

# 孔口阻焊顯影不淨原因分析及論證

東莞生益電子 SYE  
袁繼旺 Yuan Jiwang

**摘要** 孔口阻焊顯影不淨問題不同於一般的阻焊顯影不淨問題，它的存在一般不易被檢查出，由於存在於孔口，直接會導致焊接失效問題，所以它的影響極大。本文主要通過對導致孔口阻焊顯影不淨的可能性因素分析，並逐個進行分析論證，最終定它位問題根源之所在。

**關鍵字** 孔口 顯影不淨 酸性 鹼性 固化

## 1. 前言

在PCB製造日益複雜化的今天，為獲取更為廣闊的市場，業界各廠家會不惜重金投資新技術和新設備，大多數的廠家把主要技術力量放在埋阻、埋容等新工藝的研發以及HDI、背板、高層板等高難度板制程能力之提升，談起阻焊顯影不淨很多人會對其不屑一顧，因為自從開始PCB製造以來，顯影不淨問題就開始出現，人們對它太熟悉，如同日出日落。PCB製造技術在飛速發展、日新月異，這是不證的事實，然而誰能否認顯影不淨問題不是PCB製造者的一大遺憾？有誰又能否認它多年來給業界造成的困擾？

目前發生在PCB製造行業的阻焊顯影不淨問題有多種，今天我們主要論述的是其中的一種——孔口阻焊顯影不淨問題。所謂孔口顯影不淨就是在孔口經過阻焊顯影之後，會殘留一層較難檢查出的阻焊薄層，它的出現往往導致表面處理失效（參見圖1，2）。這種問題目前在各大PCB製造廠家時有發生，對此問題的處理各廠家往往把它歸咎於阻焊油墨問題或環境濕度問題。然而的確如此嗎？分析、試驗論證之後便是答案之所在。

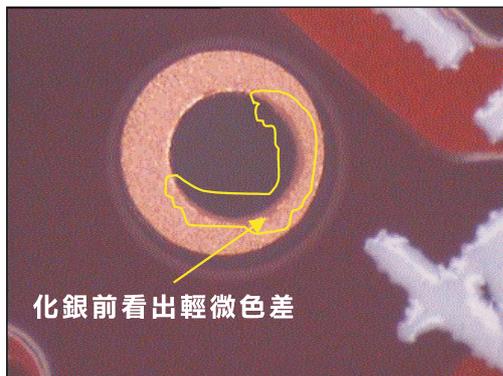


圖1 阻焊後出現孔口S/M殘留

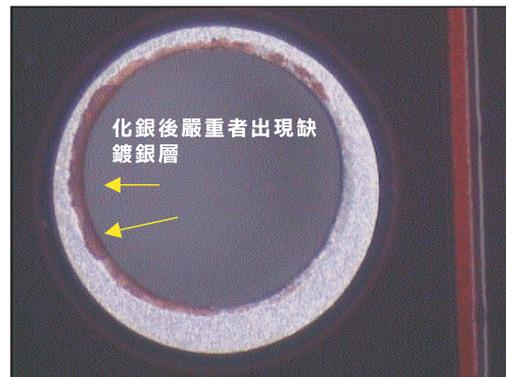


圖2 表面處理（化銀）孔口失效

## 2. 孔口阻焊顯影不淨的危害

對於孔口顯影不淨問題，由於位置的特殊性，它一般不易被檢查出，總的來講其具備以下危害：

- 1) 對於表面處理為化學銀和化學鍍金的PCB，由於不能重工，會因表面處理失敗而導致板子報廢。
- 2) 對於OSP表面處理的PCB，由於OSP膜無色，所以對於孔口的問題較難檢出，一般都會將問題板子流入下游客戶，導致客戶焊接失效而報廢賠款。
- 3) 對於下游客戶而言，嚴重者焊接失效，輕微者會存在焊接的可靠性問題(焊點結合不牢！)。

## 3. 原因分析及初步試驗

### 3.1 問題直接原因

根據問題發生的情況，分析認為導致問題的直接原因是檔油點的存在，使孔口位置殘留S/M層極薄，此極薄的S/M被固化而致使顯影時失敗，最終出現S/M孔口殘留，示意圖參見圖3。

