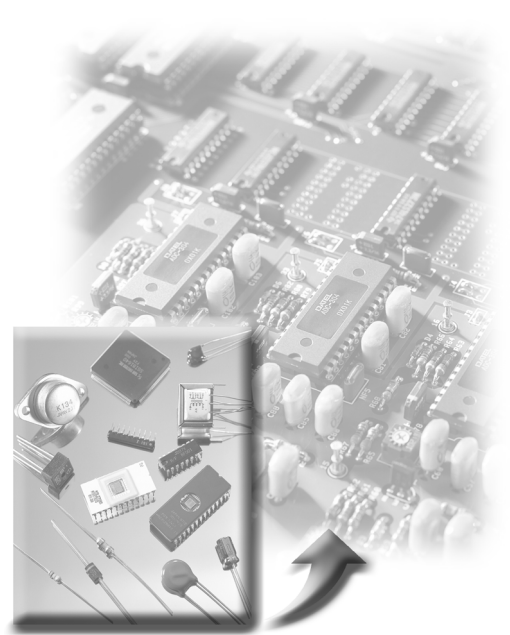


轉注成型與封裝材



第一層次的構裝依其材質分為塑膠構裝與陶瓷構裝二大類，大部份的塑膠構裝在完成了前述的黏晶與錫線的製程後，已完成了必要的電氣接合，接著就是封裝 (encapsulation) 之製程。封裝的目的主要為：

1. 將積體電路與環境隔絕，防止積體電路受到環境中顆粒之沾染。
2. 防止濕氣之進入。
3. 與導線架共同形成機械之支撐。
4. 提供有效的散熱途徑。
5. 提供能夠手持之型體。

封裝之製程以轉注成型 (transfer molding) 的方法最常見，亦有以點膠 (dispensing) 方法進行者。點膠製程所用之封裝材，通常為液態之封裝材，我們將於後續之章節中陸續討論。環氧模壓樹脂 (epoxy molding compound, EMC) 是最常見的封裝材料，它是由環氧樹脂、硬化劑、催化劑、無機填充劑、偶合劑、耐燃劑、脫模劑與顏料等所組成。

在實際操作上 EMC 一般是冷藏，於使用前先取出預熱。將預熱後之 EMC 膠餅或膠錠置於模壓機 (mold press) 上加熱，隨著溫度升高，EMC 將軟化、黏度下降。利用轉注撞針 (transfer plunger) 將軟化的 EMC，壓入已置妥黏了晶片並已完成錫線的導線架的模具中。EMC 經預熱軟化後在柱塞的壓力推動下注入澆道 (runner)，分流至各個模穴列 (chase)，復經次澆道 (sub-runner)、澆口 (gate) 流入各模穴中。典型的 IC 封裝模具一般包括上百個模穴，圖 7.1 為其示意圖。EMC 於流動之過程中，因製程中

