

多元的半導體 封裝材料

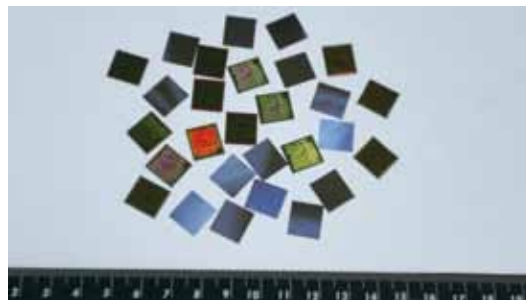
■ 林光隆

手機、筆電、平板電腦等需依賴各種功能的半導體晶片來運作，而晶片必須經由封裝製作成元件，才能組裝成這些電子產品。用什麼材料封裝這些矽晶片，使它能長久穩定地發揮功能呢？

電子產品已經和我們的專業工作、日常生活，以及休閒娛樂緊密結合在一起，先進材料和技術的發展日新月異，更使得電子產品的功能和應用有無限的想像空間。一般而言，手機、筆電、平板電腦等產品所賴以發揮功能的半導體晶片，都必須經過封裝才製作成所使用的元件。台灣是全球封裝產業的佼佼者，究竟工業界使用什麼材料封裝晶片製作元件，以迎合產品功能的無止境需求呢？

半導體封裝製程

一般使用的電子元件，不論是微處理器或是記憶體，都含有一片矽晶片。但使用電腦或手機等 3C 產品時，都看不見矽晶片，因為這些矽晶片必須經過封裝包裹在元件內。隨著產品功能和尺寸規格的日趨多樣化，半導體封裝製程變化多端，而且隨時有新的製程出現。



由晶圓切割尚未封裝的矽晶片



矽晶片經由封裝製作成有導線架引腳的元件，矽晶片、金屬導線及大部分導線架都被封膠包覆。封裝必須製作電通路，也保護電通路。封裝材料肩負有導電、絕緣、防止氧化腐蝕、耐擦撞、耐溫度變化、高散熱等功能。

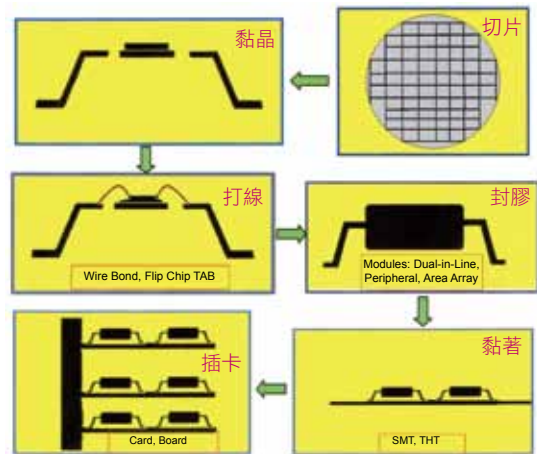
晶圓送到封裝廠之後，會切割成待封裝的晶片，晶片則用適當的黏膠黏在導線架上。黏晶之後，藉打線技術把晶片經由金屬線和導線架接合形成電通路。接著用封膠技術把矽晶片和金屬線一併包覆在封膠內，只露出部分導線架，封膠之後就是在電路板上所見到的一顆顆黑色的元件。最後，利用錫錫經過黏著製程把一顆顆的元件固定在印刷電路板上。

掀開一台筆電，可以看到主機板上面黏著密密麻麻形式不一、大小不同的元件，這些元件大都經歷上述複雜的晶片封裝製程。元件除了必須提供所包覆晶片的電通路外，還必須具有絕緣、高機械強度、耐衝擊、耐溫度變化、抗腐蝕與氧化、散熱等諸多功能，這些功能大部分是靠材料的選擇搭配來達到。半導體產品相當複雜，封裝的材料需求也相當多元，可配合上述各項功能需求，大略了解可能使用的材料。

