

# 覆晶封裝製程缺陷研究

黃乾怡\* 林俊仁\*\*

華梵大學工管所

\*助理教授 \*\*研究生

## 摘要

覆晶技術涉及將裸晶黏著(Bonding)至PCB或基板(Substrate)，其連結乃是由佈置在晶片下方的錫球來達成。

以覆晶的封裝確保組裝的可靠度。

缺陷的產生導因於使用不當的封裝材料或製程，其可能會對組裝可靠度造成負面的影響。

本研究探討覆晶封裝過程產生的缺陷，並說明其形成的機制（原因）。

研究中指出的缺陷是透過謹慎地觀察實驗結果而得。

實驗中使用各種不同的底填封膠(Underfilling)材料，並應用在多種構裝形式。

覆晶封裝的缺陷包含空洞(Void)、

填料粒子沈澱(Filler Settling)以及不佳的弧角(Fillet)。

空洞的存在可能影響封裝的機械性可靠度，

本研究探討各種形成空洞的原因。

“ 填料粒子沈澱 ” 可歸因於填料擴散特性的不良。

有限元素模式分析建議可靠度的最佳化，

可藉由在晶片四週形成與晶片齊高的封膠弧角，且廣度相似於弧角高度來達成。

本實驗亦評估各種底填封膠是否能在流過晶片底面後自然形成理想的弧角。

## 關鍵詞

直接晶片黏著(Direct Chip Attach; DCA)；覆晶組裝(Flip Chip Assembly)；底填封膠(Underfilling)

## 概論

過去十年來，電子製造產業在增加產品功能性之餘，也同時減少產品尺寸

及重量。覆晶技術涉及將裸晶黏著至印刷電路板(Printed Circuit Board; PCB)或基板，其連結是由佈置在晶片下方的錫球來達成。覆晶技術有助於提高電路板功

能密度<sup>[1]</sup>。覆晶技術藉由底填封裝以確保組裝銲點的可靠度<sup>[6]</sup>。缺陷的產生導因於使用不適當的封裝材料或製程，其可能會對組裝的可靠度造成負面的影響。其形式包括空洞、填料沈澱、不佳的弧角及不足的黏著強度<sup>[2,5]</sup>。這些缺陷經由謹慎觀察實驗結果而得，實驗涉及多種特性的底填封膠、不同的材料、各種構裝形式與底填封膠製程。烘烤封膠之後不易觀察的封裝缺陷則使用C-mode聲波掃描顯微鏡(CSAM)系統進行檢測，並評估切片樣本。多種與封裝相關的缺陷機制將於本文中討論。

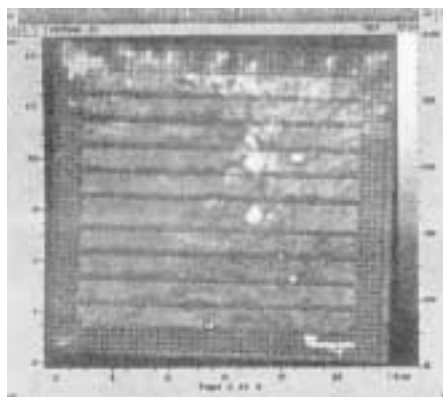
## 空洞形成

封膠空洞是一種常見的缺陷。空洞的存在可能對構裝的機械可靠度造成負面影響。銲點附近的空洞導致應力集中並造成組裝在使用初期發生故障<sup>[4]</sup>。對於空洞的形成原因作進一步的分析，將有助於預防其發生。各種空洞形成的機制將於下文討論。