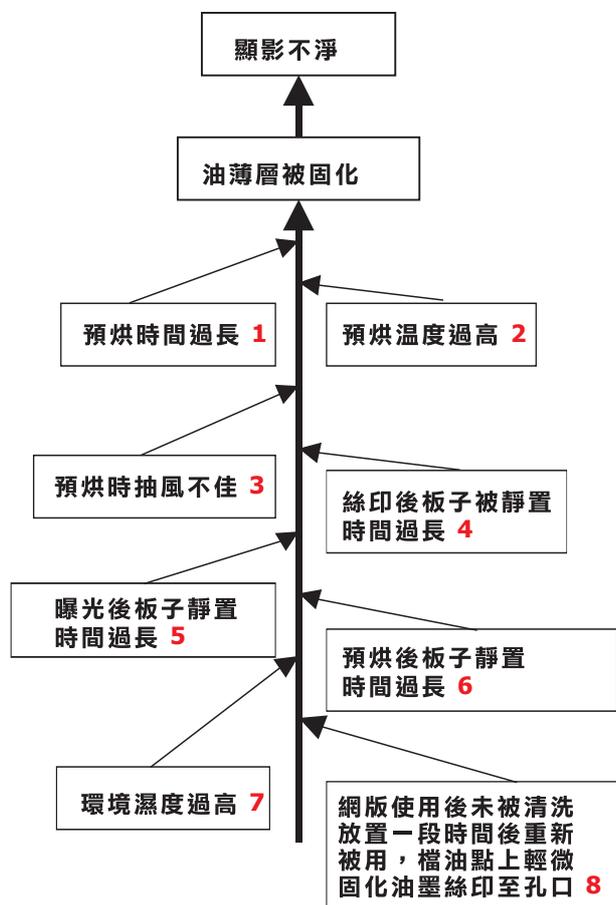


圖3 孔口阻焊薄層形成機理

值得說明的是，問題的出現不是檔油點→油薄因素的結果，而是油薄層被“固化”因素的結果所致。

### 3.2 問題的間接原因

依據阻焊製作相關流程，我們可以對孔口阻焊顯影不淨問題提出如下可能因素：



經過對問題的分析，我們認為導致出現此次批量問題的可能原因主要可能由以上8種，針對以上8種可能因素我們對其進行模擬試驗。

模擬試驗一：方案及結果參見表1。

模擬針對因素 (試驗板編號)	模擬條件	試板數量	合格板數	備註
1 (B2)	預烘：70°C/120min(正常60min)	5	5	/
2(B1)	預烘：80°C/60min(正常70°C)	5	5	/
3(B3)	預烘時調小進風口及出風口	5	5	/
4(C2)	絲印後靜置6H (正常0.5-2.0H)	5	5	/
5/6(C1)	預烘/曝光後靜置24H(正常0.5-3.0)	5	5	/
7(E)	放置化驗室1H(濕度約為63%)	5	5	
7(F)	放置試驗槽1H(通過底部加水獲得濕度約為75%)	5	5	/
8(D)	網板索油後2H後試驗	5	5	/
正常(A)	正常條件	5	5	/

表1 顯影不淨模擬試驗一方案及結果

試驗結果並未出現孔口阻焊顯影不淨問題，這說明孔口阻焊顯影不淨引發因素另有它因。至少以上單一因素不會導致孔口阻焊顯影不淨問題。

### 4.影響因素再分析

#### 4.1 其他可能原因

根據實際問題發生的情況，當孔口阻焊顯影不淨發生時，一般是批量性，並且不是一種阻焊油墨發生，由此我們認為與阻焊油墨的關係不是很大，那麼除了生產方法外，唯一的可能就是環境之異常變化了。對於環境的異常，無非也就是重在環境濕度和空氣品質兩方面。

#### 4.1.1 模擬試驗再驗證

##### 模擬試驗二—環境濕度影響再評估

在開始時我們曾對濕度進行過重點評估，但結果並未出現顯影不淨情況，考慮到也許是條件不夠，於是我們進行條件惡化試驗，即在絲印前與稀釋劑一起加入一定量的水(20ml/Kg)，然後進行正常的絲印，並靜置1&5H後預烘...結果：未見孔口顯影不淨問題，但塗層顏色較啞色，並且耐熱性極差，進行熱風整平表面處理發生阻焊圖層脫落。

