

# Blow hole in Lead-free wave soldering research and improving

## 無鉛波焊中吹孔成因研究及改善

惠陽科惠工業科技有限公司 喬鵬程

摘要：線路板無鉛焊接推廣以來，吹孔問題有頻繁產生之趨勢。吹孔為 PCB 制程不良的表徵之一，必須徹底避免才能在業界立足。本文主要從吹孔不良實例入手分析無鉛波峰焊中吹孔成因及研究其改善方案。

關鍵字：吹孔 (blowhole)、無鉛波焊

### 一、前言

電子產品無鉛焊接在全球全面展開以來，諸多焊接問題接踵而至。有關無鉛焊接的各種允收規格，以 IPC-A-610 “電路板組裝品質允收度”為最具權威性的國際規範，2005年2月全新的610的D版將焊接各種允收規格安排在第5章，其中鍍通孔 (PTH) 插腳波焊後發生吹孔 (Blow Hole)，或 SMT 貼焊點呈現見底的針孔 (Pinhole)，或外表之凹陷者，只要焊點尚能符合其他品質要求，則 Class1 可允收。但 Class2 與 3 卻須視之為“制程警訊” (Process Indicator)。(見D版5.2.2) 從品質與改善之原則看來，發生制程警訊時，客戶方面必須見到改善方案與執行決心後，才能對現品考慮允收，是故“制程警訊”反而成了更為嚴肅的整體性問題。

吹孔 (blow hole) 傳統上是指完工的 PTH 銅壁上，可能有破洞(Void)存在。當PCB板在下游進行焊錫時，可能會造成破洞中的基材的濕氣在高温中迅速膨脹而產生一定氣壓，往外將孔中灌入的熔錫吹出。冷卻後孔中之錫柱會出現空洞。這種會吹氣的劣質 PTH，特稱為“吹孔”。無鉛波焊中出現的吹孔除與鑽孔、PTH等制程有關外，還與板材、波焊之參數和助焊劑、元件插腳等有較大關聯。可以說無鉛波焊中吹孔產生的具體原因呈多樣化，複雜化。

### 二、無鉛波焊特性

綜觀整個波峰焊工藝過程，包括助焊劑塗敷系統、預熱系統、波峰焊接系統、冷卻系統和軌道傳輸系統。良好的無鉛波焊，其預熱段必須使板子底面達

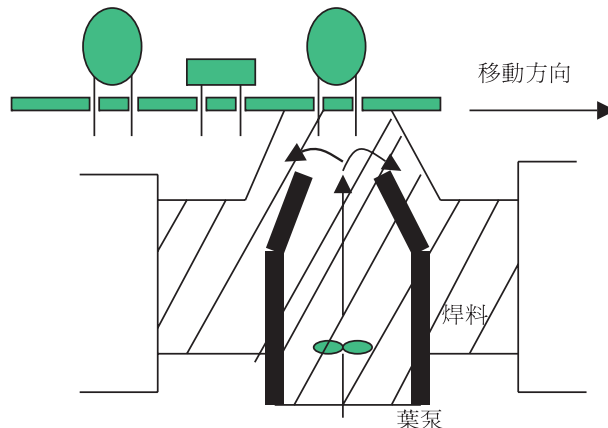


圖1. 波峰焊示意圖

到130°C，頂面須達到110°C左右，這樣才能保證焊錫順利上到孔頂。無鉛波焊的實際溫度最高達 270°C，預熱後的PCB板從前面的突波與後繼的平波總共接觸滾燙的熔錫時間一般為4-6秒。當待焊接的板子底面進入波峰時，大量的熔錫與夾帶的強熱瞬間向上湧入通孔，一邊打造介面IMC完成焊接，一邊又把介面IMC熔入液態焊錫中(如圖)。所以無鉛波焊特性猶如夏天的大颶風，一陣狂風暴雨之後又是豔陽高照，板子雖然不會長時間受到高温強熱的傷害，但是瞬時的熱量對通孔還是有強力的衝擊。高温所帶來的另一方面的影響是會形成吹孔。PCB板插件孔在焊接過程中會散發氣體，這些氣體源於PCB加工過程中吸收的溶劑、水分，電鍍層包含的有機物、濕氣或者是板材中包含的有機物、組裝時殘留的助焊劑等等。

### 三、孔壁粗糙產生吹孔

如果孔壁存在孔粗，且孔粗較大，會有水氣的藏納，造成高温波峰時迅速膨脹吹出 (Out Gassing)，而推開尚未固化的熔錫，白板子的焊錫面向外向噴出，從而形成“吹孔”。圖2.即為典型的孔粗造成的波焊後吹孔不良實例。

