

PCB 製造流程及說明（上集）

一. PCB 演變

1.1 PCB 扮演的角色

PCB 的功能為提供完成第一層級構裝的元件與其它必須的電子電路零件接合的基地，以組成一個具特定功能的模組或成品。所以 PCB 在整個電子產品中，扮演了整合連結總其成所有功能的角色，也因此時常電子產品功能故障時，最先被質疑往往就是 PCB。圖 1.1 是電子構裝層級區分示意。

1.2 PCB 的演變

1. 早於 1903 年 Mr. Albert Hanson 首創利用"線路"(Circuit)觀念應用於電話交換機系統。它是用金屬箔予以切割成線路導體，將之黏著於石蠟紙上，上面同樣貼上一層石蠟紙，成了現今 PCB 的機構雛型。見圖 1.2

2. 至 1936 年，Dr Paul Eisner 真正發明了 PCB 的製作技術，也發表多項專利。而今日之 print-etch(photoimage transfer)的技術，就是沿襲其發明而來的。

1.3 PCB 種類及製法

在材料、層次、製程上的多樣化以適合不同的電子產品及其特殊需求。以下就歸納一些通用的區別辦法，來簡單介紹 PCB 的分類以及它的製造方法。

1.3.1 PCB 種類

A. 以材質分

a. 有機材質

酚醛樹脂、玻璃纖維/環氧樹脂、Polyimide、BT/Epoxy 等皆屬之。

b. 無機材質

鋁、Copper-invar-copper、ceramic 等皆屬之。主要取其散熱功能

B. 以成品軟硬區分

a. 硬板 Rigid PCB

b. 軟板 Flexible PCB 見圖 1.3

c. 軟硬板 Rigid-Flex PCB 見圖 1.4

C. 以結構分

a. 單面板 見圖 1.5

b. 雙面板 見圖 1.6

c. 多層板 見圖 1.7

D. 依用途分：通信/耗用性電子/軍用/電腦/半導體/電測板...，見圖 1.8 BGA.

另有一種射出成型的立體 PCB，因使用少，不在此介紹。

1.3.2 製造方法介紹

A. 減除法，其流程見圖 1.9

B. 加成法，又可分半加成與全加成法，見圖 1.10 1.11

C. 尚有其它因應 IC 封裝的變革延伸而出的一些先進製程，本光碟僅提及但不詳加介紹，因有許多尚屬機密也不易取得，或者成熟度尚不夠。本光碟以傳統負片多層板的製程為主軸，深入淺出的介紹各個製程，再輔以先進技術的觀念來探討未來的 PCB 走勢。

二.製前準備

2.1.前言

台灣 PCB 產業屬性，幾乎是以 O E M，也就是受客戶委托製作空板 (Bare Board) 而已，不像美國，很多 PCB Shop 是包括了線路設計，空板製作以及裝配(Assembly)的 Turn-Key 業務。以前，只要客戶提供的原始資料如 Drawing, Artwork, Specification，再以手動翻片、排版、打帶等作業，即可進行製作，但近年由於電子產品日趨輕薄短小，PCB 的製造面臨了幾個挑戰：(1) 薄板 (2) 高密度 (3) 高性能 (4) 高速 (5) 產品週期縮短 (6) 降低成本等。以往以燈桌、筆刀、貼圖及照相機做為製前工具，現在已被電腦、工作軟體及鐳射繪圖機所取代。過去，以手工排版，或者還需要 Micro-Modifier 來修正尺寸等費時耗工的作業，今天只要在 CAM(Computer Aided Manufacturing) 工作人員取得客戶的設計資料，可能幾小時內，就可以依設計規則或 DFM(Design For Manufacturing) 自動排版並變化不同的生產條件。同時可以 output 如鑽孔、成型、測試治具等資料。

2.2.相關名詞的定義與解說

A Gerber file

這是一個從 PCB CAD 軟體輸出的資料檔做為光繪圖語言。1960 年代一家名叫 Gerber Scientific (現在叫 Gerber System) 專業做繪圖機的美國公司所發展出的格式，爾後二十年，行銷於世界四十多個國家。幾乎所有 CAD 系統的發展，也都依此格式作其 Output Data，直接輸入繪圖機就可繪出 Drawing 或 Film，因此 Gerber Format 成了電子業界的公認標準。

B. RS-274D

是 Gerber Format 的正式名稱，正確稱呼是 EIA STANDARD RS-274D(Electronic Industries Association)主要兩大組成：1.Function Code：如 G codes, D codes, M codes 等。2.Coordinate data：定義圖像 (imaging)

C. RS-274X

是 RS-274D 的延伸版本，除 RS-274D 之 Code 以外，包括 RS-274X Parameters，或稱整個 extended Gerber format 它以兩個字母為組合，定義了繪圖過程的一些特性。

D. IPC-350

IPC-350 是 IPC 發展出來的一套 neutral format,可以很容易由 PCB CAD/CAM 產生,然後依此系統,PCB SHOP 再產生 NC Drill Program,Netlist,並可直接輸入 Laser Plotter 繪製底片。

E. Laser Plotter

見圖 2.1,輸入 Gerber format 或 IPC 350 format 以繪製 Artwork

F. Aperture List and D-Codes

見表 2.1 及圖 2.2,舉一簡單實例來說明兩者關係, Aperture 的定義亦見圖 2.1

2.3.製前設計流程：

2.3.1 客戶必須提供的資料：

電子廠或裝配工廠，委託 PCB SHOP 生產空板 (Bare Board) 時，必須提供下列資料以供製作。見表料號資料表-供製前設計使用。

上表資料是必備項目，有時客戶會提供一片樣品，一份零件圖，一份保證書（保證製程中使用之原物料、耗料等不含某些有毒物質）等。這些額外資料，廠商須自行判斷其重要性，以免誤了商機。

2.3.2 .資料審查

面對這麼多的資料，製前設計工程師接下來所要進行的工作程序與重點，如下所述。

A. 審查客戶的產品規格，是否廠內製程能力可及，審查項目見承接料號製程能力檢查表。

B.原物料需求 (BOM-Bill of Material)

根據上述資料審查分析後，由 BOM 的展開，來決定原物料的廠牌、種類及規格。主要的原物料包括了：基板 (Laminate)、膠片 (Prepreg)、銅箔 (Copper foil)、防焊油墨 (Solder Mask)、文字油墨 (Legend) 等。另外客戶對於 Finish 的規定,將影響流程的選擇,當然會有不同的物料需求與規格，例如：軟、硬金、噴錫、OSP 等。

表歸納客戶規範中，可能影響原物料選擇的因素。

C. 上述乃屬新資料的審查, 審查完畢進行樣品的製作.若是舊資料,則須 Check 有無戶 ECO (Engineering Change Order), 然後再進行審查.

D.排版

排版的尺寸選擇將影響該料號的獲利率。因為基板是主要原料成本（排版最佳化，可減少板材浪費）；而適當排版可提高生產力並降低不良率。

有些工廠認為固定某些工作尺寸可以符合最大生產力,但原物料成本增加很多.下列是一些考慮的方向：

一般製作成本，直、間接原物料約佔總成本 30~60%，包含了基板、膠片、銅箔、防焊、乾膜、鑽頭、重金屬（銅、錫、鉛），化學耗品等。而這些原物料的耗用，直接和排版尺寸恰當與否有關係。大部份電子廠做線路 Layout 時，會做連片設計，以使裝配時能有最高的生產力。因此，PCB 工廠之製前設計人員，應和客戶密切溝通，以使連片 Layout 的尺寸能在排版成工作 PANEL 時可有最佳的利用率。要計算最恰當的排版，須考慮以下幾個因素。

a. 基材裁切最少刀數與最大使用率（裁切方式與磨邊處理須考慮進去）。

b. 銅箔、膠片與乾膜的使用尺寸與工作 PANEL 的尺寸須搭配良好，以免浪費。

c. 連片時，piece 間最小尺寸，以及板邊留做工具或對位系統的最小尺寸。

d. 各製程可能的最大尺寸限制或有效工作區尺寸。

e. 不同產品結構有不同製作流程，及不同的排版限制，例如，金手指板，其排版間距須較大且有方向的考量，其測試治具或測試次序規定也不一樣。較大工作尺寸，可以符合較大生產力，但原物料成本增加很多，而且設備製程能力亦需提升，如何取得一個平衡點，設計的準則與工程師的經驗是相當重要的。

2.3.3 著手設計

所有資料檢核齊全後，開始分工設計：

A. 流程的決定(Flow Chart) 由資料審查的分析確認後，設計工程師就要決定最適切的流程步驟。傳統多層板的製作流程可分作兩個部分：內層製作和外層製作。以下圖示幾種代表性流程供參考。見圖 2.3 與 圖 2.4

B. CAD/CAM 作業

a. 將 Gerber Data 輸入所使用的 CAM 系統，此時須將 apertures 和 shapes 定義好。目前，已有很多 PCB CAM 系統可接受 IPC-350 的格式。部份 CAM 系統可產生外型 NC Routing 檔，不過一般 PCB Layout 設計軟體並不會產生此檔。有部份專業軟體或獨立或配合 NC Router, 可設定參數直接輸出程式。

Shapes 種類有圓、正方、長方，亦有較複雜形狀，如內層之 thermal pad 等。著手設計時，Aperture code 和 shapes 的關連要先定義清楚，否則無法進行後面一系列的設計。

b. 設計時的 Check list

依據 check list 審查後，當可知道該製作料號可能的良率以及成本的預估。

c. Working Panel 排版注意事項：

— PCB Layout 工程師在設計時，為協助提醒或注意某些事項，會做一些輔助的記號做參考，所

以必須在進入排版前，將之去除。下表列舉數個項目，及其影響。

—排版的尺寸選擇將影響該料號的獲利率。因為基板是主要原料成本（排版最佳化，可減少板材浪費）；而適當排版可提高生產力並降低不良率。

有些工廠認為固定某些工作尺寸可以符合最大生產力，但原物料成本增加很多。下列是一些考慮的方向：

一般製作成本，直、間接原物料約佔總成本 30~60%，包含了基板、膠片、銅箔、防焊、乾膜、鑽頭、重金屬（銅、錫、鉛、金），化學耗品等。而這些原物料的耗用，直接和排版尺寸恰當與否有關係。大部份電子廠做線路 Layout 時，會做連片設計，以使裝配時能有最高的生產力。因此，PCB 工廠之製前設計人員，應和客戶密切溝通，以使連片 Layout 的尺寸能在排版成工作 PANEL 時可有最佳的利用率。要計算最恰當的排版，須考慮以下幾個因素。

1. 基材裁切最少刀數與最大使用率（裁切方式與磨邊處理須考慮進去）。

2. 銅箔、膠片與乾膜的使用尺寸與工作 PANEL 的尺寸須搭配良好，以免浪費。

3. 連片時，piece 間最小尺寸，以及板邊留做工具或對位系統的最小尺寸。

4. 各製程可能的最大尺寸限制或有效工作區尺寸。

5 不同產品結構有不同製作流程，及不同的排版限制，例如，金手指板，其排版間距須較大且有方向的考量，其測試治具或測試次序規定也不一樣。

較大工作尺寸，可以符合較大生產力，但原物料成本增加很多，而且設備製程能力亦需提升，如何取得一個平衡點，設計的準則與工程師的經驗是相當重要的。

—進行 working Panel 的排版過程中，尚須考慮下列事項，以使製程順暢，表排版注意事項。

d. 底片與程式：

—底片 Artwork 在 CAM 系統編輯排版完成後，配合 D-Code 檔案，而由雷射繪圖機（Laser Plotter）繪出底片。所須繪製的底片有內外層之線路，外層之防焊，以及文字底片。