電通路

矽晶片藉著金屬線和導線架接合，導線架的引腳則藉錫錫和印刷電路板接合。金屬線和導線架是矽晶片和印刷電路板上其他元件之間的電通路，多年以來使用黃金線打線接合，近年來因為黃金價格高漲，已經逐漸被鍍鈀銅線或銀合金線取代，導線架材料則常是銅合金或鐵—鎳合金。矽晶片和金屬線接合的部位，通常還會鍍上一層鋁薄膜，這是矽晶片線路的終端電極。至於導線架和金屬線接合的部位，為避免氧化，也會鍍上一層金屬，例如鍍鎳以增進接合效果。

導線架之外，晶片也可以藉由基板和印刷電路板黏著形成電通路。這些基板通



矽晶圓切割成矽晶片，利用環氧樹脂黏接在導線架上面，接著以打線接合矽晶片和導線架製作電通路，藉由封膠包裹成元件以保護矽晶片和電通路，元件再藉由錫錫黏著在印刷電路板上。



覆晶接合技術藉由錫錫凸塊把晶片接合在基板（綠色）上，基板再藉由錫錫球黏著在印刷電路板上，錫錫提供電通路，承受產品意外撞擊和溫度變化所造成的破壞力量。

常是綠色或藍色的板子，基板本身就是一片小型的印刷電路板，內部製作有銅導線。基板的上方直接安置矽晶片，晶片下方會製作俗稱錫錫凸塊的球型接點，直徑大約是 80 微米，以接合固定矽晶片和基板，同時提供電通路。基板另一面則是藉由球徑 300 ~ 700 微米的錫錫球和主機板接合。

以前使用的錫錫是錫—鉛合金，但是隨著綠色環保考量，以及歐盟環保指令的要求，目前常見的錫錫凸塊和錫錫球都已

經無鉛化，例如錫—銀—銅合金。矽晶片和基板之間藉錫錫凸塊接合的技術稱為覆晶接合技術，基板和印刷電路板之間藉錫錫球接合的技術稱為球格柵技術，這一系列技術的電通路材料是錫錫合金和埋在基板內的銅線路。除了上述覆晶接合技術之外，矽晶片—基板之間也可以選用打線接合製作電通路。

絕緣

矽晶片上面的金屬線或下方的錫錫凸塊、基板內部的銅線路、基板下方的錫錫球、承載矽晶片的導線架引腳等，相互間距都不大，約略是數十至數百微米之間。所有線路和接點之間都必須填充適當的絕緣材料，以防止電流通時產生電磁場干擾。

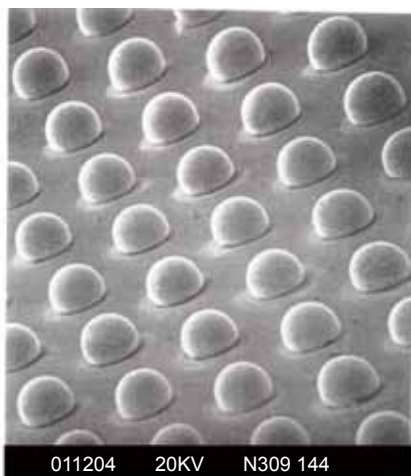
矽晶片經過打線接合或覆晶接合之後，常見的包覆技術是封膠，這一黑色方塊的封膠材料是由環氧樹脂、陶瓷粉、炭黑等組成的複合材料，它填充在黃金線、銅線

或導線架之間，負責提供絕緣效果。至於球格柵技術使用的基板內部也有相當綿密的銅線路，因此基板都使用有機絕緣材料。

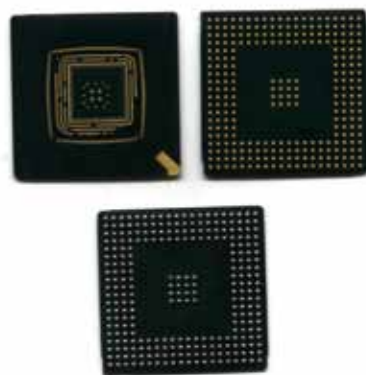
機械強度與溫度變化

在一般使用過程中，半導體元件實際上不會承受大力擠壓或碰撞，不過在生產過程中，常有機械自動撿取或沖壓成型等機械加工。元件在封裝的迴焊製程中，會承受攝氏 200 度以上的高溫，一般銅合金的機械強度大約在略低於攝氏 300 度就會開始下降，高引腳數的元件因此必須採用機械強度較高，而且可以承受攝氏 400 度以上的鐵鎳合金材料。