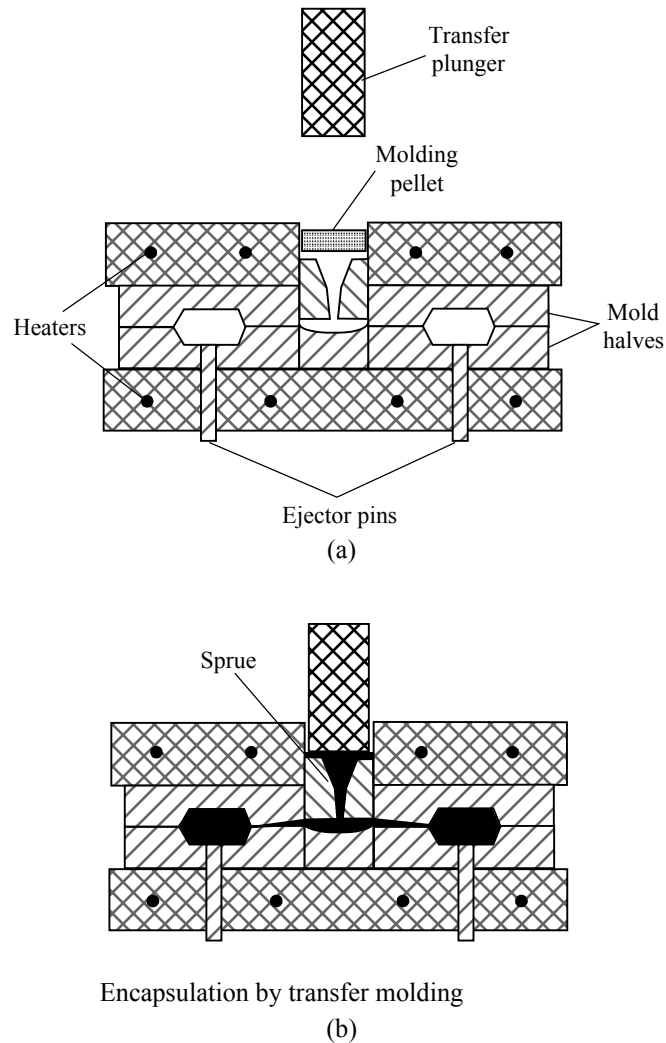


圖 7.1

所提供之高溫，環氧樹脂同時進行高分子鍵結之反應，分子量持續增加，黏度亦隨之不斷提高。在適當時間反應後，EMC 硬化至可頂出強度，即進行脫模、去膠、後硬化、打印等後處理過程。在部份之封膠製程中，於轉注成型前，會有上頂膠 (protective coating) 之製程。頂膠以聚亞醯胺為最常見，製程則是以點膠為主。

如表 7.1 所示，環氧模壓樹脂並非只是「塑膠」，而是由環氧樹脂、硬化劑與其它多種成份組合而成。環氧樹脂是一種在結構中含有環氧基的高分子，雖然比例僅佔了約 15 wt%，但卻是其產品性質與加工性質最主要

表 7.1

種類	名稱	組成百分比 (wt%)	機能
環氧樹脂	O-cresol、novolac epoxy phenol、novolac epoxy bisphenol、A 型 epoxy、其他特殊 epoxy	12~15	主成份
硬化劑	phenol、novolac 樹脂、酸酐、芳香族胺	8~10	使 epoxy 反應硬化
硬化促進劑	imidazolyl 化合物、三級胺、磷化合物	1 以下	加速硬化反應、成型時間適當
低應力化劑	矽橡膠、丁二烯橡膠	1~3	樹脂彈性率下降 內部應力減低
充填劑	silica (熔融性 silica) (結晶性 silica)、氧化鋁	70~80	增加機械強度 線膨脹係數降低 增加熱傳導率
難燃劑	溴化環氧樹脂、三氧化銻 (Sb ₂ O ₃)	1~2	難燃性
偶合劑	epoxy silane、amino silane	1 以下	增加密著性 增加信賴性
離型劑	wax	1 以下	離型
顏料	carbon black、有機顏料	1 以下	著色、遮光

的決定者。環氧樹脂的種類繁多，目前以 Epoxy Cresol Novolac Resin (ECN) 用量最多。環氧樹脂具有相當低的收縮率和極佳的機械性質與化學性質，同時因其結構中具有羥基與醚根存在，對導線架有良好的黏合性，所以成爲最主要的封裝材。在環氧樹脂封裝材中佔了最高比例的無機填充劑，常見的有玻璃態的二氧化矽 (fused silica)、結晶態的二氧化矽 (crystalline silica) 與三氧化二鋁。因無機填充劑的高熱傳導與低熱膨脹的特性，無機填充劑的添加可以降低整體封裝材的熱膨脹係數及增加熱傳效率。同時因在熟化的過程中，這些無機填充劑並未有相變化，因此封裝材加工過程的收縮率亦可以減低。此外無機填充劑的添加尚可增加封裝材的機械強度與降低封裝材的成本。

除了環氧樹脂、硬化劑與無機填充劑外，環氧樹脂封裝材尚有其它添加物。難燃劑 (flame retardant) 是電器與建材用塑膠的必要添加物。雖然塑膠皆是可燃之物質，但是藉由難燃劑的添加，可升高其引燃溫度或拉長