由於線路密度愈來愈高，容差要求越來越嚴謹，因此底片尺寸控制，是目前很多 PCB 廠的一大課題。表是傳統底片與玻璃底片的比較表。玻璃底片使用比例已有提高趨勢。而底片製造商亦積極研究替代材料，以使尺寸之安定性更好。例如乾式做法的鈹金屬底片。

一般在保存以及使用傳統底片應注意事項如下：

1. 環境的溫度與相對溫度的控制

2.全新底片取出使用的前置適應時間

3.取用、傳遞以及保存方式

4.置放或操作區域的清潔度

—程式

合一,二次孔鑽孔程式,以及外形 Routing 程式其中 NC Routing 程式一般須另行處理

e. DFM—Design for manufacturing .Pcb lay-out 工程師大半不太了解,PCB 製作流程以及各製程需要注意的事項,所以在 Lay-out 線路時,僅考慮電性、邏輯、尺寸等,而甚少顧及其它。PCB 製前設計工程師因此必須從生產力,良率等考量而修正一些線路特性,如圓形接線 PAD 修正成淚滴狀,見圖 2.5,為的是製程中 PAD 一孔對位不準時,尚能維持最小的墊環寬度。

但是製前工程師的修正,有時卻會影響客戶產品的特性甚或性能,所以不得不謹慎。PCB 廠必須有一套針對廠內製程上的特性而編輯的規範除了改善產品良率以及提昇生產力外,也可做為和 PCB 線路 Lay-out 人員的溝通語言,見圖 2.6。

C. Tooling

指 AOI 與電測 Netlist 檔..AOI 由 CAD reference 檔產生 AOI 系統可接受的資料、且含容差,而電測 Net list 檔則用來製作電測治具 Fixture。

2.4 結語

頗多公司對於製前設計的工作重視的程度不若製程,這個觀念一定要改,因為隨著電子產品的演變,PCB 製作的技術層次愈困難,也愈須要和上游客戶做最密切的溝通,現在已不是任何一方把工作做好就表示組裝好的產品沒有問題,產品的使用環境,材料的物,化性,線路 Lay-out 的電性, PCB 的信賴性等,都會影響產品的功能發揮.所以不管軟體,硬體,功能設計上都有很好的進展,人的觀念也要有所突破才行.

三. 基板

印刷電路板是以銅箔基板 (Copper-clad Laminate 簡稱 CCL) 做為原料而製造的電器或電子的重要機構元件,故從事電路板之上下游業者必須對基板有所瞭解:有那些種類的基板,它們是如何製造出來的,使用於何種產品, 它們各有那些優劣點,如此才能選擇適當的基板.表 3.1 簡單列出不同基板的適用場合.

基板工業是一種材料的基礎工業, 是由介電層 (樹脂 Resin , 玻璃纖維 Glass fiber), 及高純度的導體 (銅箔 Copper foil) 二者所構成的複合材料 (Composite material), 其所牽涉的理論及實務不輸於電路板本身的製作。 以下即針對這二個主要組成做深入淺出的探討.

3.1 介電層

3.1.1 樹脂 Resin

3.1.1.1 前言

目前已使用於線路板之樹脂類別很多,如酚醛樹脂 (Phenolic)、環氧樹脂 (Epoxy)、聚亞醯胺樹脂 (Polyimide)、聚四氟乙烯 (Polytetrafluorethylene, 簡稱 PTFE 或稱 TEFLON), B 一三氮 樹脂 (Bismaleimide Triazine 簡稱 BT) 等皆為熱固型的樹脂 (Thermosetted Plastic Resin)。

3.1.1.2 酚醛樹脂 Phenolic Resin

是人類最早開發成功而又商業化的聚合物。是由液態的酚 (phenol) 及液態的甲醛 (Formaldehyde 俗稱 Formalin) 兩種便宜的化學品, 在酸性或鹼性的催化條件下發生立體架橋 (Crosslinkage) 的連續反應而硬化成為固態的合成材料。其反應化學式見圖 3.1

1910 年有一家叫 Bakelite 公司加入帆布纖維而做成一種堅硬強固, 絕緣性又好的材料稱為 Bakelite, 俗名為電木板或尿素板。

美國電子製造業協會 (NEMA-Nationl Electrical Manufacturers Association) 將不同的組合冠以不同的編號代字而為業者所廣用, 現將酚醛樹脂之各產品代字列表, 如表 NEMA 對於酚醛樹脂板的分類及代碼

表中紙質基板代字的第一個 "X" 是表示機械性用途, 第二個 "X" 是表示可用電性用途。第三個 "X" 是表示可用有無線電波及高濕度的場所。"P" 表示需要加熱才能沖板子 (Punchable), 否則材料會破裂, "C" 表示可以冷沖加工 (cold punchable), "FR" 表示樹脂中加有不易著火的物質使基板有難燃 (Flame Retardent) 或抗燃 (Flame resistance) 性。

紙質板中最暢銷的是 XXXPC 及 FR-2。前者在溫度 25 °C 以上, 厚度在 .062in 以下就可以沖製成型很方便, 後者的組合與前完全相同, 只是在樹脂中加有三氧化二錒增加其難燃性。以下介紹幾個較常使用紙質基板及其特殊用途:

A 常使用紙質基板

a. XPC Grade: 通常應用在低電壓、低電流不會引起火源的消費性電子產品, 如玩具、手提收音機、電話機、計算機、遙控器及鐘錶等等。UL94 對 XPC Grade 要求只須達到 HB 難燃等級即可。

b. FR-1 Grade: 電氣性、難燃性優於 XPC Grade, 廣泛使用於電流及電壓比 XPC Grade 稍高的電器用品, 如彩色電視機、監視器、VTR、家庭音響、洗衣機及吸塵器等等。UL94 要求 FR-1 難燃性有 V-0、V-1 與 V-2 不同等級, 不過由於三種等級板材價位差異不大, 而且考慮安全起見, 目前電器界幾乎全採用 V-0 級板材。

c. FR-2 Grade: 在與 FR-1 比較下, 除電氣性能要求稍高外, 其他物性並沒有特別之處, 近年來在紙質基板業者努力研究改進 FR-1 技術, FR-1 與 FR-2 的性質界線已漸模糊, FR-2 等級板材在不久將來可能會在偏高價格因素下被 FR-1 所取代。

B. 其他特殊用途:

a. 銅鍍通孔用紙質基板

主要目的是計劃取代部份物性要求並不高的 FR-4 板材, 以便降低 PCB 的成本。

b. 銀貫孔用紙質基板

時下最流行取代部份物性要求並不很高的 FR-4 作通孔板材, 就是銀貫孔用 紙質基板印刷電路板兩面線路的導通, 可直接借由印刷方式將銀膠 (Silver Paste) 塗佈於孔壁上, 經由高溫硬化, 即

成爲導通體，不像一般 FR-4 板材的銅鍍通孔，需經由活化、化學銅、電鍍銅、錫鉛等繁雜手續。

b-1 基板材質

1) 尺寸安定性：

除要留意 X、Y 軸(纖維方向與橫方向)外，更要注意 Z 軸(板材厚度方向)，因熱脹冷縮及加熱減量因素容易造成銀膠導體的斷裂。

2) 電氣與吸水性：許多絕緣體在吸濕狀態下，降低了絕緣性，以致提供金屬在電位差趨動力下發生移行的現象，FR-4 在尺寸安性、電氣性與吸水性方面都比 FR-1 及 XPC 佳，所以生產銀貫孔印刷電路板時，要選用特製 FR-1 及 XPC 的紙質基板 板材。

b-2 導體材質

1) 導體材質 銀及碳墨貫孔印刷電路的導電方式是利用銀及石墨微粒鑲嵌在聚合體內，藉由微粒的接觸來導電，而銅鍍通孔印刷電路板，則是借由銅本身是連貫的結晶體而產生非常順暢的導電性。

2) 延展性：

銅鍍通孔上的銅是一種連續性的結晶體，有非常良好的延展性，不會像銀、碳墨膠在熱脹冷縮時，容易發生界面的分離而降低導電度。

3) 移行性：

銀、銅都是金屬材質，容易發性氧化、還原作用造成銹化及移行現象，因電位差的不同，銀比銅在電位差趨動力下容易發生銀遷移(Silver Migration)。

c. 碳墨貫孔(Carbon Through Hole)用紙質基板.

碳墨膠油墨中的石墨不具有像銀的移行特性，石墨所擔當的角色僅僅是作簡單的訊號傳遞者，所以 PCB 業界對積層板除了碳墨膠與基材的密著性、翹曲度外，並沒有特別要求。石墨因有良好的耐磨性，所以 Carbon Paste 最早期是被應用來取代 Key Pad 及金手指上的鍍金，而後延伸到扮演跳線功能。碳墨貫孔印刷電路板的負載電流通常設計的很低，所以業界大都採用 XPC 等級，至於厚度方面，在考慮輕、薄、短、小與印刷貫孔性因素下，常通選用 0.8、1.0 或 1.2mm 厚板材。

d. 室溫沖孔用紙質基板 其特徵是紙質基板表面溫度約 40°C 以下，即可作 Pitch 爲 1.78mm 的 IC 密集孔的沖模，孔間不會發生裂痕，並且以減低沖模時紙質基板冷卻所造成線路精準度的偏差，該類紙質基板非常適用於細線路及大面積的印刷電路板。

e. 抗漏電壓(Anti-Track)用紙質基板 人類的生活越趨精緻，對物品的要求且也就越講就短小輕薄，當印刷電路板的線路設計越密集，線距也就越小，且在高功能性的要求下，電流負載變大了，那麼線路間就容易因發生電弧破壞基材的絕緣性而造成漏電，紙質基板 業界爲解決該類問題，有供應採用特殊背膠的銅箔所製成的抗漏電壓 用紙質基板

2.1.2 環氧樹脂 Epoxy Resin

是目前印刷線路板業用途最廣的底材。在液態時稱爲清漆或稱凡立水 (Varnish) 或稱爲 A-stage，玻璃布在浸膠半乾成膠片後再經高溫軟化液化而呈現黏著性而用於雙面基板製作或多層板之壓合用稱 B-stage prepreg，經此壓合再硬化而無法回復之最終狀態稱爲 C-stage。

2.1.2.1 傳統環氧樹脂的組成及其性質

用於基板之環氧樹脂之單體一向都是 Bisphenol A 及 Epichlorohydrin 用 dicy 做爲架橋劑所形成的聚合物。爲了通過燃性試驗(Flammability test)，將上述仍在液態的樹脂再與 Tetrabromo-Bisphenol A 反應而成爲最熟知 FR-4 傳統環氧樹脂。現將產品之主要成份列於後：

單體 --Bisphenol A, Epichlorohydrin

架橋劑(即硬化劑) -雙氰 Dicyandiamide 簡稱 Dicy

速化劑 (Accelerator)--Benzyl-Dimethylamine (BDMA) 及 2- Methylimidazole (2-MI)

溶劑 --Ethylene glycol monomethyl ether(EGMME) Dimethyl formamide (DMF) 及稀釋劑 Acetone ,MEK。

填充劑(Additive) --碳酸鈣、矽化物、 及氫氧化鋁 或 化物等增加難燃效果。 填充劑可調整其 Tg.