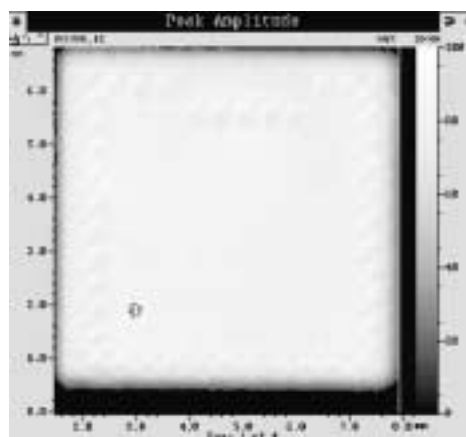
### 一、與構裝設計相關的空洞

本階段之實驗以特定之底填封膠(型號E)，應用於各種不同設計的覆晶元件。當該封膠應用於元件型號T，圖一顯示封膠合理的填充晶片底面。然而，卻可見各種尺寸的空洞分佈於不同位置。相對地，當該封膠用於另一覆晶元件(型號M)時，卻不見任何空洞的發生(圖二)。上述兩種覆晶的設計差異在於後者具有較大的銲點間距(Pitch 10 mils vs. 14 mils)、較高的組裝間隙(Standoff Height)、較小的晶片尺寸(1/2英寸vs.1/4英寸)以及較為平整的防銲層表面。

在元件T觀察到的空洞依大小尺寸



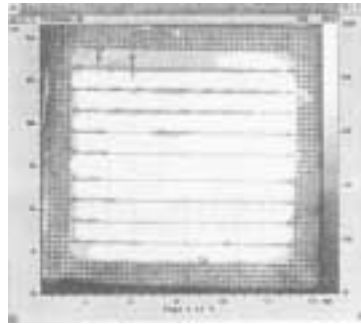
圖一 底填封膠E應用於元件T之SAM影像



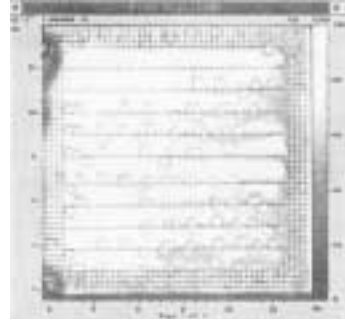
圖二 底填封膠E應用於元件M之SAM影像

及發生原因可分為三類。大型空洞的尺寸約為錫球尺寸的5~10倍，多分佈在兩排中央列之銲點間(見圖一)。此空洞的發生原因可能是基於封膠材料濕潤(Wet)銲點的現象較濕潤銲點間距空間佳。此乃歸因於銲點的表面張力高於防銲層，這使得封膠材料以較快的速度沿錫球前進而造成流動的前緣不一，終於導致空洞的發生。上述空洞的形成與錫球佈置及封膠塗佈方式相關，以圖一所示之錫球佈置而言，將封膠塗佈於晶片上、下緣將較塗佈於左、右緣為理想。

基板預熱的溫度也可能影響空洞的形成。在較低的溫度條件下，封膠的黏稠度(Viscosity)及表面張力皆較高。特別



圖三 底填封膠A應用於元件  
T之SAM影像



圖四 表面含大量濕氣的晶  
片樣本

的是，較高的表面張力會產生較強的推進力量以導正流向。另一方面，高溫下較低的黏稠度可能使更多的矽填充粒子沈澱，並增加顆粒的表面摩擦力，這種現象也將影響空洞的形成。於是，溫度的效應也因而難以預測。

中等大小的空洞（約2~5倍於錫點尺寸），其形成與溼氣的吸收相關。小型的空洞（與錫點尺寸相近）是樣本中最常見的空洞形式，其大多發現於錫點周圍。這類型的空洞可能導因於錫點的濕潤特性，當封膠流經一錫點，在尚未完全濕潤此錫點背面時即濕潤晶片的底面，並接觸到下一個錫點。助錫劑或其它污染物的殘留更將促使這種現象的發生，而導致空氣（即空洞）困於兩相鄰錫點之間。兩錫點間間距將影響上述空洞發生的機率。由於封裝型式T之晶片的錫點間距為5 mils，其約為封裝型式M錫點間距的一半，基於上述的推論，封裝型式T發生空洞的機率果然高於封裝型式M。