##### 模擬試驗三—空氣品質之酸鹼性評估

對於PCB製造工廠來講，使用的酸、鹼材料較多，由此考慮到環境大氣中可能會因酸鹼氣體的排放而變質，當不良氣體進入取風區時，也就免不了進入車間，於是在此方面進行模擬論證，具體如下：

- 類比試驗針對流程情況：絲印後預烘前、預烘過程中、預烘後曝光前三種階段。
- 酸鹼環境營造：酸使用揮發性鹽酸；鹼使用揮發性氨水放置於相對封閉(未達到密閉)的槽體內(容積：160L)

- 條件：鹽酸/氨水5ml+DI水10ml，放置60min.放置於烘箱內
- 絲印後預烘前及預烘後曝光前模擬試驗放置示意圖參見圖4。預烘過程中酸鹼環境模擬試驗示意圖參見圖5。

說明：a)酸鹼環境試驗分別進行。b)試驗過程中測試草體內試驗環境濕度為63—68%（溫度：28—30℃）；預烘箱內相對濕度為8—11%（溫度70℃）。

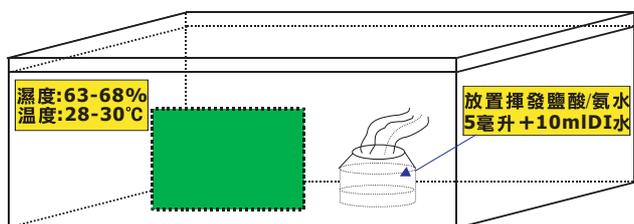


圖4 酸、鹼環境靜置模擬試驗示意圖

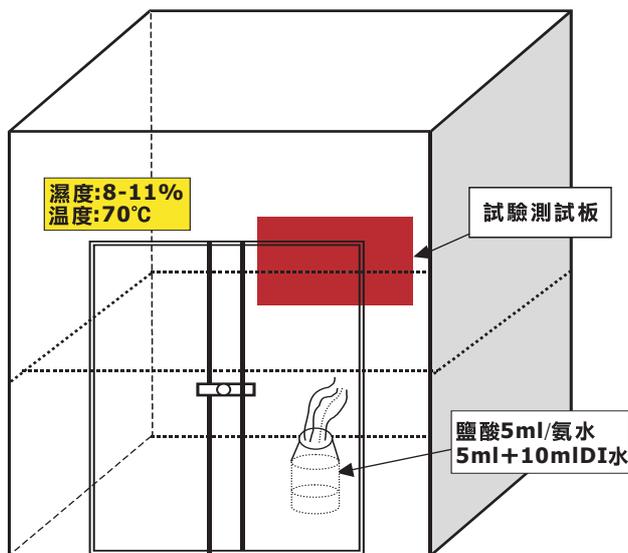


圖5 酸鹼環境預烘示意圖

#### 4.1.2 模擬試驗三結果

對於不同條件下的模擬試驗板子進行正常的後續流程處理（參數完全同正常生產），然後根據需要進行化學銀表面處理（目的是便於檢查問題），具體結果如下：

1) 預烘過程中處於酸性或鹼性環境模擬未見顯影不淨出現。表觀參見圖6、7。

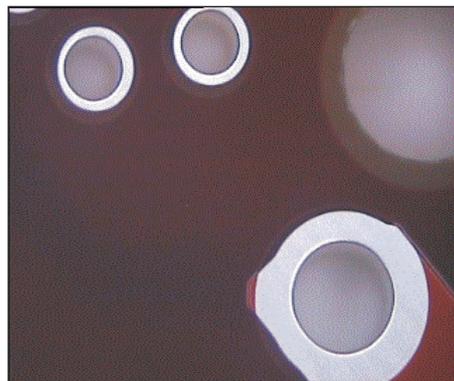


