

**ROHM AND HAAS ELECTRONIC MATERIALS**

羅門哈斯電子材料

**CIRCUIT BOARD TECHNOLOGIES**

印刷線路板技術

**Technical Communications**

科技專刊

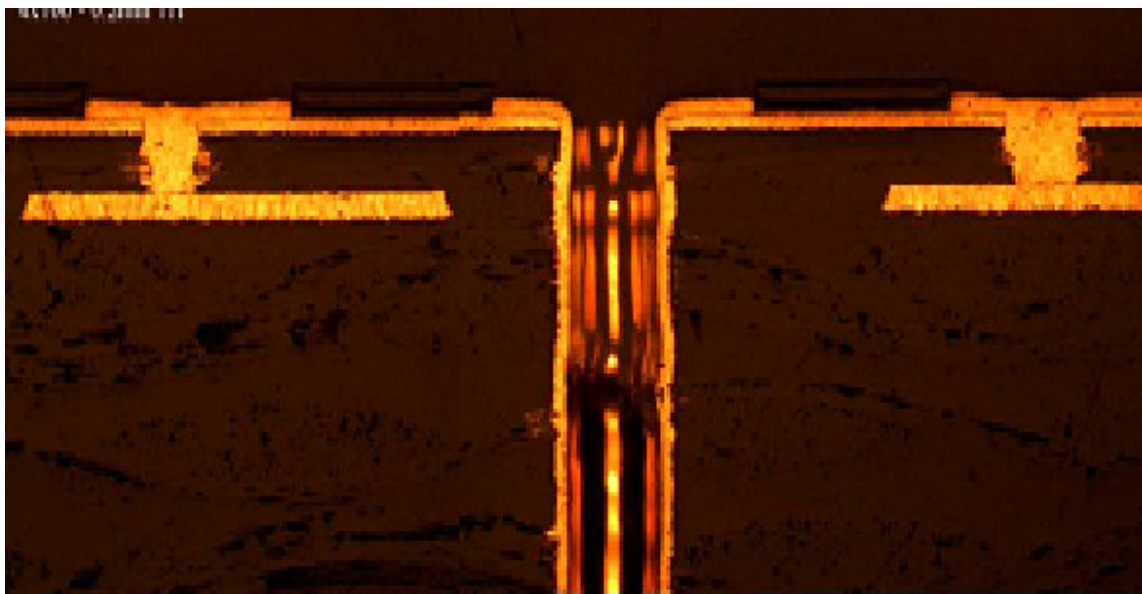
**Next Generation Electroplating Technology for Microvia Filling**

新世代電鍍填孔技術

**August 2008**

2008年8月

本文同步發表於 PCB007 網站



## 新世代電鍍填孔技術

### 前言

爲了增加傳輸速度,可移動性與佈線密度的需求,半導體封裝載板與高密度內部互連印刷線路板的間距持續縮小. 盲孔填孔與增層的製程技術的結合, 滿足了佈線高密度的需求. 隨著該項技術的快速發展, 電鍍銅的盲孔填孔技術被高密度互連印刷電路板與半導體封裝載板廣泛應用.

爲了製造越來越多的細線路設計產品, 增層技術已經從減層技術(受限於蝕刻製程)轉移到半加層技術. 由於盲孔孔徑與線寬線距變小, 避免填孔空眼與取得良好的剖面電鍍線路形狀, 已形成劇增的壓力.

本文將描述一些影響銅電鍍盲孔的關鍵因素, 與可以滿足這一重要市場的一些可行的性能等級。

### 影響填孔的電鍍液參數

絕大部分的電鍍液皆以硫酸銅與硫酸爲主要成分. 兼具低成本與操作便利的特性, 此技術已被廣泛應用在印刷電路板超過 50 年, 應用在填孔也超過 10 年.

典型的硫酸系列電鍍液成分包含硫酸銅(銅離子主要來源), 硫酸(提供電鍍液的電導性)和氯離子(做爲抑制劑). 在這些成分中, 以硫酸銅濃度需超過 200 g/L 最具影響填孔的能力.