A. 單體及低分子量之樹脂

典型的傳統樹脂一般稱為雙功能的環氧樹脂 (Difunctional Epoxy Resin),見圖 3.2. 爲了達到使用安全的目的,特於樹脂的分子結構中加入溴原子,使產生部份碳溴之結合而呈現難燃的效果。也就是說當出現燃燒的條件或環境時,它要不容易被點燃,萬一已點燃在燃燒環境消失後,能自己熄滅而不再繼續延燒。見圖 3.3.此種難燃材料在 NEMA 規範中稱為 FR-4。(不含溴的樹脂在 NEMA 規範中稱為 G-10) 此種含溴環氧樹脂的優點很多如介電常數很低,與銅箔的附著力很強,與玻璃纖維結合後之撓性強度很不錯等。

B. 架橋劑(硬化劑)

環氧樹脂的架橋劑一向都是 Dicy,它是一種隱性的 (latent) 催化劑,在高溫 160°C 之下才發揮其架橋作用,常溫中很安定,故多層板 B-stage 的膠片才不致無法儲存。但 Dicy 的缺點卻也不少,第一是吸水性 (Hygroscopicity),第二個缺點是難溶性。溶不掉自然難以在液態樹脂中發揮作用。早期的基板商並不瞭解下游電路板裝配工業問題,那時的 dicy 磨的不是很細,其溶不掉的部份混在底材中,經長時間聚集的吸水後會發生針狀的再結晶,造成許多爆板的問題。當然現在的基板製造商都很清楚它的嚴重性,因此已改善此點。

C. 速化劑

用以加速 epoxy 與 dicy 之間的架橋反應,最常用的有兩種即 BDMA 及 2-MI。

D. Tg 玻璃態轉化溫度

高分子聚合物因溫度之逐漸上升導致其物理性質漸起變化,由常溫時之無定形或部份結晶之堅硬及脆性如玻璃一般的物質而轉成爲一種黏滯度非常高,柔軟如橡皮一般的另一種狀態。傳統 FR4 之 Tg 約在 115-120°C 之間,已被使用多年,但近年來由於電子產品各種性能要求愈來愈高,所以對材料的特性也要求日益嚴苛,如抗濕性、抗化性、抗溶劑性、抗熱性,尺寸安定性等都要求改進,以適應更廣泛的用途,而這些性質都與樹脂的 Tg 有關,Tg 提高之後上述各種性質也都自然變好。例如 Tg 提高後, a.其耐熱性增強,使基板在 X 及 Y 方向的膨脹減少,使得板子在受熱後銅線路與基材之間附著力不致減弱太多,使線路有較好的附著力。 b.在 Z 方向的膨脹減小後,使得通孔之孔壁受熱後不易被底材所拉斷。 c. Tg 增高後,其樹脂中架橋之密度必定提高很多使其有更好的抗水性及防溶劑性,使板子受熱後不易發生白點或織紋顯露,而有更好的強度及介電性。至於尺寸的安定性,由於自動插裝或表面裝配之嚴格要求就更爲重要了。因而近年來如何提高環氧樹脂之 Tg 是基板材料所追求的要務。

E. FR4 難燃性環氧樹脂

傳統的環氧樹脂遇到高溫著火後若無外在因素予以撲滅時,會不停的一直燃燒下去直到分子中的碳氫氧或氮燃燒完畢爲止。若在其分子中以溴取代了氫的位置,使可燃的碳氫鍵化合物一部

份改換成不可燃的碳溴鍵化合物則可大大的降低其可燃性。此種加溴之樹脂難燃性自然增強很多，但卻降低了樹脂與銅皮以及玻璃間的黏著力，而且萬一著火後更會放出劇毒的溴氣，會帶來的不良後果。

3.1.2.2 高性能環氧樹脂(Multifunctional Epoxy)

傳統的 FR4 對今日高性能的線路板而言已經力不從心了，故有各種不同的樹脂與原有的環氧樹脂混合以提升其基板之各種性質，

A. Novolac

最早被引進的是酚醛樹脂中的一種叫 Novolac 者，由 Novolac 與環氧氯丙烷所形成的酯類稱為 Epoxy Novolacs，見圖 3.4 之反應式。將此種聚合物混入 FR4 之樹脂，可大大改善其抗水性、抗化性及尺寸安定性，Tg 也隨之提高，缺點是酚醛樹脂本身的硬度及脆性都很高而易鑽頭，加之抗化性能力增強，對於因鑽孔而造成的膠渣 (Smear) 不易除去而造成多層板 PTH 製程之困擾。

B. Tetrafunctional Epoxy

另一種常被添加於 FR4 中的是所謂 " 四功能的環氧樹脂 " (Tetrafunctional Epoxy Resin)。其與傳統 " 雙功能 " 環氧樹脂不同之處是具立體空間架橋，見圖 3.5，Tg 較高能抗較差的熱環境，且抗溶劑性、抗化性、抗濕性及尺寸安定性也好很多，而且不會發生像 Novolac 那樣的缺點。最早是美國一家叫 Polyclad 的基板廠所引進的。四功能比起 Novolac 來還有一種優點就是有更好的均勻混合。為保持多層板除膠渣的方便起見，此種四功能的基板在鑽孔後最好在烤箱中以 160 °C 烤 2-4 小時，使孔壁露出的樹脂產生氧化作用，氧化後的樹脂較容易被蝕除，而且也增加樹脂進一步的架橋聚合，對後來的製程也有幫助。因為脆性的關係，鑽孔要特別注意。

上述兩種添加樹脂都無法溴化，故加入一般 FR4 中會降低其難燃性。

3.1.2.3 聚亞醯胺樹脂 Polyimide(PI)

A. 成份

主要由 Bismaleimide 及 Methylene Dianiline 反應而成的聚合物，見圖 3.6。

B. 優點

電路板對溫度的適應會愈來愈重要，某些特殊高溫用途的板子，已非環氧樹脂所能勝任，傳統式 FR4 的 Tg 約 120°C 左右，即使高功能的 FR4 也只到達 180-190 °C，比起聚亞醯胺的 260 °C 還有一大段距離。PI 在高溫下所表現的良好性質，如良好的撓性、銅箔抗撕強度、抗化性、介電性、尺寸安定性皆遠優於 FR4。鑽孔時不容易產生膠渣，對內層與孔壁之接通性自然比 FR4 好。而且由於耐熱性良好，其尺寸之變化甚少，以 X 及 Y 方向之變化而言，對細線路更為有利，不致因膨脹太大而降低了與銅皮之間的附著力。就 Z 方向而言可大大的減少孔壁銅層斷裂的機會。

C. 缺點:

- a. 不易進行溴化反應，不易達到 UL94 V-0 的難燃要求。
- b. 此種樹脂本身層與層之間，或與銅箔之間的黏著力較差，不如環氧樹脂那麼強，而且撓性也較差。
- c. 常溫時卻表現不佳，有吸濕性 (Hygroscopic)，而黏著性、延性又都很差。

d.其凡立水(Varnish,又稱生膠水,液態樹脂稱之)中所使用的溶劑之沸點較高,不易趕完,容易產生高溫下分層的現象。而且流動性不好,壓合不易填滿死角。

e.目前價格仍然非常昂貴約為 FR4 的 2-3 倍,故只有軍用板或 Rigid-Flex 板才用的起。

在美軍規範 MIL-P-13949H 中,聚亞醯胺樹脂基板代號為 GI.

3.1.2.4 聚四氟乙烯 (PTFE)

全名為 Polyterafluoroethylene,分子式見圖 3.7. 以之抽絲作 PTFE 纖維的商品名為 Teflon 鐵弗龍,其最大的特點是阻抗很高 (Impedance) 對高頻微波 (microwave) 通信用途上是無法取代的,美軍規範賦與 "GT"、"GX"、及 "GY" 三種材料代字,皆為玻纖補強 type,其商用基板是由 3M 公司所製,目前這種材料尚無法大量投入生產,其原因有:

A. PTFE 樹脂與玻璃纖維間的附著力問題; 此樹脂很難滲入玻璃束中,因其抗化性特強,許多濕式製程中都無法使其反應及活化,在做鍍通孔時所得之銅孔壁無法固著在底材上,很難通過 MILP-55110E 中 4.8.4.4 之固著強度試驗。由於玻璃束未能被樹脂填滿,很容易在做鍍通孔時造成玻璃中滲銅 (Wicking) 的出現,影響板子的可信賴度。

B. 此四氟乙烯材料分子結構,非常強勁無法用一般機械或化學法加以攻擊,做蝕回時只有用電漿法。

C. Tg 很低只有 19 度 c,故在常溫時呈可撓性,也使線路的附著力及尺寸安定性不好。

表為四種不同樹脂製造的基板性質的比較。

3.1.2.5 BT/EPOXY 樹脂

BT 樹脂也是一種熱固型樹脂,是日本三菱瓦斯化成公司(Mitsubishi Gas Chemical Co.)在 1980 年研製成功。是由 Bismaleimide 及 Trigzine Resin monomer 二者反應聚合而成。其反應式見圖 3.8。BT 樹脂通常和環氧樹脂混合而製成基板。

A. 優點

a. Tg 點高達 180°C,耐熱性非常好,BT 作成之板材,銅箔的抗撕強度(peel Strength),撓性強度亦非常理想鑽孔後的膠渣(Smear)甚少

b. 可進行難燃處理,以達到 UL94V-0 的要求

c. 介質常數及散逸因數小,因此對於高頻及高速傳輸的電路板非常有利。

d. 耐化性,抗溶劑性良好

e. 絕緣性佳

B. 應用

a. COB 設計的電路板 由於 wire bonding 過程的高溫,會使板子表面變軟而致打線失敗。BT/EPOXY 高性能板材可克服此點。

b. BGA,PGA, MCM-Ls 等半導體封裝載板 半導體封裝測試中,有兩個很重要的常見問題,一是漏電現象,或稱 CAF(Conductive Anodic Filament),一是爆米花現象(受濕氣及高溫衝擊)。這兩點也是 BT/EPOXY 板材可以避免的。

3.1.2.6 Cyanate Ester Resin

1970 年開始應用於 PCB 基材，目前 Ciba Geigy 有製作此類樹脂。其反應式如圖 3.9。

A. 優點

- a. Tg 可達 250°C，使用於非常厚之多層板
- b. 極低的介電常數(2.5~3.1)可應用於高速產品。

B. 問題

- a. 硬化後脆度高.
- b. 對濕度敏感，甚至可能和水起反應.

