)
後工程		○	×	○

信頼性 & 工業性 (矩形) & 超薄型 (高速) → 薄層接続回路

注)SMT:Surface Mount Technology(表面実装)



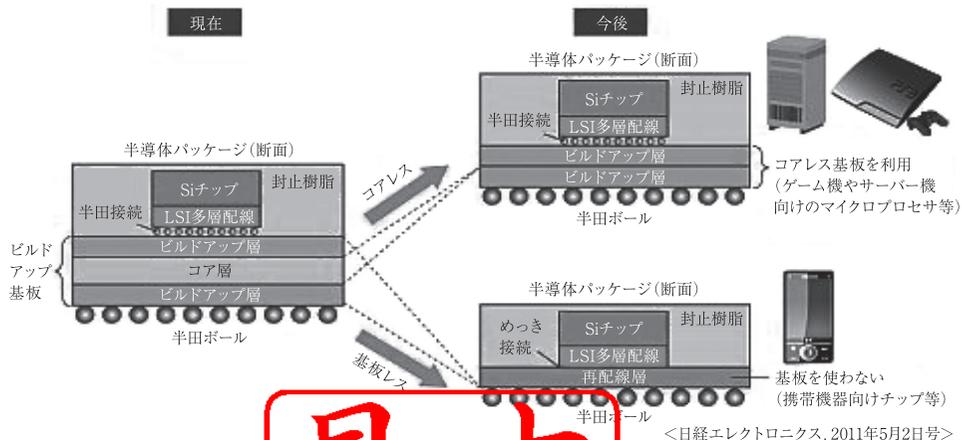
2.4.2 薄層接続回路

半導体の高速化には、薄層接続回路の実用化が必要である。このためには、再配線を強靱にして信頼性を向上させるか、子基板を薄くして信頼性を保持するかの2通りの解決策がある(図5-25)。高性能PKGの接続回路に採用されているビルドアップ型基板=多層子基板を例にとると、子基板のコアを薄くし(コア薄型化)、最終的には無くす方法(コアレス化)と、子基板を高信頼性の再配線型に変更する方法の2つである(図5-26)。子基板のコア=ガラスクロス
の主な機能として、支持体として子基板の強度を保つことである。このコアを薄くするまたは無くすためには、絶縁材料の強度向上が必要となる。また、再配線は電気回路層を構成する絶縁材料の強度および信頼性を向上させることが必要となる。すなわち、2つの解決策とも絶縁材料の薄層化および高信頼性化が鍵となる。そして、薄層接続回路の市場は、従来の子基板型および再配線型接続回路をカバーする大きさになる(図5-27)。

なお、薄層接続回路が実現した場合には、コアレス子基板と高信頼性再配線の違いは、結合バンプの有無になる。コアレス子基板では、バンプの薄型化を図ることも並行で検討することが必要かもしれない。例えば、薄型バンプを柔軟絶縁材料フィルムに配置したバンプシートである。

種類	課題
再配線型	強靱化
子基板型	薄層化(コアレス) & 強靱化(強度向上)
ビルドアップ型	

注) ビルドアップ型は子基板型に分類



見本

図5-25 薄層接続回路の課題

対策) 薄層化+強靱化

低応力(低熱膨張) & 高耐湿(低吸水性)

→「薄層封止」の技術確立

高信頼性絶縁材料の開発が必要

<薄層化>

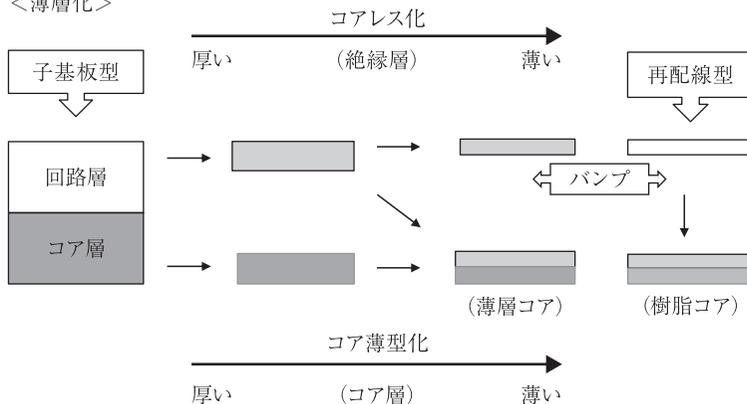
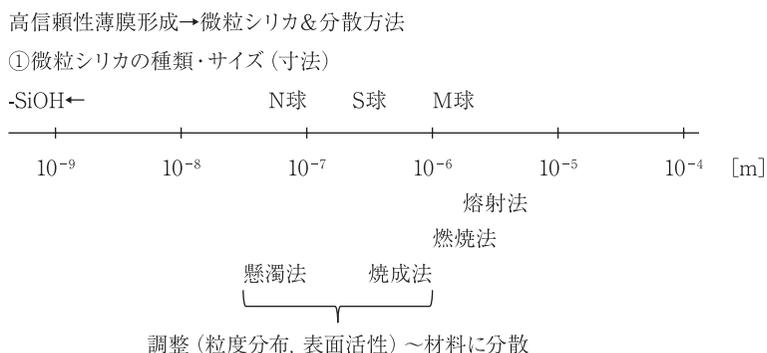
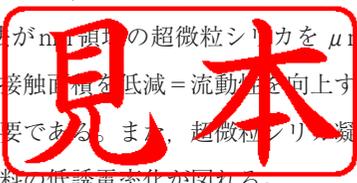


図5-26 薄層接続回路の開発

2.7.1 微細分散技術

薄層封止材料の耐冷熱衝撃性および耐湿性を向上するためには、微粒シリカ(図5-39)を配合し熱膨張率および吸水率を小さくすることが必要である。微粒シリカとして粉体製品を使用すると、凝集塊対策が必要となり、その分散技術の重要性が高まる(図5-40)。樹脂類および微粒シリカの分散体の粘度により、分散装置および分散方法を最適化することが必要である。微粒シリカでは、ニュートン流体ではなく、チキソトロピーやダイラタンシーの現象¹⁶⁾を想定した対応を行う(図5-41)。微粒シリカとして、スラリー状態のもの(例:コロイダルシリカ)を適用すると凝集塊の発生を防げる。ただし、超微粒でありシラノール基を有するため樹脂材料が増粘する。よって、この対策が必要となる。

また、凝集を制御することにより、流動性・強靱性および誘電特性の向上が期待できる。さらに超微粒子を適度に凝集させ、低誘電特性を有する充填剤や薄層コア剤等として活用できる(図5-42)。例えば、寸法が m 領域の超微粒シリカを μm 領域から $0.数\ \mu m$ 領域の凝集体にすることで、樹脂類との接触面積を低減=流動性を向上することができる。この場合、粒度分布を最適化することも必要である。また、超微粒シリカ凝集体の間隙に空気層が形成されるので、これを用いた薄層材料の低誘電率化が図れる。



②微粒シリカの製法と状態, 凝集塊対策

製法	状態	対策	比重
燃焼法	結合塊	湿式粉碎	2.2
焼成法	凝集塊	乾式解砕	2.1~2.2
懸濁法	懸濁液	活性制御	2.0~2.1

注) 薄層材料組成; 無溶剤系だけでなく溶剤系でも良い

図5-39 微粒シリカの種類と微細分散技術(1)