機械鑽孔過程中，如為趕產量，設置的鑽孔參數不當，在強大的機械切削力下造成孔壁中玻纖和樹脂出現較大的分裂和缺口，經過除膠後孔壁上形成過



圖2. 孔壁粗糙導致的吹孔

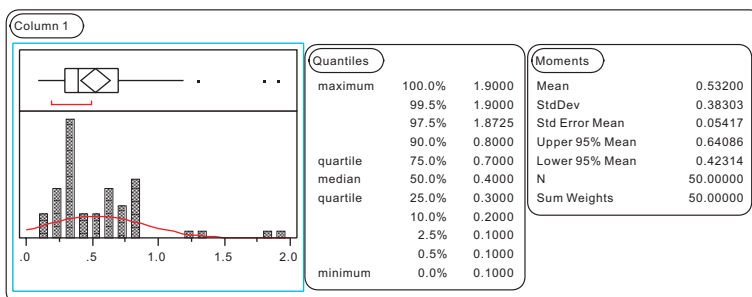
大的凹陷和空隙，在PTH和電鍍後鍍銅層無法緊密附著，引發許多微小的破洞（void）而且深藏殘液。後繼在波焊時自然不可避免出現吹孔問題。在評估鑽孔孔壁粗糙度的時候，一般都以進刀量（chip load：指鑽針每旋轉一周所進入板件的深度）作為主要控制指標，所使用的進刀量如果偏大，鑽孔後的孔壁難免粗糙。例如在Spindle鑽速同為10萬轉/分（rpm）時，進刀速率(feed rate) 分別採用60Inch/min和120Inch/min作比較，前者的進刀量為0.6mil/周。後者為1.2mil/周，顯然後者孔壁粗糙度遠遠大於前者。要改善鑽孔粗糙度，還應該充分考慮到無鉛板材TG和硬化樹脂體系由DICY改為DICY Free的變化。圖3.為不同TG普通FR4和DICY Free FR4板材對鑽針磨損的比較，可以明顯看到板材TG越高相對鑽針的磨損越大，採用DICY Free做硬化劑的板材對鑽針磨損相對更嚴重。

板材	鑽孔條件	結果對比	
		1500hits	2000hits
TG150 DICY FR4	孔徑Φ0.30mm Rpm:100Krpm Feed:70Ipm Back:984Ipm		
TG170 DICY FR4			
TG170 DICY Free FR4			

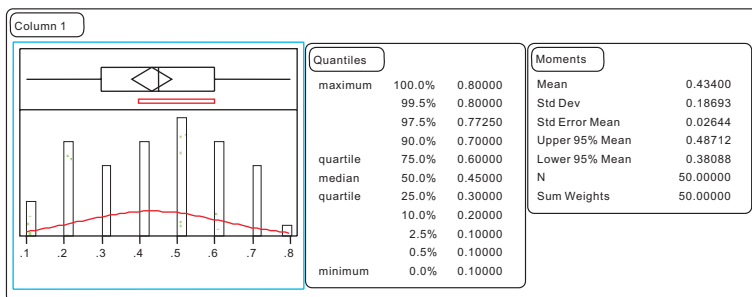
圖3. 不同TG普通FR4與DICY Free FR4板材對鑽針磨損比較

針對無鉛焊接下板材TG和硬度的變化，考慮其硬度高、脆性大等特性，對鑽針的磨損較大，鑽孔條件應做如下調整：降低進刀量到0.6mil/周以下，適當

減少鑽針設定的Hits，增大鑽針的翻磨頻率，控制主軸的偏轉（Run out）在10um以內等。以下是選擇TG170 DICY Free板材做調整鑽孔條件改善孔粗的對比研究，通過大量的切片分析，測量資料生成正態分佈圖如下（篇幅所限，僅列其中一種插件孔徑Φ1.40mm比較結果）：



普通鑽孔參數：Rpm:45Krpm Feed:48Ipm  
Back:400Ipm Hit:1000Htis

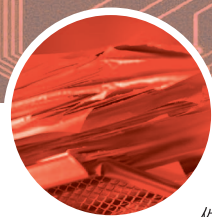


調整後特殊鑽孔參數：Rpm:45Krpm Feed:27Ipm  
Back:400Ipm Hit:500Htis

板材	鑽孔條件	結果對比	
		50X	100X
TG170 DICY Free FR4 孔徑 Φ1.40 mm	普通鑽孔條件 Rpm:45Krpm Feed:48Ipm Back:400Ipm Hit:1000Htis		
	特殊鑽孔條件 Rpm:45Krpm Feed:27Ipm Back:400Ipm Hit:500Htis		