圖6 酸性環境預烘

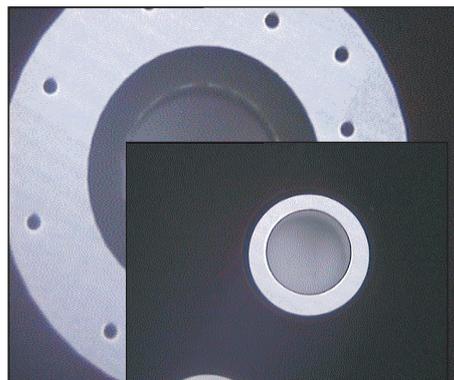


圖7 鹼性環境預烘

2) 預烘前酸鹼環境放置模擬都出現嚴重阻焊顯影不淨問題，鹼性環境放置1H出現整板顯影不掉情況，後降為25min，出現嚴重孔口阻焊顯影不淨問題，具體參見圖8、9。

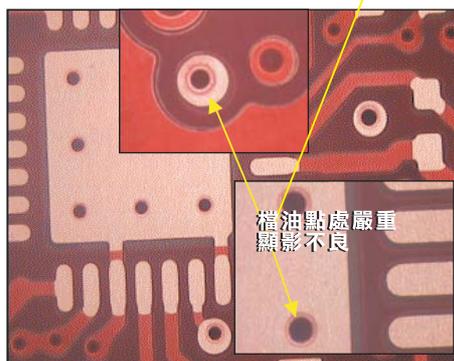
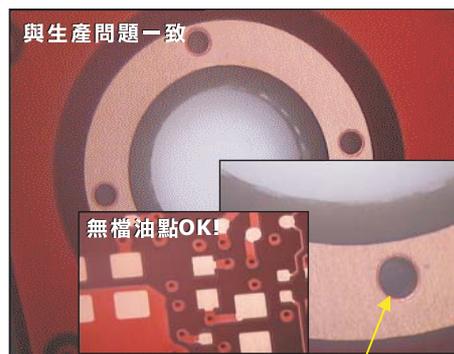


圖8 酸性環境放置（預烘前）



與生產問題一致

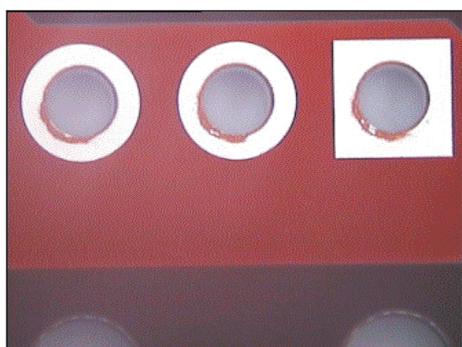
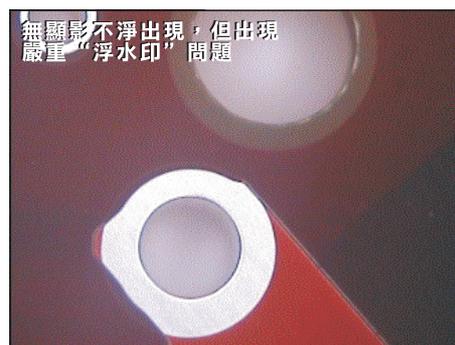


圖9 鹼性環境放置（預烘前放置25分鐘）



無顯影不淨出現，但出現嚴重“浮水印”問題

圖11 酸性環境放置（預烘後）

由上面的模擬試驗我們初步可以看出，酸、鹼環境都會導致孔口阻焊顯影不淨問題，但對於不同流程狀態的板子影響又有所不同，考慮偶然性情況的出現，我們又使用同樣的方法及條件進行重複性試驗，結果同第一完全相同，然而如果我們再細考慮一下，我們又會產生如下疑問：

- 1) 我們使用的酸、鹼有其特殊性，是否所有酸性 ( $H^+$ ) 或鹼性 ( $OH^-$ ) 都會出現同樣結果還是  $NH_3$  或  $NH_4^+$  及  $HCl$  或  $Cl^-$  作用的結果？
- 2) 酸鹼影響程度是否與酸鹼度及時間有正比關係？