3.1.2 玻璃纖維

3.1.2.1 前言

玻璃纖維(Fiberglass)在 PCB 基板中的功用，是作為補強材料。基板的補強材料尚有其它種，如紙質基板的紙材，Kelvar(Polyamide 聚醯胺)纖維，以及石英(Quartz)纖維。本節僅討論最大宗的玻璃纖維。

玻璃(Glass)本身是一種混合物，其組成見表它是一些無機物經高溫融融合而成，再經抽絲冷卻而成一種非結晶結構的堅硬物體。此物質的使用，已有數千年的歷史。做成纖維狀使用則可追溯至 17 世紀。真正大量做商用產品，則是由 Owen-Illinois 及 Corning Glass Works 兩家公司其共同的研究努力後，組合成 Owens-Corning Fiberglass Corporation 於 1939 年正式生產製造。

3.1.2.2 玻璃纖維布

玻璃纖維的製成可分兩種，一種是連續式(Continuous)的纖維另一種則是不連續式(discontinuous)的纖維前者即用於織成玻璃布(Fabric)，後者則做成片狀之玻璃蓆(Mat)。FR4 等基材，即是使用前者，CEM3 基材，則採用後者玻璃蓆。

A. 玻璃纖維的特性

原始融態玻璃的組成成份不同，會影響玻璃纖維的特性，不同組成所呈現的差異，表中有詳細的區別，而且各有獨特及不同應用之處。按組成的不同(見表)，玻璃的等級可分四種商品：A 級為高鹼性，C 級為抗化性，E 級為電子用途，S 級為高強度。電路板中所用的就是 E 級玻璃，主要是其介電性質優於其它三種。

—玻璃纖維一些共同的特性如下所述：

- a.高強度：和其它紡織用纖維比較，玻璃有極高強度。在某些應用上，其強度/重量比甚至超過鐵絲。
- b.抗熱與火：玻璃纖維為無機物，因此不會燃燒
- c.抗化性：可耐大部份的化學品，也不為黴菌，細菌的滲入及昆蟲的功擊。
- d.防潮：玻璃並不吸水，即使在很潮濕的環境，依然保持它的機械強度。
- e.熱性質：玻璃有很低的熱線性膨脹係數，及高的熱導係數，因此在高溫環境下有極佳的表現。

f.電性：由於玻璃纖維的不導電性，是一個很好的絕緣物質的選擇。

PCB 基材所選擇使用的 E 級玻璃，最主要的是其非常優秀的抗水性。因此在非常潮濕，惡劣的環境下，仍然保有非常好的電性及物性一如尺寸穩定度。

—玻纖布的製作：

玻璃纖維布的製作，是一系列專業且投資全額龐大的製程本章略而不談。

3.2 銅箔(copper foil)

早期線路的設計粗粗寬寬的,厚度要求亦不挑剔,但演變至今日線寬 3,4mil,甚至更細(現國內已有工廠開發 1 mil 線寬),電阻要求嚴苛.抗撕強度,表面 Profile 等也都詳加規定.所以對銅箔發展的現況及驅勢就必須進一步了解.

3.2.1 傳統銅箔

3.2.1.1 軋軋法 (Rolled-or Wrought Method)

是將銅塊經多次軋軋製作而成，其所軋出之寬度受到技術限制很難達到標準尺寸基板的要求 (3 呎*4 呎),而且很容易在軋製過程中造成報廢，因表面粗糙度不夠,所以與樹脂之結合能力比較不好，而且製造過程中所受應力需要做熱處理之回火軋化(Heat treatment or Annealing),故其成本較高。

A. 優點.

- a. 延展性 Ductility 高,對 FPC 使用於動態環境下,信賴度極佳.
- b. 低的表面稜線 Low-profile Surface,對於一些 Microwave 電子應用是一利基.

B. 缺點.

- a. 和基材的附著力不好.
- b. 成本較高.
- c. 因技術問題,寬度受限.

3.2.1.2 電鍍法 (Electrodeposited Method)

最常使用於基板上的銅箔就是 ED 銅.利用各種廢棄之電線電纜溶解成硫酸銅鍍液，在殊特深入地下的大型鍍槽中，陰陽極距非常短,以非常高的速度沖動鍍液，以 600 ASF 之高電流密度，將柱狀 (Columnar) 結晶的銅層鍍在表面非常光滑又經鈍化的 (passivated) 不銹鋼大桶狀之轉銅輪上 (Drum)，因鈍化處理過的不銹鋼銅輪上對銅層之附著力並不好，故鍍面可自轉輪上撕下，如此所鍍得的連續銅層,可由轉輪速度，電流密度而得不同厚度之銅箔，貼在轉銅之光滑銅箔表面稱為光面 (Drum side)，另一面對鍍液之粗糙結晶表面稱為毛面 (Matte side).此種銅箔:

A. 優點

- a. 價格便宜.
- b. 可有各種尺寸與厚度.

B. 缺點.

- a. 延展性差,
- b. 應力極高無法撓曲又很容易折斷.

3.2.1.3 厚度單位

一般生產銅箔業者為計算成本, 方便訂價, 多以每平方呎之重量做為厚度之計算單位, 如 1.0 Ounce (oz)的定義是一平方呎面積單面覆蓋銅箔重量 1 oz (28.35g)的銅層厚度.經單位換算 35 微米 (micron)或 1.35 mil. 一般厚度 1 oz 及 1/2 oz 而超薄銅箔可達 1/4 oz,或更低.

3.2.2 新式銅箔介紹及研發方向

3.2.2.1 超薄銅箔

一般所說的薄銅箔是指 0.5 oz (17.5 micron) 以下, 表三種厚度則稱超薄銅箔

3/8 oz 以下因本身太薄很不容易操作故需要另加載體 (Carrier) 才能做各種操作(稱複合式 copper foil),否則很容易造成損傷。所用之載體有兩類,一類是以傳統 ED 銅箔為載體,厚約 2.1 mil. 另一類載體是鋁箔,厚度約 3 mil.兩者使用之前須將載體撕離.

超薄銅箔最不易克服的問題就是 " 針孔 " 或 " 疏孔 "(Porosity), 因厚度太薄,電鍍時無法將疏孔完全填滿.補救之道是降低電流密度,讓結晶變細. 細線路,尤其是 5 mil 以下更需要超薄銅箔,以減少蝕刻時的過蝕與側蝕.

3.2.2.2 輾軋銅箔

對薄銅箔超細線路而言, 導體與絕緣基材之間的接觸面非常狹小, 如何能耐得住二者之間熱膨脹係數的巨大差異而仍維持足夠的附著力, 完全依賴銅箔毛面上的粗化處理是不夠的, 而且高速鍍銅箔的結晶結構粗糙在高溫焊接時容易造成 XY 的斷裂也是一項難以解決的問題。輾軋銅箔除了細晶之外還有另一項長處那就是應力很低 (Stress)。ED 銅箔應力高, 但後來線路板業者所鍍上的一次銅或二次銅的應力就沒有那麼高。於是造成二者在溫度變化時使細線容易斷製.因此輾軋銅箔是一解決之途。若是成本的考量,Grade 2,E-Type 的 high-ductility 或是 Grade 2,E-Type HTE 銅箔也是一種選擇. 國際製造銅箔大廠多致力於開發 ED 細晶產品以解決此問題.

3.2.2.3 銅箔的表面處理

A 傳統處理法

ED 銅箔從 Drum 撕下後, 會繼續下面的處理步驟:

a. Bonding Stage— 在粗面(Matte Side)上再以高電流極短時間內快速鍍上銅, 其長相如瘤, 稱"瘤化處理""Nodulization"目的在增加表面積, 其厚度約 2000~4000A

b. Thermal barrier treatments-瘤化完成後再於其上鍍一層黃銅(Brass, 是 Gould 公司專利, 稱為 JTC 處理), 或鋅(Zinc 是 Yates 公司專利, 稱為 TW 處理)。也是鍍鎳處理其作用是做為耐熱層。樹脂中的 Dicy 於高溫時會攻擊銅面而生成胺類與水份, 一旦生水份時, 會導致附著力降底。此層的作用即是防止 上述反應發生, 其厚度約 500~1000A

c. Stabilization—耐熱處理後, 再進行最後的"鉻化處理"(Chromation), 光面與 粗面同時進行做為防污防銹的作用, 也稱"鈍化處理"(passivation)或"抗氧化 處理"(antioxidant)

B 新式處理法

a. 兩面處理(Double treatment)指光面及粗面皆做粗化處理，嚴格來說，此法 的應用已有 20 年的歷史，但今日為降低多層板的 COST 而使用者漸多。在光面也進行上述的傳統處理方式，如此應用於內層基板上，可以省掉壓 膜前的銅面理處理以及黑/棕化步驟。美國一家 Polyclad 銅箔基板公司，發展出來的一種處理方式，稱為 DST 銅箔，其處理方式有異曲同工之妙。該法是在光面做粗化處理，該面就壓 在膠片上，所做成基板的銅面為粗面，因此對後製亦有幫助。

b. 矽化處理(Low profile) 傳統銅箔粗面處理其 Tooth Profile (稜線) 粗糙度 (波峰波谷)，不利於細 線路的製造(影響 just etch 時間,造成 over-etch),因此必須設法降低稜線 的高度。上述 Polyclad 的 DST 銅箔，以光面做做處理，改善了這個問題， 另外，一種叫"有機矽處理" (Organic Silane Treatment)，加入傳統處理 方式之後，亦可有此效果。它同時產生一種化學鍵，對於附著力有幫助。

3.3.3 銅箔的分類

按 IPC-CF-150 將銅箔分為兩個類型，TYPE E 表電鍍銅箔，TYPE W 表軋軋銅箔,再將之分成八個等級， class 1 到 class 4 是電鍍銅箔，class 5 到 class 8 是軋軋銅箔.現將其型級及代號分列於表

3.4 PP(膠片 Prepreg)的製作

"Prepreg"是"preimpregnated"的縮寫，意指玻璃纖維或其它纖維浸含樹脂，並經部份聚合而稱之。其樹脂此時是 B-stage。Prepreg 又有人稱之為"Bonding sheet"

3.4.1 膠片製作流程

3.4.2 製程品管

製造過程中，須定距離做 Gel time, Resin flow, Resin Content 的測試，也須做 Volatile 成份及 Dicy 成份之分析，以確保品質之穩定。

3.4.3 儲放條件與壽命

大部份 EPOXY 系統之儲放溫度要求在 5°C 以下，其壽命約在 3~6 個月，儲放超出此時間後須取出再做 3.3.2 的各種分析以判定是否可再使用。而各廠牌 prepreg 可參照其提供之 Data sheet 做為作業時的依據。

3.4.4 常見膠片種類，其膠含量及 Cruing 後厚度關係，見表

3.4 基板的現在與未來

趨使基板不斷演進的兩大趨動力(Driving Force)，一是極小化(Miniaturization)，一是高速化(或高頻化)。

3.4.1 極小化

如分行動電話，PDA，PC 卡，汽車定位及衛星通信等系統。美國是尖端科技領先國家，從其半導體工業協會所預估在 Chip 及 Package 方面的未來演變-見表(a)與(b)，可知基板面臨的挑戰頗為艱辛。

3.4.2 高頻化

從個人電腦的演進，可看出 CPU 世代交替的速度愈來愈快，消費者應接不應暇，當然對大眾而言是好事。但對 PCB 的製作卻又是進一步的挑戰。因為高頻化，須要基材有更低的 Dk 與 Df 值。最後，表歸納出 PCB 一些特性的現在與未來演變的指標。