其所需之引燃時間。難燃劑效果可分別由物理性與化學性之機制而來。前者如於燃燒過程中，於塑膠表面生成保護膜，阻絕氧的傳導。後者如於燃燒過程中，難燃劑分解產生自由基，捕捉燃燒反應的自由基。環氧樹脂可選用的難燃劑有三氧化二銻與有機溴。偶合劑的添加是爲了提升環氧樹脂與無機填充物的接著性，以增加粉粒狀的無機填充物於樹脂中的分散程度。而脫模劑（或稱離型劑）的添加，是爲了避免封裝材成型後附著於模具上。碳黑等顏料的加入，則是爲了遮光與辨識的效果。環氧樹脂封裝材通常是以膠餅或膠錠的形式存在。其生產的方法是將環氧樹脂粉碎，並將各種添加劑加入，經過乾混、混練的程序，將其混合。再進行粉碎造粒，以進一步確定混合的均勻，最後經模壓可製成柱狀之膠餅。環氧模壓樹脂的市場依工研院化工所的統計資料，在 2002 年國內的需求量約爲 46 億。目前日本的廠商是市場上的主要供應者，國內廠商較大的有長春的生產。

如上所述，膠餅在熔融流入模穴後，隨進澆口方式的差異在上下模面流動之分別。上下模爲導線架所隔開，但導線架上的鏤空及開孔允許上下模之間樹脂的**穿透流動** (cross flow)。流入模穴的樹脂受晶片、金線、導線架的阻力及牽制，使模穴的充填過程變得十分複雜。若上下模面樹脂流動波前差異過大，即所謂的「**賽馬車效應**」(racetrack effect)，如圖 7.2 所示。流動較快的塑膠波前將回填速度較慢的波前，形成縫合線，使成形件容易於此區域應力集中，於受力時龜裂斷裂。回填的塑料波前亦容易將模具排氣孔堵塞，形成排氣不良的**包封** (air trap) 現象，使成形件有空洞等

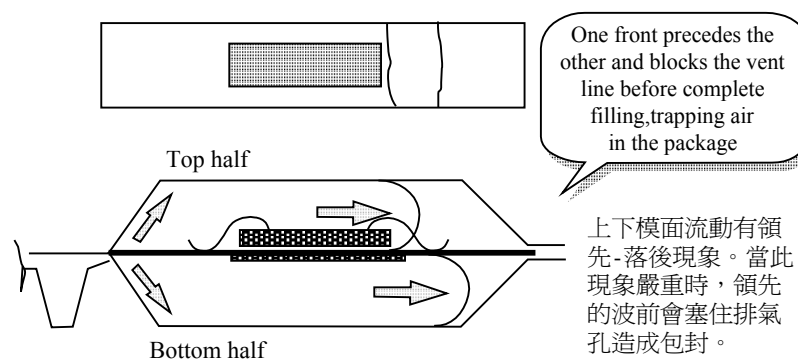


圖 7.2

缺陷。在充填過程中，若塑料黏度過高、流速過快、金線過長或彈性模數太低，由於樹脂流動拉曳力的結果將產生金線偏移 (wire sweep) 使金線變形，甚至造成扯斷。此一缺陷將使積體電路發生短路或斷路的問題。金線偏移的問題，隨著錫線數之增加而更顯重要。除了上述引起金線偏移之原因外，有研究指出充填過程中不均勻之波前流動，才是造成金線偏移之最主要因素。另外充填過程中氣泡也是引起偏移之重要因素，尤其是當氣泡尺寸很大或者流體黏度相當高之情況下。

在晶片 - 晶片載體進行轉注成型時最常看到之可模壓性 (moldability) 的一些問題包含有：

1. 未灌滿 (incomplete fill)。
2. 黏模 (sticking)。
3. 氣洞 (voids)。
4. 表面氣泡 (blister)。
5. 金線偏移 (wire sweep)。
6. 晶片座移動 (pad shift)。
7. 毛面 / 針孔 (rough surface/pin hole)。
8. 流痕 (flow mark)。
9. 樹脂流出 (resin bleed)。