3) 預烘後酸鹼環境放置模擬鹼性環境出現嚴重孔口阻焊顯影不淨問題，並且整板沉不上銀。而酸性卻未見問題出現。表觀參見圖10，11。

鑒於以上的疑問，我們又進行如下的模擬試驗（包括重複性試驗）：

#### 4.1.3 模擬試驗四

對於鹼而言，我們沒能找到合適的替代品，而酸可以用乙酸及硝酸替代。

##### 1) 試驗方案設計

根據前面的試驗結果以及我們的困惑，設計如下模擬試驗方案：

- 是否為  $HCl$  或  $Cl^-$  作用的驗證  
使用乙酸（原液）和硝酸（同鹽酸的配比）進行不同流程的試驗
- 時間及酸鹼度的影響  
試驗同樣使用鹽酸及氨水，只針對絲印後預烘前和預烘後曝光前兩種情況，方案設計見表2。



孔口嚴重顯影不淨，且整Pad沉不上銀

圖10 鹼性環境放置（預烘後）

溶液配比	酸鹼度 (PH試紙測試)	時間		
1#(氨水)2.5ml+10(水)	9-10	10min	<b>20min</b>	60min
2#(氨水)5ml+10(水)	11-12	10min	<b>20min</b>	60min
1#(鹽酸)2.5ml+10(水)	試紙邊沿紅色範圍4-5	10min	30min	60min
2#(鹽酸)5ml+10(水)	試紙邊沿紅色範圍2-3	10min	30min	60min/180min

注：1) 對於鹼而言，因為前面我們發現25min就出現問題，所以此次降為20min看結果。  
2) 對於酸而言，為驗證其對預烘後板子的影響，增加了3小時放置試驗。  
3) 試驗時環境相對濕度為65%，溫度28-30℃。

表2 酸鹼度及時間模擬試驗方案設計

## 2) 試驗結果

- 使用乙酸和硝酸進行同樣的試驗後，結果同樣對於絲印後預烘前狀態的板子出現孔口阻焊殘留問題，具體表觀圖參見圖12。而其他情況未見阻焊孔口顯影不淨問題。
- 酸鹼度和時間影響試驗結果發現，對於酸而言，對於絲印後預烘前的板子，兩種配比只有60min出現孔口阻焊顯影不淨問題，預烘後曝光前的板子四種時間兩種配比未見孔口阻焊顯影不淨出現；對於鹼而言，1# 配比溶液兩種狀態的板子在60min都出現孔口阻焊顯影不淨問題，而10min、20min未出現問題；2# 配比溶液預烘前狀態板子20min和60min都出現孔口阻焊顯影不淨問題，而預烘後曝光前狀態的板子，只有60min出現孔口阻焊顯影不淨問題。

## 4.2 總結

通過上面的幾組模擬試驗，我們可以得出如下結論：

- 1) 酸性 ( $H^+$ ) 環境和鹼性 ( $OH^-$ ) 環境都可造成孔口阻焊顯影不淨問題。其他離子或分子的影響不是主要因素。
- 2) 酸性環境對濕膜狀態下的板子有影響，會導致顯影不淨問題。而鹼性則預烘前後都有較大影響，都可導致孔口阻焊顯影不淨問題。
- 3) 作用程度與其酸鹼度及時間基本成正比。

## 5 · 酸鹼環境導致孔口阻焊顯影不淨的作用機理

### 5.1 酸性環境的影響

我們知道對於目前所用阻焊油墨，分為主劑及硬化劑兩部分，主劑烯酸樹脂分子中的  $C=C$  雙鍵用於光固化，而  $-COOH$  則可用可顯影，同時又可參與熱固化聚合反應；而硬化劑中樹脂分子的環氧基團作為熱固化反應基團，高溫下發生聚合，形成大分子鏈，所以我們分析認為：

對於酸性環境而言，可能是由於  $H^+$  的作用，在塗層表面，主劑分子中的  $-COOH$  基團過早的與硬化劑樹脂分子中的環氧基團發生交聯反應所致，示意圖參見圖12。

對於鹼性環境而言，在  $OH^-$  的作用下（當然也不排除  $NH_4^+$  的催化影響），在塗層表面，主劑環氧樹脂分子中的環氧基團之間發生交聯聚合反應。反應示意圖參見圖13。

值得說明的是，此種反應只是從表面開始，酸鹼度越強，時間越長，反應影響塗層深度加深，也就是說在塗層較薄的地方，最為敏感，對於塗層厚的地方，一般情況下由於底部沒發生交聯反應，在顯影液的作用下，通過側蝕而被顯影。另外，預烘前，由於表面較為粗糙，且緻密性差，反應程度較強些。對於預烘後酸性環境無影響，可能與塗層的緻密性增強有關，而由於  $OH^-$ （當然也不排除  $NH_4^+$  的催化影響）可與樹脂分子中的  $-COOH$  作用，所以對塗層造成一定的攻擊，這樣交聯反應也會進一步加深，也就會出現阻焊顯影不淨的情況。

