

4. 高機能フィラー・製品の新展開

4-1 封止材フィラー

4-1-1 半導体封止材の高熱伝導化

(1) 半導体封止材の配合組成

半導体の製造工程は大きく前工程と後工程に分けられ、前工程では回路の細線化による集積度の向上、後工程では構造の立体化による高集積化が、技術開発の主なテーマとして進められてきた。後工程には金属線(ワイヤー)で接続された半導体素子と基板を樹脂で封止するモールドイング工程がある。前工程で製造された半導体素子は水分や埃などの影響を受けやすく、数十 μm の細いワイヤーで回路基板と接続されているため衝撃や振動に弱い。このため半導体素子やワイヤーを外部環境から保護するため樹脂で封止(モールドイング)される。図4-1に樹脂封止された半導体パッケージの代表的構造を示す。図4-2はモールドイングの方式である。図中のトランスファーモールドは

金型内に半導体素子を設置して溶融樹脂を注入し、硬化させるものである。樹脂を流動させて成形するため複雑な形状に適しているが、流路に樹脂が残留するなどのロスが発生する。また、樹脂流動によるワイヤーの変形や、金型への樹脂接触による金型汚染などが課題

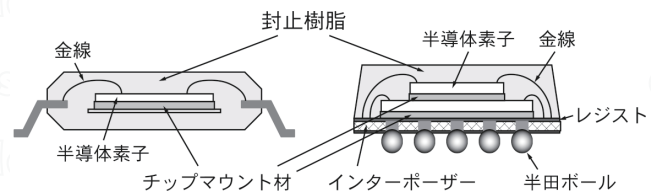


図4-1 半導体パッケージの代表的構造

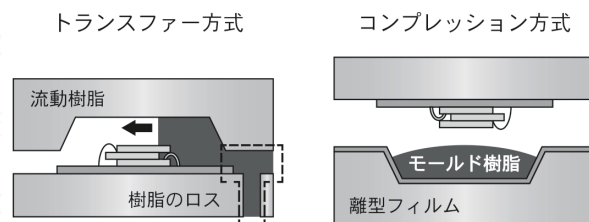


図4-2 モールドイングの方式

となる。コンプレッションモールドは下部の金型に溶融樹脂を保持し、上部の金型に設置した半導体素子を溶融樹脂に浸して硬化させる方式である。トランスファーモールドに比べて樹脂の流動が抑えられ、半導体素子やワイヤーへの影響が少ない。また、金型と樹脂の間に離型フィルムを配置させるため金

型の汚染が抑制され、金型にゲートやランナがないため樹脂のロスがなく、樹脂の使用効率はほぼ100%になる。現在はトラスファーモールドが広く使用されているが、パッケージの小型化や薄型化、モールド樹脂の使用量削減、樹脂流動の影響低減、金型汚染の回避などからコンプレッションモールドの適用が増加しつつある。

封止材には高耐熱性、耐湿性、耐衝撃性、電気絶縁性などのほか、成形時に細かいワイヤーを变形させない高い流動性が求められる。また生産性の観点から封止材を1～2分程度で硬化させるなど、高度な材料技術が必要である。これらの要求特性を満たす樹脂としてエポキシ樹脂が広く使用されているが、樹脂のほかに硬化剤、硬化促進剤、充填剤、難燃剤、離型剤、着色剤など多様な添加剤が配合される。表4-1に半導体封止材の配合例を示すが、多い時には20種類以上の素材で構成されることもある。これらの中で最も配合量が多いのは充填剤であり、化学的安定性、低熱膨張性、入手の容易さなどから平均粒径10～20μmの球状シリカ(SiO₂)が用いられている。シリカは封止材全体の70%以上を占めており、次いでエポキシ樹脂が15～20%、フェノール樹脂(硬化剤)が7～10%、その他が5%以下の比率である。

表4-1 半導体用封止材の配合例

組 成		配 合 材 の 種 類
エポキシ樹脂	基本樹脂	0-クレゾールノボラック型、ビフェニル型、多官能型、シクロペンタジエン型、ビフェニルアラキル型、その他
	難燃樹脂	臭素化ビスフェノールA型、臭素化フェノールノボラック型
	可撓性樹脂	シリコーン
硬化剤		ノボラック型フェノール樹脂(ビフェニルアラキル型等)
硬化促進剤		イミダゾール、リン系促進剤、DBU系促進剤
充填剤		シリカ、アルミナ
難燃剤		三酸化アンチモン
その他		離型剤、シランカップリング剤、カーボンブラック(着色剤)、イオン捕捉剤
主な要求特性		耐熱性、耐湿性(耐PCT性)、電気絶縁性、耐ヒートショック性、流動性

(2) 封止材フィラーのニーズと開発動向

かつての封止材フィラーは破砕状シリカであったが、半導体の小型化、高性能化などに伴って隙間まで充填するよう流動性を高めた球状シリカが使用されるようになった。球状シリカは火炎溶融法で製造されており、2,000℃以上

の火炎中に破碎状シリカ粉末を供給して熔融させ、表面張力によって球状化したシリカを急冷したものである。急冷によってシリカは非晶質となり、熱膨張係数が約0.5ppm/Kと小さくなる。このシリカを封止材に混合すると封止材の熱膨張率が半導体のシリコンに近くなり、半導体素子を封止する際の変形を抑えることができる。また、樹脂への充填率を上げることによって封止材の強度が向上し、球状によってパッケージの微細部分にまで隙間なく封止することができる。さらに高密度に充填するには粒径の異なる粒子を混合して、大径粒子の隙間に小径粒子を配置させて充填率が高められる。

半導体パッケージの薄型化に伴って、半導体素子、基板、封止材の熱膨張差によるパッケージの変形(反り等)が問題となった。これに対して従来の封止材では低熱膨張の非晶質シリカを高充填することで樹脂の熱膨張を下げてきたが、高充填を保ちながら熱膨張をより精密に制御するには非晶質シリカより高い熱膨張係数を有する球状粒子を混ぜることが考案された。火炎熔融法によるシリカは球形度が高いため、充填率を高めて高機能な封止材を作成することができる。火炎熔融法の球状シリカは非晶質であるが、シリカには多様な結晶構造があり、石英、結晶質シリカ、非晶質シリカの特性を表4-2に示す。

結晶質シ

表4-2 シリカの結晶系と物性値

リカは非晶
質シリカよ
り熱伝導率、
熱膨張率が
高いため、

特 性	石 英	結晶質シリカ	非晶質シリカ
結晶系	三方晶系/六方晶系	正方晶系/立方晶系	—
相転移温度 (°C)	570	220	—
密 度 (g/cm ³)	2.65	2.33	2.21
熱伝導率(W/m・K)	10.7/6.2	10	1.38
熱膨張率 (ppm)	8.0/13.4	20~30	0.52

注) 石英の熱伝導率、熱膨張率は水平軸/垂直軸

(資料：日本製鉄技報 第424号)

アルミナフィラーが使えない用途での放熱特性向上や熱膨張制御に利用することが可能である。しかし、結晶質シリカは相移転温度が220°Cであり、半導体の実装時におけるリフロー温度で熱膨張する懸念があるため好ましくない。石英は相移転温度が570°Cと高いため実用温度では相移転の心配がない。石英は非晶質シリカより熱伝導率が高く、放熱性に優れている。また、熱膨張率も非晶質シリカより高いため、低膨張率の非晶質シリカに混合することによ