圖4. TG170 DICY Free 板材鑽孔參數優化調整前後比較

由以上測量結果可知，當鑽孔條件調整到特殊參數 Rpm:45Krpm Feed:27Ipm Back:400Ipm Hit:500Htis 時，孔粗狀況較普通鑽孔條件有明顯的改善，最大孔粗可以控制在≤0.8mil。我們將部分按



此兩種鑽孔條件製作的PCB板送某電子廠插件後同時按波峰焊溫度255°C，傳輸速度1.3m/min過波峰焊，對比其產生吹孔情況（見下表），結果表明普通鑽孔條件下有2PCS發生吹孔，追溯其吹孔原因還是如圖2.所示，孔壁粗糙度過大，在過波峰焊時暗藏其中的水氣自孔粗處噴出，形成“吹孔”。而按特殊鑽孔參數製作的PCB因孔壁光滑平整，沒有吹孔問題發生。

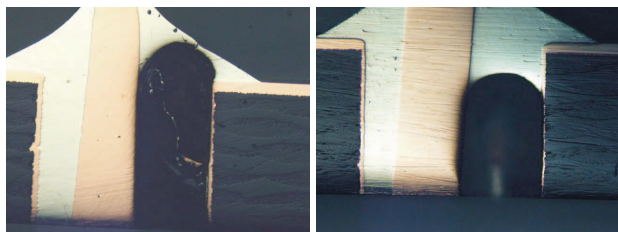
板材	鑽孔條件	試板量		吹孔數			
		板數 (PCS)	孔數	板數 (PCS)	板數比例	孔數	孔數比例
TG170 DICY Free 板材	特殊條件	50	3400	0	0	0	0%
	普通條件	50	3400	2	4%	2	0.058%

#### 四、孔壁破洞 (void) 與孔銅太薄造成吹孔

如果孔壁銅層有破洞，易藏納水汽在其中，當過高溫波峰焊時，板材中水氣迅速膨脹吹出，推開尚未固化的熔錫，從而形成“吹孔”。若孔壁銅厚偏薄，則孔壁無法為焊錫提供足夠的基礎，使焊料與孔壁的附着力不夠，進而形成空洞，也會造成“吹孔”。圖5.和圖6.即分別為無鉛波焊後因孔破洞(void)和孔銅太薄造成的吹孔不良圖例。



從圖5.看，在孔壁的破洞處吹出氣體，推開尚未固化的熔錫，形成“吹孔”。



從圖6.看，右邊孔壁上孔銅太薄焊料無法有效附著，形成焊接空洞。

孔壁破洞 (void) 的產生與除膠渣及化學銅制程密切相關。在除膠渣的過程中高錳酸鉀的咬蝕量不足，不但無法有效獲得蜂窩狀的微粗化面，且會造成孔壁微孔洞，內層結合不良，孔壁脫離，吹孔等質量隱患。對除膠槽來講，新槽和較高的處理活性也可能會使一些聯結程度較低的單功能樹脂、雙功能樹脂和部分的三功能樹脂出現過度除膠的現象，導致

孔壁玻璃纖維突出，玻璃纖維較難活化且與化學銅的結合合力較與樹脂之間的更差，沉銅後因鍍層在極度不平的基底上沉積，化學銅的應力會成倍的加大，嚴重的可以明顯看到沉銅後孔壁化學銅一片片從孔壁上脫落，造成後續孔內無銅的產生，也可能造成孔內粗糙，玻璃纖維載點，滲銅，內層楔形孔破等狀況。另外除膠的幾個槽液之間的協調控制問題也非常重要。膨松/溶脹不足，可能會

造成除膠渣不足；膨松/溶脹過度則會出現溶劑殘存到已蓬鬆的樹脂內，在沉銅時也會活化不良沉銅不上，即使沉上銅也可能在後工序出現樹脂下陷，孔壁脫離等缺陷。

沉銅後的板件一般要浸硫酸除去表面的殘碱和鹼性的鈍化膜，再直接電鍍酸銅。板子放入稀硫酸缸中時，必須將板分散，左右搖擺3-4次，將孔內氣泡排出，讓酸液將孔壁潤濕。因為孔內殘存濕氣容易造成孔內化學銅的氧化，引發後續的孔內無銅或銅薄，所以沉銅後應該做好出缸時間記錄儘快一次銅，不要存留時間過長，一般不允許超過8小時。