四.內層製作與檢驗

4.1 製程目的

三層板以上產品即稱多層板，傳統之雙面板為配合零件之密集裝配，在有限的板面上無法安置這麼多的零組件以及其所衍生出來的大量線路，因而有多層板之發展。加上美國聯邦通訊委員會(FCC)宣佈自 1984 年 10 月以後，所有上市的電器產品若有涉及電傳通訊者，或有參與網路連線者，皆必須要做"接地"以消除干擾的影響。但因板面面積不夠，因此 pcb lay-out 就將"接地"與"電壓"二功能之大銅面移入內層，造成四層板的瞬間大量興起，也延伸了阻抗控制的要求。而原有四層板則多升級為六層板，當然高層次多層板也因高密度裝配而日見增多。本章將探討多層板之內層製作及注意事宜。

4.2 製作流程

依產品的不同現有三種流程

A. Print and Etch

發料→對位孔→銅面處理→影像轉移→蝕刻→剝膜

B. Post-etch Punch

發料→銅面處理→影像轉移→蝕刻→剝膜→工具孔

C. Drill and Panel-plate

發料→鑽孔→通孔→電鍍→影像轉移→蝕刻→剝膜

上述三種製程中，第三種是有埋孔(buried hole)設計時的流程，將在 20 章介紹。本章則探討第二種 (Post-etch Punch)製程—高層次板子較普遍使用的流程。

4.2.0 發料

發料就是依製前設計所規劃的工作尺寸，依 BOM 來裁切基材，是一很單純的步驟，但以下幾點須注意：

- A. 裁切方式-會影響下料尺寸
- B. 磨邊與圓角的考量-影響影像轉移良率製程
- C. 方向要一致-即經向對經向，緯向對緯向

D. 下製程前的烘烤-尺寸安定性考量

4.2.1 銅面處理

在印刷電路板製程中，不管那一個 step，銅面的清潔與粗化的效果，關係著下一製程的成敗，所以看似簡單，其實裡面的學問頗大。

A. 須要銅面處理的製程有以下幾個

- a. 乾膜壓膜
- b. 內層氧化處理前
- c. 鉗孔後
- d. 化學銅前
- e. 鍍銅前
- f. 綠漆前
- g. 噴錫(或其它焊墊處理流程)前
- h. 金手指鍍鎳前

本節針對 a. c. f. g. 等製程來探討最好的處理方式(其餘皆屬製程自動化中的一部份，不必獨立出來)

B. 處理方法 現行銅面處理方式可分三種：

- a. 刷磨法(Brush)
- b. 噴砂法(Pumice)
- c. 化學法(Microetch)

以下即做此三法的介紹

C. 刷磨法

刷磨動作之機構,見圖 4.1 所示.

表 4.1 是銅面刷磨法的比較表

注意事項

- a. 刷輪有效長度都需均勻使用到，否則易造成刷輪表面高低不均
- b. 須做刷痕實驗，以確定刷深及均勻性

優點

- a. 成本低
- b. 製程簡單，彈性

缺點

- a. 薄板細線路板不易進行
- b. 基材拉長，不適內層薄板
- c. 刷痕深時易造成 D/F 附著不易而滲鍍
- d. 有殘膠之潛在可能

D.噴砂法

以不同材質的細石(俗稱 pumice)為研磨材料

優點：

- a. 表面粗糙均勻程度較刷磨方式好
- b. 尺寸安定性較好
- c. 可用於薄板及細線

缺點：

- a. Pumice 容易沾留板面
- b. 機器維護不易

E. 化學法(微蝕法)

化學法有幾種選擇，見表。

F. 結論

使用何種銅面處理方式，各廠應以產品的層次及製程能力來評估之，並無定論，但可預知的是化學處理法會更普遍，因細線薄板的比例愈來愈高。

4.2.2 影像轉移

4.2.2.1 印刷法

A. 前言

電路板自其起源到目前之高密度設計，一直都與絲網印刷(Silk Screen Printing)一或網版印刷有直接密切之關係，故稱之為"印刷電路板"。目前除了最大量的應用在電路板之外，其他電子工業尚有厚膜(Thick Film)的混成電路(Hybrid Circuit)、晶片電阻(Chip Resist)、及表面黏裝(Surface Mounting)之錫膏印刷等也都優有應用。

由於近年電路板高密度、高精度的要求，印刷方法已無法達到規格需求，因此其應用範圍漸縮，而乾膜法已取代了大部分影像轉移製作方式。下列是目前尚可以印刷法 cover 的製程：

- a. 單面板之線路,防焊 (大量產多使用自動印刷,以下同)
- b.單面板之碳墨或銀膠 c.雙面板之線路,防焊
- d.濕膜印刷
- e.內層大銅面
- f.文字
- g.可剝膠(Peelable ink)

除此之外,印刷技術員培養困難,工資高.而乾膜法成本逐漸降低因此也使兩者消長明顯.

B. 絲網印刷法(Screen Printing)簡介

絲網印刷中幾個重要基本原素:網材,網版,乳劑,曝光機,印刷機,刮刀,油墨,烤箱等,以下逐一簡單介紹.

a. 網布材料

(1) 依材質不同可分絲絹(silk),尼龍(nylon),聚酯(Polyester,或稱特多龍),不銹鋼,等.電路板常用者為後三者.

(2) 編織法:最常用也最好用的是單絲平織法 Plain Weave.

(3) 網目數(mesh),網布厚度(thickness),線徑(diameter),開口(opening)的關係見表常用的不銹鋼網布諸元素

開口:見圖 4.2 所示

網目數:每 inch 或 cm 中的開口數

線徑: 網布織絲的直徑 網布

厚度:厚度規格有六,Slight(S),Medium(M),Thick(T),Half heavy duty(H),Heavy duty(HD),Super heavy duty(SHD)

圖 4.2 顯示印刷過程網布各元素扮演角色.

b.網版(Stencil)的種類

(1).直接網版(Direct Stencil)

將感光乳膠調配均勻直接塗佈在網布上，烘乾後連框共同放置在曝光設備臺面上並覆以原稿底片，再抽真空使其密接感光，經顯像後即成為可印刷的網版。通常乳膠塗佈多少次，視印刷厚度而定。此法網版耐用，安定性高，用於大量生產。但製作慢，且太厚時可能因厚薄不均而產生解像不良。

(2).間接網版(Indirect Stencil)

把感光版膜以曝光及顯像方式自原始底片上把圖形轉移過來，然後把已有圖形的版膜貼在網面上，待冷風乾燥後撕去透明之載體護膜，即成間接性網版。其厚度均勻，解析度好，製作快，多用於樣品及小量產。

c. 油墨

油墨的分類有幾種方式

(1).以組成份可分單液及雙液型。

(2).以烘烤方式可分蒸發乾燥型、化學反應型及紫外線硬化型(UV)

(3).以用途可分抗蝕,抗鍍,防焊,文字,導電,及塞孔油墨。不同製程選用何種油墨,須視各廠相關製程種類來評估,如鹼性蝕刻和酸性蝕刻 選擇之抗蝕油墨考慮方向就不一樣。

d. 印刷作業

網版印刷目前有三種方式:手印、半自動印及全自動印刷。手印機須要印刷熟手操作,是最彈性與快速的選擇,尤以樣品製作.較小工廠及協力廠仍有不少採手印。半自動印則除 loading/unloading 以人工作業外,印刷動作由機器代勞,但對位還是人工作業.也有所謂 3/4 機印,意指 loading 亦採自動,印好後人工放入 Rack 中。全自動印刷則是 loading/unloading 及對位,印刷作業都是自動.其對位方式有靠邊, pinning 及 ccd 三種。以下針對幾個要素加以解說:

(1) 張力:

張力直接影響對位,因為印刷過程中對網布不斷拉扯,因此新網張力的要求非常重要。一般張力測試量五點,即四角和中間。

(2) 刮刀 Squeege

刮刀的選擇考量有三，

第一是材料，常用者有聚氨酯類(Polyurethane，簡稱 PU)。

第二是刮刀的硬度，電路板多使用 Shore A 之硬度值 60 度—80 度者。平坦基板銅面上線路阻劑之印刷可用 70—80 度；對已有線路起伏之板面上的印線漆及文字，則需用較軟之 60—70 度。

第三點是刮刀的長度，須比圖案的寬度每側長出 3/4—1 吋左右。刮刀在使用一段時間後其銳利的直角會變圓，與網布接觸的面積增大，就無法印出邊緣畢直的細條，需要將刮刀重

新磨利才行，需且刮刀刀線上不可出現缺口，否則會造成印刷的缺陷。

(3). 對位及試印

—此步驟主要是要將三個定位 pin 固定在印刷機台面上,調整網版及離板間隙(Off Contact Distance)(指版膜到基板銅面的距離,應保持在 2m/m—5m/m 做爲網布彈回的應有距離),然後覆墨試印.若有不準再做微調.

—若是自動印刷作業則是靠邊, pinning 及 ccd 等方式對位.因其產量大,適合極大量的單一機種生產.

(4). 烘烤

不同製程會選擇不同油墨, 烘烤條件也完全不一樣,須 follow 廠商提供的 data sheet,再依廠內製程條件的差異而加以 modify.一般因油墨組成不一, 烘烤方式有風乾,UV,IR 等. 烤箱須注意換氣循環, 溫控, 時控等.

(5). 注意事項

不管是機印或手印皆要注意下列幾個重點

—括刀行進的角度, 包括與版面及 x y 平面的角度,

—須不須要回墨.

—固定片數要洗紙,避免陰影.

—待印板面要保持清潔

—每印刷固定片數要抽檢一片依 check list 檢驗品質.

4.2.2.2 乾膜法

更詳細製程解說請參讀外層製作.本節就幾個內層製作上應注意事項加以分析.

- A. 一般壓膜機(Laminator)對於 0.1mm 厚以上的薄板還不成問題,只是膜皺要多 注意
- B. 曝光時注意真空度
- C. 曝光機臺的平坦度
- D. 顯影時 Break point 維持 50~70% ,溫度 30+_2,須 auto dosing.