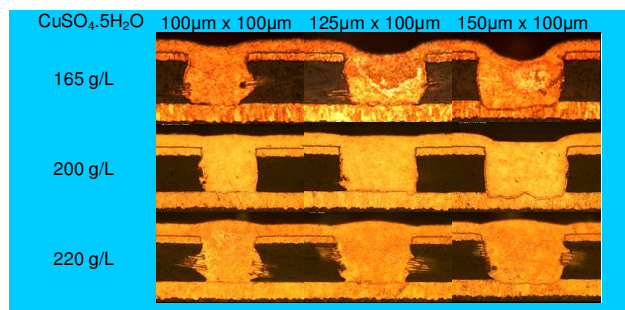


圖 1. 不同硫酸銅濃度與通孔填充之關係 (電流密度 1.8ASD, 電鍍厚度 20µm)

硫酸銅系統未使用添加劑, 常導致鍍層的物理特性不良. 有機添加劑通常由所謂光澤劑, 抑制劑及平整劑所組成, 目的是提升鍍層的品質.

載運劑通常是大分子量的聚合物與少量的氯結合, 在鍍層的表面形成薄膜, 以減緩電鍍的反應速度. 它縮短了結晶生長的時間, 且相較無載運劑作用下它使得所產生的結晶體更小. 載運劑的比例相對較大(500-3000 mg/L), 因而表現出對鍍層表面的銅離子遷移不敏感. 然而, 若無額外的添加劑作用, 該配方所生成的鍍層即無法有平整, 光亮的表面.

光澤劑通常是小分子量的含硫化合物, 其可置換吸附的載運劑, 以加速局部的電鍍反應. 光澤劑的作用偏向於低電流密度區, 通常爲凹陷的表面, 盲孔底部或是溝渠中. 光澤劑的作用是加速局部的電鍍反應並形成細緻的結晶體.

平整劑是進一步的添加劑. 作用是選擇性的抑制, 通常以低濃度使用(<10ppm). 在這樣濃度較低的狀況下, 相較於載運劑, 平整劑的作用更依賴於質傳作用. 結果, 對隔離少的區域(如板面)的抑制作用要優於隔離區多的區域(盲孔的內壁及孔壁凹陷處).

### 從盲孔底部向上的填孔機制

爲了以連續性高品質銅電鍍填滿盲孔, 盲孔內的鍍銅速率必須有所不同. 盲孔底部的電鍍速率必須比其他區域爲快, 以免開口處提前閉合, 導致填孔空眼或裂縫的生成.

從盲孔底部向上的加速填充歸因於有機添加劑系統的作用(1). 抑制劑或載運劑在銅的表面形成阻礙層, 由於高的抑制劑的濃度, 這層膜均勻的生成在所有位置. 底部加速填滿作用(即超級填充)據信是在電鍍時, 由盲孔或溝渠中增加的光澤劑所驅動. 由於孔底表面積逐漸縮小, 使得光澤劑壓縮在狹小的表面積上, 此一局部高濃度的光澤劑加速了電鍍速率. 平整劑可抑制盲孔轉角的電鍍, 並有助於減少空眼的產生. 爲了保證從底部向上填充的現象, 光澤劑濃度必須控制在適當的範圍.

### 流程參數對填孔的影響

在化學配方以及槽液組成以外,可影響填孔的關鍵因素為版材狀況, 槽液流速, 電流密度及電鍍前處理流程.

孔形, 起始導電層的厚度及均勻性, 鍍銅前表面的氧化程度及介電層的種類對填孔表現的影響極大. 一個有均勻平整的孔壁, 無面銅凸懸及玻纖凸出, 可促進晶種持續地生成及強化後續的填孔表現. 無玻璃纖維補強的介電層亦較容易填孔. 較薄或不連續的晶種層會降低填孔質量.

較低的槽液流速會促進填孔表現, 尤其是對大孔(孔徑 100 μm 以上). 以此為代價的是, 小孔(孔徑 75 μm 以下)填孔不良的機率相對提高. 填孔不良的表現輕者為細縫, 嚴重者為空眼. 由於以上的填孔特性, 必須將設備參數最佳化以獲得可接受程度的填孔和電鍍品質, 以符合產品需求.

電流密度的複雜性相對較低, 低電流密度有較佳的填孔表現及降低填孔不良的比例. 然而, 剛開始填孔時, 電流密度影響還是最顯著. 一但盲孔已達到半填狀態, 高電流密度即可被應用而無負面效果.