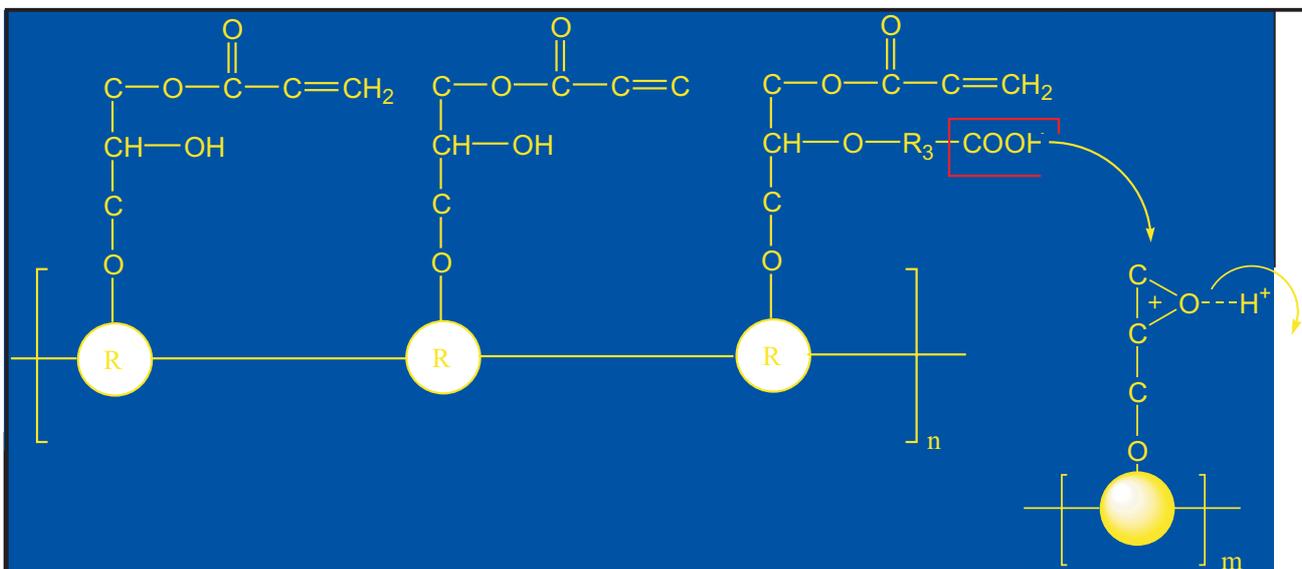


圖12 酸性條件下  $-COOH$  與環氧基團發生反應

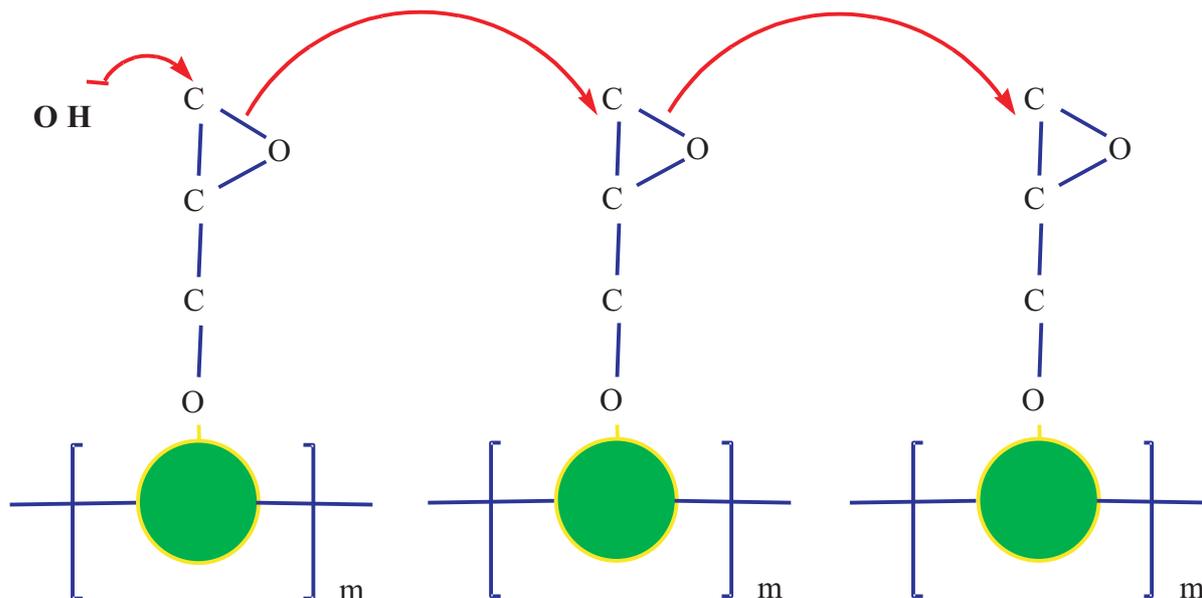


圖13 鹼性環境中環氧基團反應示意圖

由上面的試驗及分析，我們基本可以強調兩點：

- 兩種情況下的反應都需有熱固環氧樹脂的參與，否則，酸鹼環境不會導致阻焊顯影不淨問題。
- 酸鹼環境之濕度必須達到一定的值，以便提供一定量的影響因數 $H^+$ 或 $OH^-$ ，否則，酸鹼環境同樣不會導致阻焊顯影不淨問題。

不難理解，如果沒有硬化劑中環氧樹脂的參與（換句話講，在不加硬化劑的情況下絲印形成的塗層），或濕度值太低，酸鹼環境應該不會出現阻焊顯影不淨問題。為驗證我們以上分析是否正確，我們又進行如下模擬試驗。

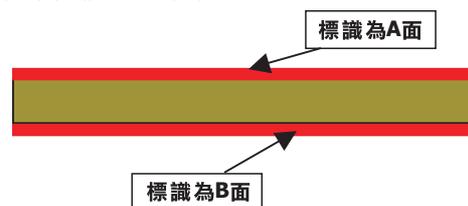
### 6. 酸鹼環境作用機理驗證模擬試驗

為驗證我們的分析推理是否正確，我們進行了如下模擬試驗：

模擬試驗五—酸鹼環境作用機理驗證模擬試驗：

#### 1) 試驗方法

選取一定數量的生產板子（蝕刻後Panel報廢），進行不同情況的絲印：



A面絲印時正常，即主劑和硬化劑混合；B面只由主劑，不加硬化劑。

#### 2) 試驗條件

按如下條件進行模擬試驗，具體條件及設計參見表3。

試板狀態	酸性環境	鹼性環境
絲印後預烘前	環境相對濕度為65%，溫度:28—30℃ 60min/2panel (S1#)	環境相對濕度為65%，溫度:28—30℃ 60min/2panel (J1#)
預烘中	環境相對濕度為8-11%，溫度:70℃ 60min/2panel (S2#)	環境相對濕度為8-11%，溫度:70℃ 60min/2panel (J2#)
預烘後曝光前	環境相對濕度為65%，溫度:28—30℃ 60min/2panel (S3#)	環境相對濕度為65%，溫度:28—30℃ 60min/2panel (J3#)
預烘後曝光前	/	環境相對濕度為10-15%，溫度:30℃ 60min/2panel (J4#)

表3 酸鹼環境作用機理驗證模擬試驗條件

說明：J4試驗主要驗證濕度的影響，相對正常預烘時採用低溫消除高溫的影響，同樣使用預烘烘箱，溫度設定30℃，開啟抽風，獲取較低的相對濕度。

3) 試驗結果

試板狀態	酸性環境		鹼性環境	
絲印後 預烘前	(S1#) (A面) 孔口 阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(J1#) (A面) 阻焊 顯影不淨 (嚴重)	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨
預烘中	(S2#) (A面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(J2#) (A面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨
預烘後 曝光前	(S3#) (A面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(J3#) (A面) 孔口 阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨
預烘後 曝光前	/	/	(J4#) (A面) 孔口 無阻焊顯影不淨	(B面) 孔口 無阻焊顯影不淨