4.2.3 蝕刻

現業界用於蝕刻的化學藥液種類, 常見者有兩種, 一是酸性氯化銅(CaCl₂)、蝕刻液, 一種是鹼性氨水蝕刻液。

A. 兩種化學藥液的比較, 見表氨水蝕刻液& 氯化銅蝕刻液比較

兩種藥液的選擇, 視影像轉移製程中, Resist 是抗電鍍之用或抗蝕刻之用。在內層製程中 D/F 或油墨是作為抗蝕刻之用, 因此大部份選擇酸性蝕刻。外層製程中, 若為傳統負片流程, D/F 僅是抗電鍍, 在蝕刻前會被剝除。其抗蝕刻層是錫鉛合金或純錫, 故一定要用鹼性蝕刻液, 以免傷及抗蝕刻金屬層。

B. 操作條件 見表為兩種蝕刻液的操作條件

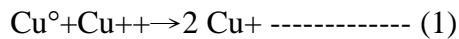
C. 設備及藥液控制

兩種 Etchant 對大部份的金屬都是具腐蝕性, 所以蝕刻槽通常都用塑膠, 如 PVC (Poly Vinyl chloride)或 PP (Poly Propylene)。唯一可使用之金屬是 鈦 (Ti)。爲了得到很好的蝕刻品質—最筆直的線路側壁,(衡量標準爲蝕刻因子 etching factor 其定義見圖 4.3), 不同的理論有不同的觀點, 且可

能相衝突。但有一點卻是不變的基本觀念，那就是以最快速度的讓欲蝕刻銅表面接觸愈多新鮮的蝕刻液。因為作用之蝕刻液 Cu⁺濃度增高降低了蝕刻速度，須迅速補充新液以維持速度。在做良好的設備設計規劃之前，就必須先了解及分析蝕銅過程的化學反應。本章為內層製作所以探討酸性蝕刻，鹼性蝕刻則於第十章再介紹。

a. CuCl₂ 酸性蝕刻反應過程之分析

銅可以三種氧化狀態存在，原子形成 Cu⁰，藍色離子的 Cu⁺⁺以及較不常見的亞銅離子 Cu⁺。金屬銅可在銅溶液中被氧化而溶解，見下面反應式(1)

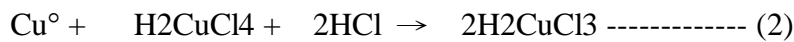


在酸性蝕刻的再生系統，就是將 Cu⁺氧化成 Cu⁺⁺，因此使蝕刻液能將更多的金屬銅咬蝕掉。

以下是更詳細的反應機構的說明。

b. 反應機構

直覺的聯想，在氯化銅酸性蝕刻液中，Cu⁺⁺及 Cu⁺應是以 CuCl₂及 CuCl 存在才對，但事實非完全正確，兩者事實上是以和 HCl 形成的一龐大錯化物存在的：

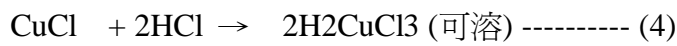


金屬銅 銅離子 亞銅離子

其中 H₂CuCl₄ 實際是 CuCl₂ + 2HCl

2H₂CuCl₃ 實際是 CuCl + 2HCl

在反應式(2)中可知 HCl 是消耗品。即使(2)式已有些複雜，但它仍是以下兩個反應式的簡式而已。



式中因產生 CuCl 沈澱，會阻止蝕刻反應繼續發生，但因 HCl 的存在溶解 CuCl，維持了蝕刻的進行。由此可看出 HCl 是氯化銅蝕刻中的消耗品，而且是蝕刻速度控制的重要化學品。

雖然增加 HCl 的濃度往往可加快蝕刻速度，但亦可能發生下述的缺點。

1. 側蝕 (undercut) 增大，或者 etching factor 降低。
2. 若補充藥液是使用氯化鈉，則有可能產生氯氣，對人體有害。
3. 有可能因此補充過多的氧化劑 (H₂O₂)，而攻擊鈦金屬 H₂O₂。

c.自動監控添加系統. 目前使用 CuCl₂ 酸性蝕銅水平設備者,大半都裝置 Auto dosing 設備,以維持蝕銅速率,控制因子有五:

1. 比重
2. HCl
3. H₂O₂
4. 溫度
5. 蝕刻速度

4.2.4 剝膜

剝膜在 pcb 製程中，有兩個 step 會使用，一是內層線路蝕刻後之 D/F 剝除，二是外層線路蝕刻前 D/F 剝除(若外層製作為負片製程)D/F 的剝除是一單純簡易的製程，一般皆使用連線水平設備，其使用之化學藥液多為 NaOH 或 KOH 濃度在 1~3% 重量比。注意事項如下：

A. 硬化後之乾膜在此溶液下部份溶解，部份剝成片狀，為維持藥液的效果及後水洗能徹底，過濾系統的效能非常重要。

B. 有些設備設計了輕刷或超音波攪拌來確保剝膜的徹底，尤其是在外層蝕刻後的剝膜，線路邊被二次銅微微卡住的乾膜必須被徹底剝下，以免影響線路品質。所以也有在溶液中加入 BCS 幫助溶解，但有違環保，且對人體有害。

C. 有文獻指 K(鉀)會攻擊錫，因此外層線路蝕刻前之剝膜液之選擇須謹慎評估。剝膜液為鹼性，因此水洗的徹底與否，非常重要，內層之剝膜後有加酸洗中和，也有防銅面氧化而做氧化處理者。

4.2.5 對位系統

4.2.5.1 傳統方式

A. 四層板內層以三明治方式，將 2.3 層底片事先對準，黏貼於一壓條上(和內層同厚)，緊貼於曝光檯面上，已壓膜內層則放進二底片間，靠邊即可進行曝光。見圖 4.4

B. 內層先鑽(6 層以上)粗對位工具孔(含對位孔及方向孔，板內監測孔等)，再以雙面曝光方式進行內層線路之製作。兩者的對位度好壞，影響成品良率極大，也是 M/L 對關鍵。

4.2.5.2 蝕後沖孔(post Etch Punch)方式

A. Pin Lam 理論

此方法的原理極為簡單，內層預先沖出 4 個 Slot 孔，見圖 4.5，包括底片，prepreg 都沿用此沖孔系統，此 4 個 SLOT 孔，相對兩組，有一組不對稱，可防止套反。每個 SLOT 孔當置放圓 PIN 後，因受溫壓會有變形時，仍能自由的左右、上下伸展，但中心不變，故不會有應力產生。待冷卻，壓力釋放後，又回復原尺寸，是一頗佳的對位系統。

B. Mass Lam System

沿用上一觀念 Multiline 發展出"蝕後沖孔"式的 PPS 系統，其作業重點如下：

1. 透過 CAM 在工作底片長方向邊緣處做兩"光學靶點"(Optical Target)以及四角落之 pads 見圖 4.6

2. 將上、下底片仔細對準固定後，如三明治做法，做曝光、顯影蝕刻，剝膜等步驟。

3. 蝕刻後已有兩光學靶點的內層板，放進 Optiline PE 機器上，讓 CCD 瞄準該光學靶點，依各廠自行設定，沖出板邊 4 個 Slot 孔或其它圖形工具孔。如圖 4.7

4. 若是圓形工具孔、即當做鉚釘孔，內層黑化後，即可以鉚釘將內層及膠片鉚合成冊，再去進行無梢壓板。

4.2.5.2 各層間的對準度

A. 同心圓的觀念

a. 利用輔助同心圓，可 check 內層上、下的對位度

b. 不同內層同心圓的偏位表示壓合時候的 Shift 滑動

B. 設計原則

a. 見圖 4.8 所示

b. 同心圓之設計，其間距為 4mil，亦是各層間可容許的對位偏差，若超出同心圓以外，則此片可能不良。

c. 因壓合有 Resin Cure 過程故 pattern 必須有預先放大的設計才能符合最終產品尺寸需求。

4.3 內層檢測

AOI(簡單線路採目視) → 電測 → (修補) → 確認 內層板線路成完後,必須保證通路及絕緣的完整性(integrity),即如同單面板一樣先要仔細檢查。因一旦完成壓合後,不幸仍有缺陷時,則已為時太晚,對於高層次板子而言更是必須先逐一保證其各層品質之良好,始能進行壓合,由於高層板漸多,內層板的負擔加重,且線路愈來愈細,萬一有漏失將會造成壓合後的昂貴損失.傳統目視外,自動光學檢查(AOI)之使用在大廠中已非常普遍,利用電腦將原圖案牢記,再配合特殊波長光線的掃描,而快速完美對各層板詳作檢查。但 AOI 有其極限,例如細斷路及漏電(Leakage)很難找出,故各廠漸增加短、斷路電性測試。AOI 及測試後面有專題,在此不詳述。

內層製作至此完成,下一流程為壓合。

五.壓合

5.1. 製程目的:

將銅箔(Copper Foil),膠片(Prepreg)與氧化處理(Oxidation)後的內層線路板,壓合成多層基板.本章仍介紹氧化處理,但未來因成本及縮短流程考量,取代製程會逐漸普遍。

5.2. 壓合流程,如下圖 5.1:

5.3. 各製程說明

5.3.1 內層氧化處理(Black/Brown Oxide Treatment)

5.3.1.1 氧化反應

- A. 增加與樹脂接觸的表面積,加強二者之間的附著力(Adhesion).
- B. 增加銅面對流動樹脂之潤濕性,使樹脂能流入各死角而在硬化後有更強的抓地力。
- C. 在裸銅表面產生一層緻密的鈍化層(Passivation)以阻絕高溫下液態樹脂中胺類(Amine)對銅面的影響。

5.3.1.2. 還原反應

目的在增加氧化層之抗酸性,並剪短絨毛高度至恰當水準以使樹脂易於填充並能減少粉紅圈(pink ring)的發生。

5.3.1.3. 黑化及棕化標準配方:

表一般配方及其操作條件

上表中之亞氯酸鈉為主要氧化劑,其餘二者為安定劑,其氧化反應式。

此三式是金屬銅與亞氯酸鈉所釋放出的初生態氧先生成中間體氧化亞銅, $2\text{Cu} + [\text{O}] \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$, 再繼續反應成爲氧化銅 CuO , 若反應能徹底到達二價銅的境界, 則呈現黑巧克力色之"棕氧化"層, 若層膜中尚含有部份一價亞銅時則呈現無光澤的墨黑色的"黑氧化"層。

5.3.1.4. 製程操作條件(一般代表), 典型氧化流程及條件。

5.3.1.5 棕化與黑化的比較

A. 黑化層因液中存在高鹼度而雜有 Cu_2O , 此物容易形成長針狀或羽毛狀結晶。此種亞銅之長針在高溫下容易折斷而大大影響銅與樹脂間的附著力, 並隨流膠而使黑點流散在板中形成電性問題, 而且也容易出現水份而形成高熱後局部的分層爆板。棕化層則呈碎石狀瘤狀結晶貼銅面, 其結構緊密無疏孔, 與膠片間附著力遠超過黑化層, 不受高溫高壓的影響, 成爲聚亞醯胺多層板必須的製程。

B. 黑化層較厚, 經 PTH 後常會發生粉紅圈(Pink ring), 這是因 PTH 中的微蝕或活化或速化液攻入黑化層而將之還原露出原銅色之故。棕化層則因厚度很薄, 較不會生成粉紅圈。內層基板銅箔毛面經鋅化處理與底材抓的很牢, 但光面的黑化層卻容易受酸液之側攻而現出銅之原色, 見圖 5.2。

C. 黑化因結晶較長厚度較厚故其覆蓋性比棕化要好, 一般銅面的瑕疵較容易蓋過去而能得到色澤均勻的外表。棕化則常因銅面前處理不夠完美而出現斑駁不齊的外觀, 常不爲品管人員所認同。不過處理時間長或溫度高一些會比較均勻。事實上此種外觀之不均勻並不會影響其優良之剝離強度 (Peel Strength)。一般商品常加有厚度仰制劑(Self-Limiting)及防止紅圈之封護劑 (Sealer)使能耐酸等, 則棕化之性能會更形突出。

表 5.4 顯示同樣時間及溫度下, 不同濃度氧化槽液, 其氧化層顏色, 顆粒大小及厚度變化

5.3.1.6 製程說明

內層板完成蝕刻後需用鹼液除去乾膜或油墨阻劑, 經烘乾後要做檢修, 測試, 之後才進入氧化製程。此製程主要有鹼洗、酸浸、微蝕、預浸、氧化、還原、抗氧化及後清洗吹乾等步驟, 現分述於後:

- A. 鹼性清洗- 也有使用酸洗. 市售有多種專業的化藥, 能清除手指紋、油脂, scum 或有機物。
- B. 酸浸- 調整板面 PH, 若之前爲酸洗, 則可跳過此步驟。
- C. 微蝕- 微蝕主要目的是蝕出銅箔之柱狀結晶組織 (grain structure) 來增加表面積, 增加氧化後對膠片的抓地力。通常此一微蝕深度以 50-70 微英寸爲宜。微蝕對棕化層的顏色均勻上非常重要。
- D. 預浸中和- 板子經徹底水洗後, 在進入高溫強鹼之氧化處理前宜先做板面調整, 使新鮮的銅面生成暗紅色的預處理, 並能檢查到是否仍有殘膜未除盡的亮點存在。
- E. 氧化處理- 市售的商品多分爲兩液, 其一爲氧化劑常含以亞氯酸鈉爲主, 另一爲氫氧化鈉及添加物, 使用時按比例調配加水加溫即可。通常氫氧化鈉在高溫及攪動下容易與空氣中的二氧化碳形成碳酸鈉而顯現出消耗很多的情況, 因鹼度的降低常使棕化的顏色變淺或不均勻, 宜分析及補充其不足。溫度的均勻性也是影響顏色原因之一, 加熱器不能用石英, 因高溫強鹼會使矽化物溶解。操作時最好讓槽液能合理的流動及交換。
- F. 還原- 此步驟的應用影響後面壓合成敗甚鉅。

G. 抗氧化—此步驟能讓板子的信賴度更好,但視產品層次,不一定都有此步驟.

H. 後清洗及乾燥-要將完成處理的板子立即浸入熱水清洗,以防止殘留藥液在空氣中乾涸在板面上而不易洗掉,經熱水徹底洗淨後,才真正完工。

5.3.1.7 設備

氧化處理並非製程中最大的瓶頸,大部分仍用傳統的浸槽式獨臂或龍門吊車的輸送。所建立的槽液無需太大量,以便於更換或補充,建槽材料以 CPVC 或 PP 都可以。

水平連續自動輸送的處理方式,對於薄板很適合,可解決 RACK 及板彎翹的情形.水平方式可分為噴液法(Spray)及溢流法(Flood),前者的設備昂貴,溫度控制不易,又因大量與空氣混合造成更容易沉澱的現象,為縮短板子在噴室停留的時間,氧化液中多加有加速劑(Accelerator)使得槽液不夠穩定.溢流法使用者較多。

5.3.1.8 氧化線生產品質控制重點

A. 檢測方法及管制範圍

a. 氧化量(o/w)之測定〔管制範圍：0.3±0.07 (mg/cm²)〕

(1) 取一試片 9cm×10cm 1oz 規格厚度之銅片，隨流程做氧化處理。

(2) 將氧化處理後之試片置於 130°C 之烤箱中烘烤 10min. 去除水分，置於密閉容器冷卻至室溫，稱重得重量—w1(g)。

(3) 試片置於 20% H₂SO₄ 中約 10min 去除氧化表層，重覆上一步驟，稱重得重量—w2(g)

(4) 計算公式： $O/W = (W1 - W2 / 9 \times 10 \times 2) \times 1000$

又稱 weight gain, 一般在 In-process QC 會用此法

b. 剝離強度(Peel Strength)之測定 (管制範圍：4~8 lb/in)

(1) 取一試片 1oz 規格厚度之銅箔基板，做氧化處理後圖-做疊板(lay up)後做壓合處理。

(2) 取一 1cm 寬之試片，做剝離拉力測試，得出剝離強度(依使用設備計算)。

c. 蝕刻銅量(Etch Amount) 之測定 (管制範圍：70±30u in)

(1) 取一試片 9cm×10cm 1oz 規格厚度之銅片，置於 130°C 之烤箱中烘烤 10min 去除水份，置於密閉容器中冷卻至室溫，稱重量得—w1(g)

(2) 將試片置於微蝕槽中約 2'18"(依各廠實際作業時間)，做水洗處理後，重覆上一個步驟，稱得重量—w2(g)。

(3) 計算公式：

d. 氧化後抽檢板子以無亮點為判斷標準

5.3.2 疊板

進壓合機之前,需將各多層板使用原料準備好,以便疊板(Lay-up)作業.除已氧化處理之內層外,尚需膠片(Prepreg),銅箔(Copper foil),以下就敘述其規格種類及作業:

5.3.2.1 P/P(Prepreg)之規格

P/P 的選用要考慮下列事項:

- 絕緣層厚度
- 內層銅厚
- 樹脂含量
- 內層各層殘留銅面積
- 對稱

最重要還是要替客戶節省成本

P/P 主要的三種性質為膠流量(Resin Flow)、膠化時間(Gel time)及膠含量(Resin Content)其進料測試方式及其他特性介紹如下所述:

A. 膠流量(Resin Flow)

1,流量試驗法 Flow test-與經緯斜切截取 4 吋見方的膠片四張精稱後再按原經向對經向或 緯對緯的上下疊在一起,在已預熱到 $170^{\circ}\pm 2.8^{\circ}$ 之壓床用 200 ± 25 PSI 去壓 10 分鐘,待其熔 合 及冷卻後,在其中央部份沖出直徑 3.192 吋的圓片來,精稱此圓片重量,然後計算膠流之百分 流量為:

式中分子相減之差即表示流出去的膠量,因原面積為 16m^2 ,而壓後所沖之圓片面積為 $(3.196\div 2)^2 \times 3.14 \times 2 = 16.045\text{m}^2$, 故可以解釋為壓後圓片以外的東西是"流"出去的。

2,比例流量 Scaled flow test-是指面積大時用大的壓力強度,面積小時用小的壓力強度其作法是正切膠片成 $7\text{in} \times 5.5\text{in}$ 之樣片並使 7in 長向與原捲之經向平行,薄膠片(104,106,108)者要 18-20 張,中度者(12.113.116)切 10 張,比 116 更厚者就不太準了。熱板先預熱到 $150^{\circ}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 並加上脫膜紙,將膠放上以 31PSI 或 840 磅 $\pm 5\%$ 在 8 吋見方的壓床上壓 10 ± 1 分鐘,冷卻後 對角切開,並以測微卡尺量對角線的厚度,其計算如下:

$$h_o = [W_o/n(5.54 \times 10^{-2}) - W_g] \times 21.2 \times 10^{-2}$$

h_o -每張膠片原應有的厚度, W_o -原樣片的總重, W_g -單位面積上之玻璃布重(g/in^2), n -張數。

B. 膠化時間 (Gel time or Tack Time)

膠片中的樹脂為半硬化的 B-Stage 材料,在受到高溫後即會軟化及流動,經過一段軟化而流動的時間後,又逐漸吸收能量而發生聚合反應使得黏度增大再真正的硬化成為 C-Stage 材料。上述在壓力下可以流動的時間,或稱為可以做趕氣及填隙之工作時間,稱為膠化時間或可流膠 時間。當此時

段太長時會造成板中應有的膠流出太多，不但厚度變薄浪費成本而且造成銅箔直接壓到玻璃上使結構強度及抗化性不良。但此時間太短時則又無法在趕完板藏氣之前因黏度太大無法流動而形成氣泡 (air bubble) 現象。

C. 膠含量 (Resin Content)

是指膠片中除了玻璃布以外之膠所占之重量比。可以用以下兩種方法測量之

c-1 燒完法 (Burn Out)

c-2 處理重量法 (Treated Weight)

其他尚有注意事項如下

D. 用偏光鏡 (Polarizing Filter) 檢查膠片中的硬化劑 dicy 是否大量的集中，以防其發生再結晶現象，因再結晶後會吸水則會有爆板的危險。將膠片在光源經兩片互相垂直的偏光鏡而可以看到膠片中的 dicy 的集中再結晶現象。

E. 檢查膠片中的玻璃紗束數目是否正確，可將膠片放在焚爐中在 540°C 下燒 15 分鐘除去樹脂露出玻璃布，在 20X 顯微鏡下計數每吋中的經緯紗束是否合乎規範。

F. 揮發成份 (Volatile)，在膠片捲上斜切下 4 吋×4 吋的樣片 4 片，在天平上精稱到 1mg，然後置入 163 ±2.8°C 通風良好的烤箱中烤 15 ±1 分鐘，再取出放入密閉的乾燥皿中冷到室溫，再迅速重稱烤後重量。其失重與原重之比值以百分法表示之即為揮發成份含量。

5.3.2.2. P/P 的切割，見圖 5.3

機械方向就是經向，可要求廠商於不同 Prepreg 膠卷側邊上不同顏色做為辨識

5.3.2.3 銅箔規格

詳細銅箔資料請見'基板'章節，常見銅箔厚度及其重要規格表。

5.3.2.4 疊板作業

壓板方式一般區分兩種：一是 Cap-lamination，一是 Foil-lamination，本節僅討論 Foil-lamination.

A. 組合的原則

組合的方法依客戶之規格要求有多種選擇，考量對稱，銅厚，樹脂含量，流量等以最低成本達品質要求：

(a) 其基本原則是兩銅箔或導體層間的絕緣介質層至少要兩張膠片所組成，而且其壓合後之厚度不得低於 3.5 mil(已有更尖端板的要求更薄於此)，以防銅箔直接壓在玻璃布上形成介電常數太大之絕緣不良情形，而且附著力也不好。

(b) 為使流膠能夠填滿板內的空隙，又不要因膠量太多造成偏滑或以後 Z 方向的過度膨脹，與銅面

接觸的膠片,其原始厚度至少要銅厚的兩倍以上才行。最外層與次外層至少要有 5 mil 以保證絕緣的良好。

(c) 薄基板及膠片的經緯方向不可混錯,必須經對經,緯對緯,以免造成後來的板翹板扭無法補救的結果。膠片的張數一定要上下對稱,以平衡所產生的應力。少用已經硬化 C-Stage 的材料來墊補厚度,此點尤其對厚多層板最為要緊,以防界面處受熱後分離。在不得及使用時要注意其水份的烘烤及表面的粗化以增附著力。

(d) 要求阻抗 (Impedance)控制的特殊板,應改用低稜線(Low Profile)的銅箔,使其毛面(Matte side)之峰谷間垂直相差在 6 微米以下,傳統銅皮之差距則達 12 微米。使用薄銅箔時與其接壤的膠片流量不可太大,以防無梢大面積壓板後可能發常生的皺折(Wrinkle)。銅箔疊上後要用除塵布在光面上輕輕均勻的擦動,一則趕走空間氣減少皺折,二則消除銅面的雜質外物減少後來板面上的凹陷。但務必注意不可觸及毛面以免附著力不良。

(e) 選擇好組合方式,6 層板以上內層及膠片先以鉚釘固定以防壓合時 shift.此處要考慮的是鉚釘的選擇(長度,深度材質),以及鉚釘機的操作(固定的緊密程度)等。

C. 疊板環境及人員

疊板現場溫度要控制在 $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$,相對濕度應在 $50\% \pm 5\%$,人員要穿著連身裝之抗靜電服裝、戴單帽、手套、口罩(目的在防止皮膚接觸及濕氣),布鞋,進入室內前要先經空氣吹浴 30 秒,私人物品不宜帶入,入口處更要在地面上設一膠墊以黏鞋底污物。膠片自冷藏庫取出及剪裁完成後要在室內穩定至少 24 小時才能用做疊置。完成疊置的組合要在 1 小時以內完成上機壓合。若有抽真空裝置,應在壓合前先抽一段時間,以趕走水氣。膠片中濕氣太大時會造成 Tg 降低及不易硬化現象。