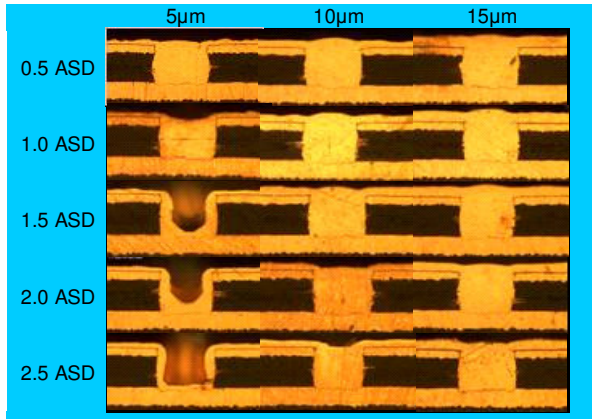
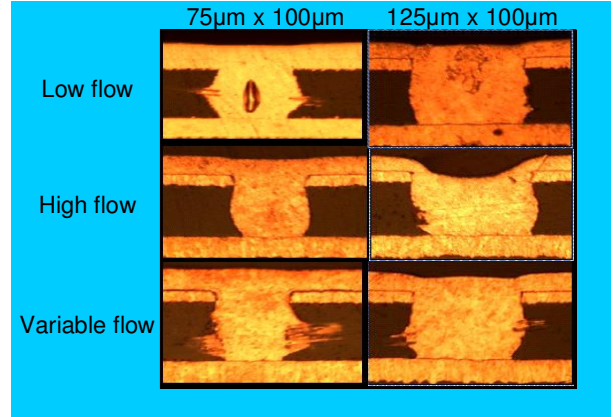


圖 2. 不同電流密度及電鍍厚度的比較(孔徑 100μm x 孔深 60μm)

最簡單的電鍍流程是固定單一傳輸速度與單一電流密度. 在電鍍週期中, 使用較複雜的, 用變化的傳輸速度與電流密度, 能產生更好的填孔品質及滿足各種不同孔徑的需求.



圖

3. 填孔與電鍍液流速的關係 (電流密度 1.8ASD, 電鍍厚度 20μm)

合適的鍍銅前處理在填孔製程也扮演著重要的角色. 典型的流程使用酸性清潔, 微蝕及酸浸來確保鍍銅前, 銅表面完全濕潤及完全去除有機污染或銅面氧化.

### 填孔尺度的演變

填孔表現可用不同的尺度來評估, 而“填孔率(% via filling)”及“凹陷深度”是最常見的, “相對鍍層厚度 (RDT)”是最近演變出來的尺度, 用來來評估填孔表現. RDT (Relative Deposition Thickness) 定義為盲孔內度層厚度與面銅厚度之比值, 是一個好的填充性能的指數. 等厚的填充對應於 RDT 值為 1, 參考如圖 4. 然而, 一個填孔配方顯示填孔率 100%, 可能 RDT 值只有 2 或 3. 這表示此填孔配方須要較厚的電鍍厚度來完成由盲孔底部向上的填孔機制, 較厚的電鍍厚度不利於後續製程細線路的製作.

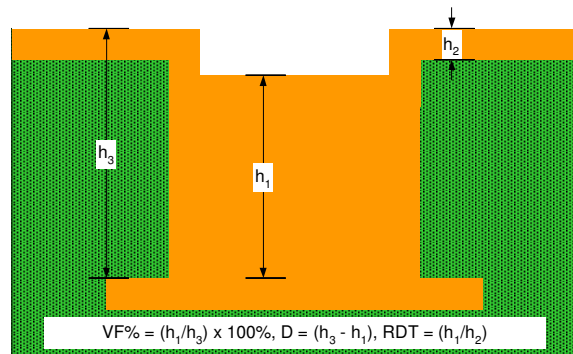


圖 4. 填孔率 via fill (VF%), 凹陷深度 (D) 及相對鍍層厚度 (RDT) 的定義.

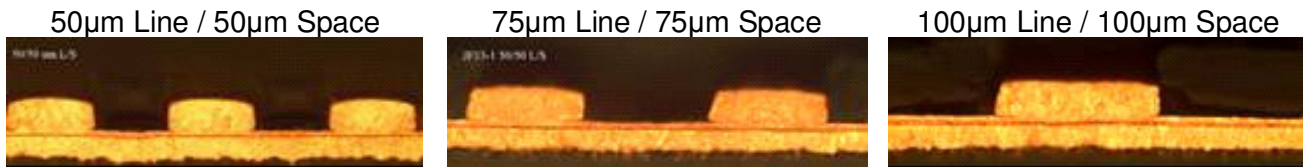


圖 5. 線寬, 線距對於線路形狀之影響 (電流密度 1.8 ASD, 電鍍厚度 20µm)

在生產中, 填孔流程希望有高填孔率, 低凹陷深度及高相對鍍層厚度 (RDT), 其確切的數值依產品應用及客戶需求而不同.