針對孔銅太薄的問題，在電鍍時對孔銅厚度方面應加強控制，批量生產前嚴格執行FA制度，要求全測FA板的插件孔孔銅，保證首板孔銅厚度OK後才能進行批量生產；定期用鉗表測量飛巴的電流，確保顯示電流與實際電流相符合；適當提高電流密度，將孔內電鍍銅厚要求由1.0mil(min)提高到1.2mil(min)，即使鑽孔品質稍有閃失，其所產生的破洞也可被足夠厚的兩次電鍍銅所補平，進一步消除可能發生的“吹孔”。



## 五、DICY Free 板材易產生吹孔

由於無鉛板材為了提高耐熱性減少爆板，其環氧樹脂的固化劑已由DICY（雙氰胺）改變為DICY Free（酚醛），並且加入了微粒狀的二氧化矽、氫氧化鋁等無機填料，在耐熱性提高的同時板材更加脆化。在一般鑽孔參數下鑽孔時孔壁上極易產生玻纖與樹脂之間的微裂，對後繼的孔銅的可靠性產生極大影響。從圖7.可見無鉛波焊後DICY Free 板材在孔壁附近的玻纖間存在有明顯的裂口（glass crack）。

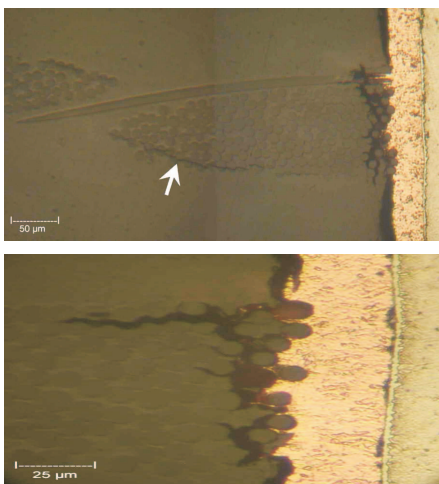


圖7. DICY Free 板材脆性大鑽孔後玻纖出現微裂，受熱衝擊後裂紋變得很嚴重。

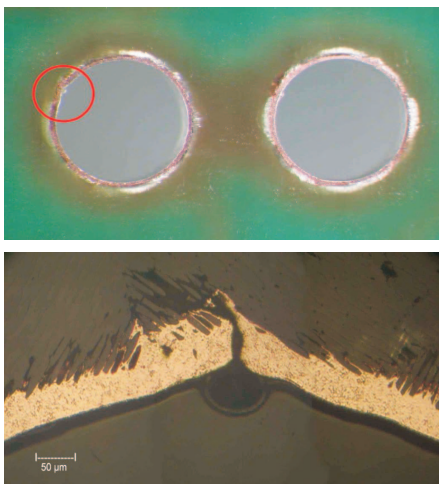


圖8. DICY Free 板材玻纖微裂處發生的“吹孔”。

為得到良好的孔壁表面，針對無鉛化DICY Free 板材不但要加強高錳酸鉀槽液的作業條件，且除膠渣前的膨松處理也要延長反應時間。但造成的負面效應

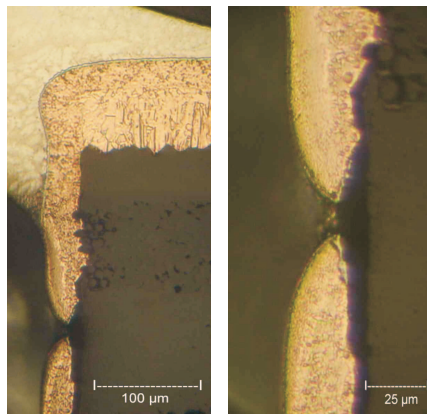


圖9. DICY Free 板材因玻纖和樹脂鬆軟造成孔壁破洞產生的吹孔。

是孔壁上被鑽孔打松或打裂的玻纖和樹脂間，極易殘留膨松溶劑，進而在後繼發生樹脂空洞、銅層破洞、燈芯效應等缺陷，在無鉛波焊引發吹孔現象。

（見圖9.）不同板料供應商的DICY Free 板材樹脂體系和填料比例都有差異，因此在選用DICY Free 板材時，一定要對各種DICY Free 板材本身的性能及PCB製作條件重新進行評估，找出最佳的加工條件。同時建議要求板料供應商固定紗源，並使用開纖玻璃紗；做板前將板料高溫焗板，消除可能存在的半固化片固化不徹底對鑽孔的影響。