打線接合採用的黃金線為了因應快速打線製程的拉扯力量，以及抽製線徑小至 25 微米的黃金線，通常也必須添加少量適當的合金元素，控制黃金線的機械強度。封膠材料的環氧樹脂本身是有機材料，常混摻相當高比率的陶瓷粉，例如氧化鋁粉，



製作在矽晶片上的錫錫凸塊



經過迴焊黏著在基板上的錫錫球（下方白點），右上方是還沒黏著錫錫球的基板，接點表面鍍有很薄的黃金層以促進迴焊。左上方是基板安置晶片的一面。基板埋有銅導線，基板本身是有機絕緣材料。

為了使半導體晶片適當運作發揮功能，半導體晶片的封裝使用了金屬、陶瓷和有機高分子材料，整顆封裝元件完全靠多元材料的適當選擇和搭配。

形成一種耐擦撞的高強度複合材料，避免在高溫的迴焊製程中軟化。

矽晶片和基板，以及基板和主機板之間的接點，上下連結不同的材質，這些材料的熱脹冷縮程度差異很大，元件製造和使用過程中的溫度變化，會使這些接點承受上下不均勻拉扯或擠壓的力量。手機普及之後，也衍生另一種顧慮，手機如果不慎掉落地面，會對這些接點產生很大的瞬間衝擊力，因此目前的接點材料都選用韌性相當好的錒錫合金。

腐蝕與氧化

半導體元件在使用過程中大抵上是暴露在空氣中，金屬材料會有氧化的顧慮。目前採用的銅合金、鐵鎳合金等導線架材料，通常可以承受一般使用環境的氧化問題，但是打線接合的黃金線或銅線因為被封膠材料包覆，所以選用的封膠材料必須是低鹵素含量的環氧樹脂，以避免腐蝕。

錒錫接點也是暴露在空氣中，錒錫在形成接點的迴焊過程中更是處於熔融狀態，必須避免高溫氧化，否則無法順利接合。過去使用的含鉛的錒錫，以及目前使用的無鉛錒錫合金都含有不同金屬，以提升抗高溫氧化的性能。

散熱

記憶體晶片運作的功率較低，發熱量較少，但是微處理器，例如中央處理器等高階晶片，發熱量就很大，因此筆電內部

甚至裝置有風扇以促進散熱。但是風扇是藉空氣流通把熱量帶走，只能夠疏散元件表面的熱。晶片經過封裝是包裹在元件內，晶片產生的熱只能夠藉由和晶片直接接觸的固體材料傳導到元件表面。

元件內部和晶片直接接觸的部位，有導熱性良好的黃金線或銅線、錒錫凸塊的錒錫合金、導線架的銅合金或鐵—鎳合金等，部分的熱量藉由這些部位傳導到表面。晶片也有相當大的表面積直接和封膠材料接觸，因此封膠材料混摻的陶瓷粉除了增進機械強度外，也有提升封膠材料整體傳熱的效果。

為了使半導體晶片適當運作發揮功能，半導體晶片的封裝使用了金屬、陶瓷和有機高分子材料，整顆封裝元件完全靠多元材料的適當選擇和搭配。智慧型手機、平板電腦、筆電等消費性產品的功能有增無減，尺寸有減無增，封裝材料種類和功能必須日新月異，多元的半導體封裝材料組合是過去的走向，也是未來的必需。

林光隆

成功大學材料科學及工程學系