### 圖形電鍍的要求

半加層法 (SAP) 是 IC 載板常用的增層法. 介電層上化學銅之後, 在其表面製作依線路設計之光阻. 接下來為圖形電鍍及剝膜製程, 再使用蝕刻製程來製作線路, 在此沒有使用金屬電鍍阻劑. HDI 增層則使用改良的半加層法 (SAP), 從較薄的基材銅箔開始此流程.

因為蝕刻因素的考慮, 此流程 (增層法) 優越於傳統的圖形電鍍法, 尤其是在線寬小於 40 微米時.

為顧及後續流程, 如疊孔, 增層均勻性及影像轉移精確性, 線路形狀及填孔表面要儘可能平整. 在此同時, 外層線路形狀必須平整, 以利打線信賴度.

第一代的填孔流程依據全板電鍍設計, 無法滿足現今圖形電鍍的需求. 新一代的填孔流程則可滿足此一需求.

### 通孔深度能力

對於 HDI 之應用, 填盲孔及通孔深度能力需同時兼顧. 通孔深度能力同時受到槽液導電性及通孔孔徑, 孔深之影響.

相對於填孔電鍍液, 高通孔深度能力之電鍍液組成爲高酸, 低銅及高導電率. 而填孔電鍍液則具有較低的導電率, 這是由於高硫酸銅濃度所致. 對於 HDI 之應用, 電鍍液配方需同時兼顧填孔表現及通孔深度能力.

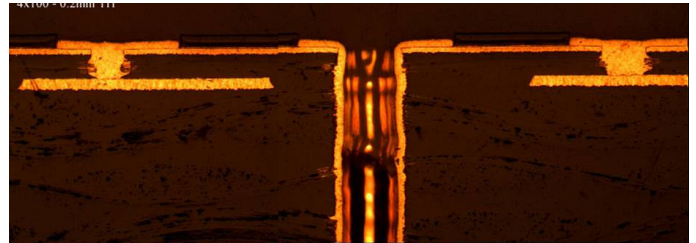


圖 5. 通孔深度能力 > 80% (通孔縱橫比 5:1, 電流密度 1.8 ASD, 電鍍厚度 20µm)

### 電鍍設備

爲了有進一步更佳的填孔表現, 垂直連續式及龍門式電鍍設備搭配電鍍填孔製程時, 可依據填孔製程特性來設計. 這包含了不溶解陽極及經過流體力學設計的噴嘴, 再鍍面上產生衝擊式的流動. 相較於磷銅陽極, 不溶解陽極有穩定的陽極面積而有較佳的電鍍均勻性. 配合較高的槽液流量, 不溶解陽極系統亦允許使用高的工作電流密度.

考慮電鍍填孔製程中所有不同的參數, 謹慎的設計及選擇電鍍設備搭配新一代的填孔電鍍液, 可提供使用者優異的製程能力及具有競爭力的設備成本.

### 綜述

新一代的填孔製程較第一代的填孔電鍍液有更好的填孔表現, 同時亦可滿足圖形電鍍的需求. 結合新發展的電鍍液及專門爲填孔製程設計的電鍍設備, 可滿足現今及未來 IC 載板及 HDI 產品的量產需求.

### 參考資料

1. T.P. Moffat, J.E. Bonevich, W.H. Huber, A. Stanishevsky, D.R. Kelly, G.R. Stafford, D. Jossel, "Superconformal Electrodeposition of Copper in 500 – 90nm Features", J. Electrochem. Soc., Vol 147, 4524(2000)
2. W.P. Dow, M.Y. Yen, M.J. Lefebvre, "Studies of Microvia Filling Mechanism and A Novel Cu Plating Formula", IMPACT 2007

Mark Lefebvre, 研發經理, 研究發展部, 印刷線路板技術, 羅門哈斯電子材料 (美國, 麻賽諸賽州).  
電子郵件: [mlefebvre@rohmmaas.com](mailto:mlefebvre@rohmmaas.com).

羅門哈斯電子材料為全球性的電子材料供應商, 包含清潔劑, 微蝕, 電鍍銅及電鍍錫產品.