## 二、材料流經外圍錫點

圖三為封膠A應用於封裝型式T，其晶片邊緣佈置高密度的錫球，此將造成封膠於該區域快速完成隙流。相對地，

晶片中央部分因無高密度的錫球佈置，以致於隙流速度相對緩慢。此外圖三中亦顯示封膠在流經列與列間的空曠（即無錫點）區域之前，傾向沿著晶片中央之錫點列前進。封膠材料若結合高流速及較佳的濕潤特性，上述現象

將更為顯著，導致材料迅速濕潤外圍的四列錫點，並使得空氣困陷於晶片底部的中央部分，造成嚴重的封膠空洞。

## 三、錫點周圍濕氣累積

中等大小的空洞（約2~5倍於錫點尺寸）似乎導因於錫點周圍濕氣的累積。針對此因素，本研究使用一樣本晶片，使其表面累積大量的濕氣，封膠製程完成之後，果然顯示大量空洞出現在錫點周圍（如圖四所示）。

## 四、防錫層表面粗度導致空洞

當封膠B應用於封裝型式T時，觀測到大型的空洞。其原因為該封膠型號具較大的矽粒子尺寸及晶片底部組裝間隙的變異性。此組裝間隙變異乃源自該批次進料基板防錫層下方的嚴重氣泡（如圖五所示）。

## 五、封膠材料老化(Aging)導致空洞

在各種封膠型號中，封膠E似乎是避免空洞最穩健的材料。研究中針對封膠E連續進行6次隙流實驗。在經過10個

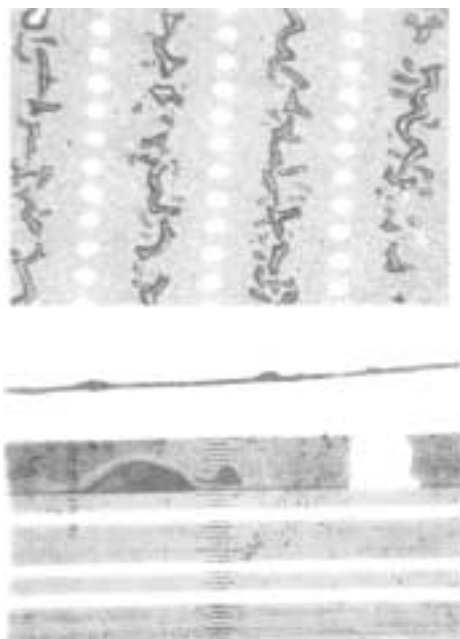
小時的室溫老化後，開始在後續的底填封膠製程中產生空洞。這些空洞多發生在塗料的出口部分。此現象乃由於封膠材料在室溫中及在75°C基板預熱溫度下隙流過程中老化的現象累積所致。材料在經過12至14小時的室溫老化後顯示更多的空洞（見圖六），此觀察結果進一步支持上述的論點。

## 六、防銲層懸垂(Overhang)導致空洞

當封膠J使用於封裝元件B及N時，其切片樣本中呈現內部空洞(Interior Void)，如圖7(a)所示。這種空洞在CSAM影像中並不明顯，且大多相當接近銲點，其形成原因：研究中基板的銲墊並非由防銲層定義（即None Solder Mask Define；NSMD），因此在銲墊的周圍形成了一道溝渠(Trench)。在防銲層開口，位置偏移及其邊緣倒勾(Undercut)現象的雙重影響下，使得在防銲層懸垂邊與銲點間形成相當大的空間。再加上封膠材料不易流過陡急的邊緣(Sharp Edge)，以填充上述的空間，於是，該空間將含入空氣或濕氣。空氣與濕氣在封膠固化前的烘烤初步階段，因擴張而形成氣泡，此即發生於銲點邊緣的空洞，如圖7(b)所示。