其中未灌滿之可模壓性的問題可能是由澆口阻塞、空氣排出口阻塞、模壓樹脂之不足夠流動、模壓樹脂之量不夠、具有揮發性物質、轉注壺及撞針磨損及導線架設計不良等所造成。而黏模之可模壓性的問題可能是由不平衡之模具溫度、烘烤不完全、紙導線架模壓次數不夠及脫模不良等所造成。氣洞之可模壓性的問題則可能是由轉注壺中心之空氣、空氣陷入凹槽及模壓樹脂膠餅具有濕氣與揮發性物質等所造成。表面氣泡之可模壓性的問題則可能由轉注壺中心之空氣、空氣陷入凹槽、模壓樹脂之不足夠流動、不平衡之模具溫度、模壓被剔除物太厚、模壓壓力不夠及空氣排出口阻塞等所造成。金線偏移之可模壓性的問題則由模壓樹脂流動時之黏度過高、金線硬度太低、金線長度過長、金線弧度過高、有澆口噴射產生及轉注壺中心之空氣等所造成。晶片座移動之可模壓性的問題則可能由模壓樹脂流動時之黏度過高、模壓樹脂之螺旋流動長度太短及不平衡之模壓樹脂

流動等所造成。毛面 / 針孔之可模壓性的問題則由採用嚴重之去膠條件及具有揮發性物質等所造成。流痕之可模壓性的問題則可能由含過量的蠟及局部有蠟之累積等所造成。樹脂流出之可模壓性的問題則可能由導線架與晶片之間隙有模壓樹脂溢流出，可藉由降低模壓溫度、降低模壓樹脂膠餅之預熱溫度或提供具較低螺旋流動長度之模壓樹脂等來解決所造成之問題。

在充填模穴階段若轉移壓力 (transfer pressure) 過低或轉移速度過低、轉移時間過長，由於澆口的提早封口 (sealing)、流動過程因流動阻力造成的遲滯效應 (hesitation effect)、樹脂的提早硬化，會使模穴產生充填不完全或短射 (short shot) 現象，使封膠失敗。過高的轉移壓力及射速又會造成過度壓力 (overpack) 及樹脂滲出 (resin bleeding)，造成產品殘餘應力過高及毛邊 (flash) 問題。這些都是填模過程中容易遭遇的加工困難。在多模穴模具中，須藉助流道系統將樹脂分流到各模穴中。若流道系統設計不當，會造成充填波前所謂的「聖誕樹流動」(christmas tree flow) 現象，如圖 7.3 所示。聖誕樹流動波前會造成靠近次流道前端模穴被過度充填的現象，造成過度飽壓、成型的物件殘餘應力過高、樹脂滲出毛邊等缺陷；靠近流道末端之模穴則容易有短射的現象發生。有時由於流道系統大小失當，亦容易使前端模穴因為遲滯效應發生充填不滿的問題。由於樹脂在各模穴滯留時間不同，此類流動形式不僅影響到各模穴充填均勻性，造成成形品品質差異；嚴重者甚至有重量不一的情形發生。