表4 酸鹼環境作用機理驗證模擬試驗結果

經過上述試驗，我們發現在所有試驗中B面都未出現孔口阻焊顯影不淨問題，而A面情況與我們前面試驗的結果吻合。除此之外，我們還發現，B面的耐熱性較差，經過一次回流爐（無鉛條件）後出現較為嚴重的裂紋，而A面卻完好無損，這說明不加以硬化劑的情況下塗層固化應力較大，固化塗層與正常相比強度大大降低。對兩面阻焊Undercut分析未見異常區別，表觀及切片分析可參見圖14，15。

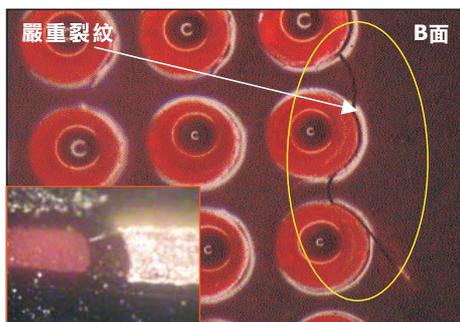


圖14 B面（不加硬化劑）回流一次後表觀圖

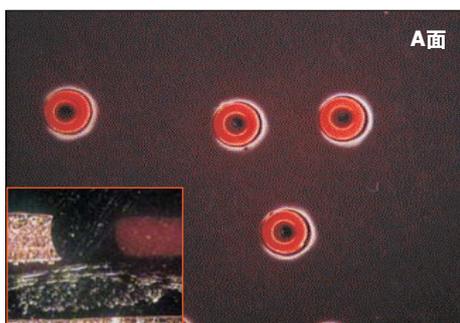


圖15 A面（正常）回流一次後表觀

以上試驗也從另一方面說明，阻焊油墨攪拌均勻的重要性，尤其是無鉛化的今天。

另外，在較低的相對濕度環境中，鹼性條件也不會出現孔口阻焊顯影不淨問題，表觀圖參見圖16。這足可證明濕度對阻焊顯影不淨的影響。

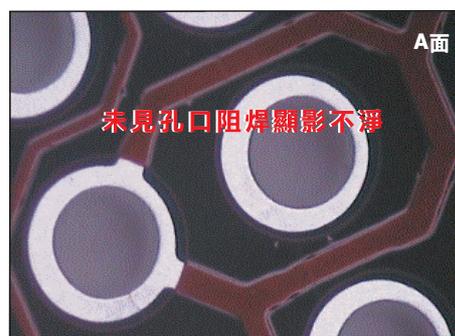


圖16 低濕度（10-15%）鹼性環境試驗表觀

7. 結論

經過一系列的模擬試驗及相關的分析，我們認為對於孔口阻焊顯影不淨問題，引發根源主要為在阻焊相關制程中環境不適的情況下，阻焊塗層表面過早的環氧樹脂參與交聯反應導致。不適的環境即為存在揮發性酸或鹼，但由於是 $H^+$ 或 $OH^-$ 的作用，所以必須在一定濕度下能提供一定量的 $H^+$ 或 $OH^-$ 的情況下問題方能發生。而欲較好地預防此問題的發生，需關鍵控制的是環境空氣品質及環境濕度，但由於問題與時間基本呈正比關係，絲印後和預烘後（當然包括曝光後）的靜置時間也相當重要。一般控制0.5-2.0H為佳。

8. 結束語

電子行業飛速發展，PCB行業當前形式令人為之振奮，在各種大規模的PCB工廠紛紛崛起的今天，作為業界人士，規劃設計廠房時是否考慮一下阻焊制程潔淨房取風口的位置選取？相信百益而無一害！

9. 參考文獻

1. C.M.洛克哈特.過渡元素金屬有機化學.蘭州大學出版社.1989
2. 李克友等.高分子合成原理及工藝.科學出版社.1999
3. 魏榮寶.有機化學..天津大學出版社2003
4. 汪長春等.丙烯酸酯塗料.化學工業出版社.2005.2
5. 楊建文等.光固化塗料及應用.化學工業出版社2004.12
6. 各廠家阻焊油墨資料（TAMURA、Taiyo、GOO-AMC、Eternal）