## 矽粒子沈澱

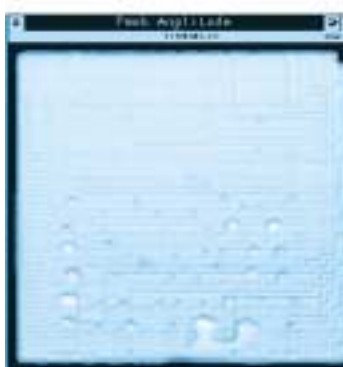
矽填充粒子缺乏良好的穩定性，可能導致封膠材質的不均勻<sup>[2]</sup>。這種非同質性情況若發生在覆晶銲點周圍，將會減低組裝銲點的可靠度。圖八為底填封膠T，其環氧基樹脂明顯的與矽填充粒子分離，而攀爬至晶片邊緣。此現象造成覆晶封膠弧角不具任何矽粒子，而具迥異



圖五 切片樣本顯示防銲層下之空洞

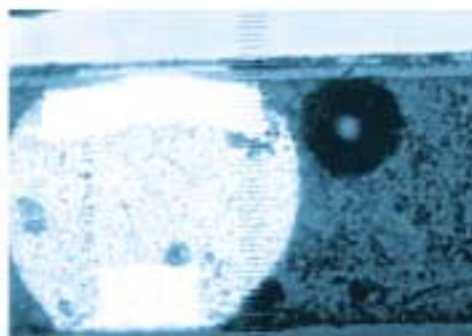


(a) 12個小時

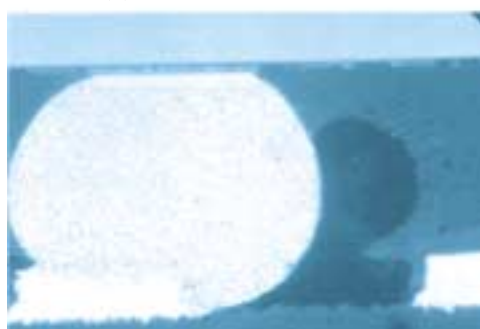


(b) 14個小時

圖六 封膠E於室溫下各種老化時間之SAM影像



(a) 烘烤前之內部空洞



(b) 烘烤後之內部空洞

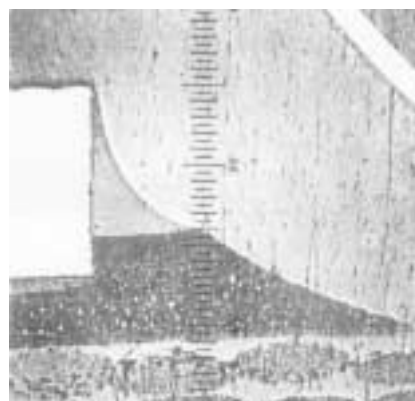
圖七 切片樣本顯示封膠內部空洞

的機械性質，其組裝可靠度亦受嚴重影響。然而，上述矽填充物分離現象則不同於在封膠G、H和I等型式所觀察到的填充物沈澱。

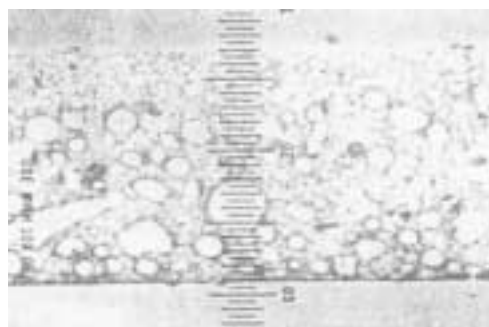
以後者而言，其矽粒子之填充密度在垂直方向，由下而上逐漸減少（如圖九所示）。較大的粒子傾向沈澱於底部，較小的則堆積於上部。以前者（封膠A）而言，矽粒子在晶片下方似乎均勻的分配，但在邊緣的弧角位置則有明顯的分離。這兩種情況的形成原因雖不同，然而任何一種填充物的分離將影響底填封裝的疲勞壽命。