另外，目前業界也開始從現有的DICY FR4做改良，使其耐熱性大幅度提升，達到最新的IPC-4010B對無鉛板材的性能指標。

## 六、插件不正產生的吹孔

如果零件腳未插在孔的正中央，靠孔壁較近的一邊錫爬升速度會較快，並把孔口封住，使得離孔壁較遠的一邊的空氣來不及排出，受熱迅速膨脹吹出，推開尚未固化的熔錫，形成孔內填錫不滿、有空間。從圖10.可以看到插件不正造成吹孔的實例。



圖10. 插件不正導致吹孔



根據IPC-2222標準，當採用波峰焊接工藝時，使用圓形插件腳時孔徑同插件腳之差為0.2-0.7mm，使用矩形插件腳時，孔徑同插件腳對角線尺寸之差應為0.2-0.7mm。小於0.2mm大於1.0mm在焊接時容易出現問題。如圖11.所示， $0.20\text{mm} \leq D - d \leq 0.7$ 及 $0.20\text{mm} \leq D - L \leq 0.7\text{mm}$ 。

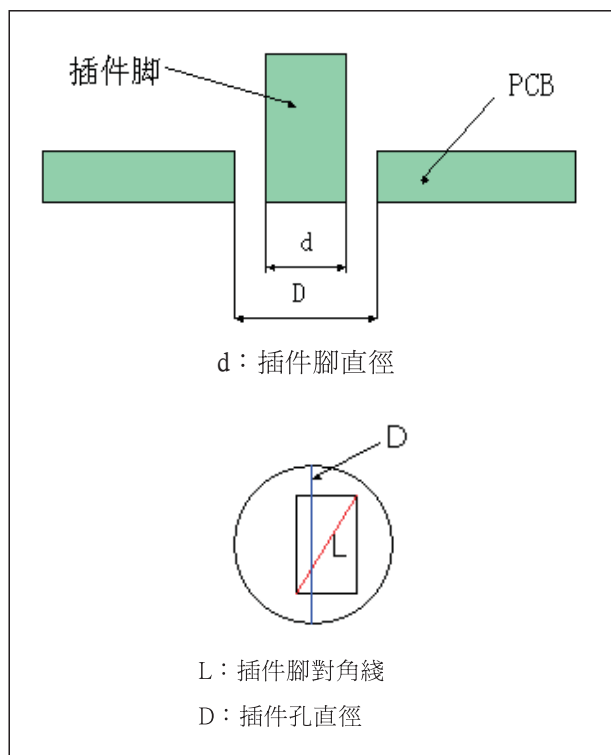


圖11. 插件腳設計規範要求

## 七、無鉛波焊過程中參數、流程控制問題

在無鉛波焊中，有些PCB板不存在孔粗、破洞的孔及插件不正也存在針孔及吹孔問題。分析可能原因有：

- a、板子打開包裝後在空氣環境下放置時間過長，導致PCB板基材吸潮，孔內吸收的濕氣在焊錫過程中受到高熱蒸發出來而造成，解決方法是放在烤箱中120°C烤2小時。
- b、元件引腳氧化；
- c、助焊劑活性低、塗敷量過大；

對於無鉛波峰焊來說，由於無鉛焊料的潤濕性比Sn-Pb焊料要差，為了保證良好的焊接質量，對助焊劑的選擇和塗敷的要求更高。一般無鉛波峰焊採用免清洗助焊劑，這種助焊劑一般具有較低的活性，而且殘留物活性在很大程度上依賴於過程操作，這就需要波峰焊設備在助焊劑噴霧上要求均勻塗敷，而且塗敷的助焊劑的量要求適中。

d、無鉛焊料的氧化性問題；

同Sn-Pb合金焊料相比，高Sn含量的無鉛焊料在高温焊接中更容易氧化，從而在錫爐液面形成氧化物殘渣（SnO<sub>2</sub>），影響焊接質量。焊料中的雜質在高温波峰焊時會產生氣體，推開尚未固化的熔錫，形成孔內填錫空洞。為了防止無鉛焊料的氧化，解決辦法是改善錫爐噴口，最好的對策是加氮氣保護。焊錫爐中的惰性氮氣使得液化焊料儘量少暴露於氧氣下，從而減少氧化物的形成，同時會提高焊料潤濕程度。

e、傳輸速度快，預熱不足；焊接時間太短。

## 八、結束語

電子產品實施無鉛制程以來，從PCB板材、元件到波峰焊的焊料、設備工藝都相應產生了改變。因此造成“吹孔”的原因有很多，包括上游CCL板材、PCB的品質、下游插件廠波峰焊操作條件等等。真正要解決吹孔，還需要上下游結合，根據實際情況調整制程參數，以預防吹孔現象的發生。