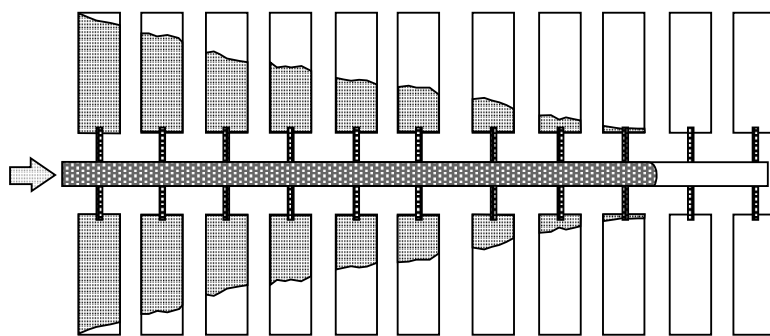


圖 7.3

EMC 在填模及硬化過程中，除流動外，尚有熱傳及化學反應發生。一般填模的樹脂溫度約為 90°C 左右，模具溫度則維持約 150°C 以上。因此在填模初期熱量係由熱模壁傳導至源源對流而入的冷樹脂中；一旦樹脂開始發生硬化反應，即有反應熱釋出。由於熱量累積的結果使樹脂溫度迅速提高，熱量反由樹脂傳向模壁。若散熱不良容易有熱點產生，造成過熱或樹脂裂解。易言之，整個模穴溫度分布取決於對流、熱傳導、反應放熱，以及流動過程中因摩擦產生的黏滯加熱 (viscous heating) 等各機制間的相互競爭。而溫度又影響到樹脂黏度 (影響到流動難易程度) 以及化學反應速率 (影響黏度以及其他熱物性質，如熱傳導係數，以及反應釋熱速率等等)。因此就學理的觀點而言，是複雜的流動、熱傳以及化學反應間的交互作用，各機制間交互偶合，十分複雜。

封裝材料的加工特性取決於熱物性質、流變特性以及硬化反應特性幾個方面。在熱物性質方面，如熱容量、熱傳導係數、密度、熱膨脹係數等，俱決定填模過程中熱傳及流動間的相互影響關係，以及成型的物件收縮而產生翹曲現象。此外，硬化反應放熱量對於模穴內熱流的影響亦為一重要考慮因素。在流變特性方面，須了解黏度隨溫度、壓力、加工剪切率、轉化率以及填料含量的關係。此外，填料的顆粒大小與形狀亦會在相當程度上影響填材黏度大小。在硬化反應特性方面，硬化劑與催化劑的反應機構決定其反應速率，進而影響反應釋熱速率、轉化率以及硬化程度大小。如何使封裝材料於充填過程中不致因轉化率過高造成黏度迅速提升、影響加工特性；避免迅速為放熱造成熱點，以及填充完畢後迅速硬化以為縮短成型週期，均是關聯於封裝材之硬化反應特性。

由於封裝過程涉及變量及影響因素繁多，各變量間複雜的非線性偶合，使傳統的模具設計大運依賴經驗的累積及直覺。藉由設計經驗的累積開發模具，利用現場試模對模具加以修改。此種現場試誤 (trial-and-error) 的方式不但耗費時間金錢，同時經驗累積不易，較難就生產缺陷逆推影響因素並改進之。由於電子產品生命週期日短，新樣式設計不斷推出，新樹脂與封膠方法的引進，對封膠品質的要求變得嚴苛，使傳統的模具設計方式面臨了極大的挑戰。為協助此一複雜製程的分析及模具設計的參考，已有開發的軟體結合了封裝製程的物理模型 (結合物質守恆定律、動量守恆

定律、能量守恆定律、EMC 樹脂本質方程、黏度模式、反應動力模式，以及熱物性質模式)、高分子加工理論，以及數值方法，利用電腦求解出物理模式，並以電腦繪圖的方式顯示充填及硬化過程的現象。可提供使用者利用電腦模擬的結果，預測轉移成型封裝之各種充填狀況，以發掘加工時可能出現的問題，作為選擇加工物料、調運成型加工條件，修改模具和模具設計之參考。



參考文獻

1. “Electronic Materials Handbook, Vol. 1: Packaging”, ASM International, Materials Park, Ohio, 1989.
2. “Microelectronics Packaging Handbook”, eds. R. R. Tummala and E. J. Rymaszewski, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
3. 陳信文、許嘉翔，電子資訊，第 2 卷第 4 期，pp.45-49，1996。
4. 工研院化工所，「電子用化學品專題調查報告」，1995。
5. 杜修文，電子構裝聯盟通訊月刊，第 27 期，pp.4-13。



本章習題

1. 環氧模壓樹脂的成份為何？
2. 何謂轉注成型？
3. 列舉三種模壓樹脂所須的性質？