## 不良的邊緣弧角形狀

有限元素分析(FEM)研究建議，可靠度的最佳化可藉由在晶片四週形成與晶片齊高的弧角，且廣度相似於弧角高



圖八 環氧基樹脂於形成弧角時明顯與矽粒子分離



圖九 晶片與基板間矽粒子沉澱現象

度來達成<sup>[2]</sup>。本研究評估各種封膠材料流過出口邊之後，能自動形成良好的出口弧角的趨勢。

自動形成出口弧角的特性因封膠而異。封膠A及E顯示較佳的趨勢形成出口弧角。而封膠D及I卻只流到晶片邊緣，而不曾形成出口弧角。封膠B、F、G和H傾向於只形成不完全的出口弧角。此結果似乎與封膠材料在晶片切割側面的濕潤特性相關。

## 不良的矽顆粒尺寸及形狀

封膠中的矽粒子填充物尺寸是一個必須考量的關鍵因素，用以決定某型號封膠是否能應用於一個特定組裝間隙的覆晶元件。覆晶元件在印刷電路板上的

組裝間隙，通常在千分之幾英寸左右。過大的填充物顆粒會使封膠無法流入晶片與基板的間隙。這也將導致晶片下方材質之熱膨脹係數(CTE)不均勻現象的發生。

相對的，如果填充物的顆粒過小，則增加材料的黏稠度。一個理想的封膠應該有較小的填充物顆粒尺寸，並同時確保其黏稠度相對較低。一般而言，填充物顆粒的尺寸必須不超過組裝間隙高度的1/3。

一個理想的封膠應該擁有圓球形的顆粒形狀。如此可減低封膠流動過程中，顆粒與晶片底面或基板表面的摩擦力。由於在封膠流動中，常發生因為封膠顆粒形狀不規則而產生的碰撞，其將減低封膠流動的動力並減緩其毛細流動。然而，顆粒形狀對於流速之影響似乎不如材料黏稠度顯著。封膠E和L有相似的顆粒尺寸，而封膠E相較於封膠L有較圓的顆粒，然而封膠E的黏稠度高於封膠L，實驗結果顯示封膠E的流速約慢30%。

## 結論

本研究探討與覆晶封膠相關的缺陷，透過謹慎檢驗實驗結果而得。實驗涉及各種型號及特性的底填封膠材料，並應用於各種銲點佈置方式的覆晶元件。研究中指出空洞的形成與封裝設計、封膠材料流動特性、相關吸溼特性、塗佈方式、防銲層表面粗度、封膠材料老化及助銲劑殘留等因素。全面瞭解空洞形成原因將有助於防止空洞的發生。文中並探討其它的封裝缺陷，如不良的弧角形狀及填充物沈澱等現象，也發現其與封膠材料特性確切相關。本研

究探討關於覆晶封膠的多種缺陷，提供資訊於覆晶銲點佈置設計、封膠材料選擇、發展新的封膠材料並有助於底填封膠製程優化。

## 參考文獻

1. 張仁傑，覆晶接合方法介紹，電子與材料季刊，1999年創刊號，pp. 43-46。
2. Huang, C-Y, Process Research in The Encapsulation of Direct Chip Attach Components, Doctoral Dissertation, State University of New York, Binghamton, New York, May 1996.
3. O' Malley, G., Giesler, J., & Machuga, S., ' The Importance Of Material Selection For Flip Chip On Board Assembly ' , IEEE Transactions On Components, Packaging, And Manufacturing Technology, Vol. 17, No. 3, 1994, pp. 248-255.
4. Pascarella, N. & Baldwin, D., ' Compression Flow Modeling of Underfill Encapsulation for Low Cost Flip Chip Assembly ' , Proceedings - IEEE Electronic Components and Technology Conference, Seattle, Washington, May 1998, pp. 463-470.
5. Suryanarayana, D., Hsiao, R., Gall, T.P., & McCrearty, J.M., ' Enhancement of Flip Chip Fatigue Life by Encapsulation ' , IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 1, 1991, pp. 218-223.