D. 疊板法

(a) 無梢壓板法-此法每一個開口中每個隔板間的多層板散冊要上下左右對準,而且各隔板間也絕對要上下對準,自然整個壓床之各開口間也要對準在中心位置。對準的方式有兩種方式:

—一種是投影燈式,在疊板台正上方裝一投影機,先將鋁載板放在定位並加上牛皮紙,將光影按板冊之尺寸投影在鋁板上,再將各板冊之內容及隔板逐一疊齊,最後再壓上牛皮紙及鋁蓋板即完成一個開口間的組合。

—另一種是無投影燈時,將板冊之各材料每邊找出中點來,鋁皮鋼板也找出中點,也可進行上下對準。

六層板則先將 2 個內層雙面板分別鑽出鉚釘孔,每片雙面板的四個鉚釘孔要與板內各孔及線路有絕對準確的關係再取已有鉚釘梢的樣板套在所用夾心的膠片,此等膠片已有稍大一點的鉚孔,於是小心將四邊中心的鉚釘孔對準並套上鉚釘,再小心用沖釘器把四個鉚釘逐一沖開壓扁而將兩內層及其間的膠片夾死,其上下兩面再疊上膠片及銅箔如四層板一樣去壓合。此時可用 X 光檢查兩薄

內層板間的對準情形再進行壓合或折掉重鉚。一般六層板只在第二層上做出箭靶即可。層間對位方式另參考內層製作檢驗。

(b) 有梢套孔疊置-將已精準鑽出的工具孔的內層一一套在下載鋁板定位梢上,並套上沖孔較大的膠片、牛皮紙、脫模紙、隔皮等。

(c) 壓力艙式疊置法-將板冊內容按上無梢法疊鋁載板上,此載板與液壓法不同,其反面有導氣的井字形溝槽,正面平坦用以承載板冊,連同隔板以多孔性的毯子包住放在導氣板上,外面再包以兩層防漏絕氣特殊隔膜,最後以有彈性可耐壓的特殊膠帶將隔膜四周貼合氣板上,推入壓力艙內,關上門後先把包裹內抽至極低之氣壓使板冊死處的藏氣都被抽出,再於艙內壓入高溫的二氧化碳或氮氣至 150-200PSI,進行真空壓合。

5.3.3 壓合製程操作

5.3.3.1 壓合機種類

壓合機依其作動原理不同可分為三大類:

A. 艙壓式壓合機(Autoclave):

壓合機構造為密閉艙體，外艙加壓、內袋抽真空受熱壓合成型，各層板材所承受之熱力與壓力，來自四面八方加壓加溫之惰性氣體，其基本構造如下圖 5.4

- 優點: 一因壓力熱力來自於四面八方，故其成品板厚均勻、流膠小。
一可使用於高樓層 缺點: 設備構造複雜，成本高，且產量小。

B. 液壓式壓合機 (Hydraulic)

液壓式壓合機構造有真空式與常壓式，其各層開口之板材夾於上下兩熱壓盤間，壓力由下往上壓，熱力藉由上下熱壓盤加熱傳至板材。其基本構造如下圖 5.5 優點:a.設備構造簡單，成本低，且產量大。 b.可加裝真空設備，有利排氣及流膠 缺點: 板邊流膠量較大，板厚較不均勻。

C. ADARA SYSTEM Cedal

壓合機 Cedal 為一革命性壓合機，其作動原理為在一密閉真空艙體中，利用連續卷狀銅箔疊板，在兩端通電流,因其電阻使銅箔產生高溫,加熱 Prepreg，用熱傳係數低之材質做壓盤，藉由上方加壓，達到壓合效果，因其利用夾層中之銅箔加熱，所以受熱均勻、內外層溫差小，受壓均勻，比傳統式壓合機省能源，故其操作成本低廉，其構造如下圖 5.6

優點:

- 利用上下夾層之銅板箔通電加熱，省能源，操作成本低。
- 內外層溫差小、受熱均勻，產品品質佳。
- 可加裝真空設備，有利排氣及流膠。
- Cycle time 短約 40min.

- e. 作業空間減小很多.
- f. 可使用於高樓層

缺點: 設備構造複雜, 成本高, 且單機產量小疊板耗時。

C-1. Cedal Adara 壓合機其加熱方式, 為利用上下夾層之銅箔通電加熱, 其 Stack 結構簡圖見圖 5.7

5.3.3.2. 壓合機熱源方式:

A. 電熱式:

於壓合機各開口中之壓盤內, 安置電加熱器, 直接加熱。

優點: 設備構造簡單, 成本低, 保養簡易。

缺點: a. 電力消耗大。

b. 加熱器易產生局部高溫, 使溫度分佈不均。

B. 加熱軟水使其產生高溫高壓之蒸汽, 直接通入熱壓盤。

優點: 因水蒸汽之熱傳係數大, 熱媒為水較便宜。

缺點: a. 蒸氣鍋爐必需專人操作, 設備構造複雜且易銹蝕, 保養麻煩。

b. 高溫高壓操作, 危險性高。

C. 藉由耐熱性油類當熱媒, 以強制對流方式輸送, 將熱量以間接方式傳至熱壓盤。

優點: 昇溫速率及溫度分佈皆不錯, 操作危險性較蒸汽式操作低。

缺點: 設備構造複雜, 價格不便宜, 保養也不易。

D. 通電流式:

利用連續卷狀銅箔疊板, 在兩端通電流因其電阻使銅箔產生高溫加熱 Prepreg, 用熱傳係數低之材質做壓盤, 減少熱流失。

優點: a. 昇溫速率快(35°C/min.)、內外層溫差小, 及溫度分佈均勻。

b. 省能源, 操作成本低廉。

缺點: a. 構造複雜, 設備成本高。

b. 產量少。

5.3.3.3. 開口(Opening)疊板之方式:

A. 一般壓合機疊板結構:

若壓合機有十二個開口，每一開口有上下熱壓盤，共十三個熱壓盤，疊板方式以鋼質載盤為底盤，放入十二張牛皮紙及一張銅箔基板，中間以一層鏡面鋼板一層板材的方式，疊入十二層板 材，上面再加一層鏡面鋼板及一張銅箔基板和十二張牛皮紙，再蓋上鋼質蓋板，其結構如圖 5.8.

A-1 疊板結構各夾層之目的

- a. 鋼質載盤,蓋板(Press plate): 早期為節省成本多用鋁板,近年來因板子精密度的提升已漸改成硬化之鋼板,供均勻傳熱用.
- b. 鏡面鋼板(Separator plate): 因鋼材鋼性高,可防止表層銅箔皺摺凹陷.與拆板容易。鋼板使用後，如因刮傷表面，或流膠殘留無法去除就應加以研磨。
- c.牛皮紙: 因紙質柔軟透氣的特性,可達到緩衝受壓均勻施壓的效果,且可防止滑動,因熱傳 係數低可延遲熱傳、均勻傳熱之目的。在高溫下操作,牛皮紙逐漸失去透氣的特性,使用三 次後就應更換。
- d.銅箔基板:其位於夾層中牛皮紙與鏡面鋼板之間,可防止牛皮紙碳化後污染鏡面鋼板或黏在 上面,及緩衝受壓均勻施壓。
- e.其他有脫模紙 (Release sheet)及壓墊 (Press pad) Conformal press 的運用,大半都用在 軟板 coverlayer 壓合上.

B. CEDAL ADARA 疊板結構與方式 :見圖 5.9

CEDAL 疊板作業依圖 5.9 分四個主要步驟,一個 Stack 最多可疊 65 個 Panel,並可利用固定架固定,其構造圖見圖 5.10

5.3.3.4. 壓合時升溫速率與升壓速率對板子之影響

典型 Profile 見圖 5.11

A.溫度:

- a.升溫段:以最適當的升溫速率,控制流膠。
- b.恆溫段:提供硬化所需之能量及時間。
- c.降溫段:逐步冷卻以降低內應力(Internal stress)減少板彎、板翹(Warp、Twist)。

B.壓力:

- a.初壓(吻壓 Kiss pressure):每冊(Book)緊密接合傳熱,驅趕揮發物及殘餘氣體。
- b.第二段壓:使膠液順利填充並驅趕膠內氣泡,同時防止一次壓力過高導致的皺折及應力。
- c.第三段壓:產生聚合反應,使材料硬化而達到 C-stage。
- d.第四段壓:降溫段仍保持適當的壓力,減少因冷卻伴隨而來之內應力。

B-1 壓力的計算

傳統式的初壓及全壓,大量法的低壓及高壓都是對板面面積而言的,機台上的設定壓力強度則與頂起的活塞軸有直接的關係,故應先有板面壓力強度的規範數值後再去換算成爲機台設定 壓力,即:

低壓設定壓力 = $40\text{PSI} \times A(\text{板子面積}) \div \text{活塞軸截面積}(\text{所得數值仍爲壓力強度})$

高壓設定壓力 = $560\text{PSI} \times A \div \text{活塞軸截面積}$

壓力換算法: $1 \text{ kg/cm}^2 = 14.22\text{PSI}(\text{pound/in}^2)$

$1\text{PSI} = 0.07 \text{ kg/cm}^2, 1 \text{ kg/cm}^2 = 1\text{ATM}。$

5.3.3.5. 壓合流程品質管制重點:

- a. 板厚、板薄、板翹
- b. 銅箔皺折、
- c. 異物,pits & dents
- d. 內層氣泡
- e. 織紋顯露
- f. 內層偏移

5.3.4 後處理作業

5.3.4.1. 目的

- A. 設立加工之基準靶位，及基板外框成型。
- B. IPQC (In Process Quality Control) 作業，提升品質管制。

5.3.4.2.後處理之流程:

A.後烤(post cure, post lamination)-通常後烤條件是 150°C ,4 小時以上.如果先前壓合步驟 curing 很完整,可不作後烤,否則反而有害(降低 Tg).可以測量 Tg,判斷 curing 是否完整.後烤的目的有如下三個:

- a.讓聚合更完全.
- b.若外表有彎翹,則可平整之.
- c.消除內部應力並可改善對位.

B. 銑靶,打靶-完成壓合後板上的三個箭靶會明顯的出現浮雕(Relief),

a.手動作業:將之置於普通的單軸鑽床下用既定深度的平頭銑刀銑出箭靶及去掉原貼的耐熱膠帶,再置於有投影燈的單軸鑽床或由下向上沖的沖床上沖出靶心的定位孔,再用此定位孔定 在鑽床上即行鑽孔作業。注意要定時校正及重磨各使用工具,

b.X-Ray 透視打靶: 有單軸及雙軸,雙軸可自動補償取均值,減少公差.

C. 剪邊(CNC 裁板)-完成壓合的板子其邊緣都會有溢膠,必須用剪床裁掉以便在後續製程中作業方便及避免造成人員的傷害,剪邊最好沿著邊緣直線內 1 公分處切下,切太多會造成電鍍夾點 的困擾,最好再用磨邊機將四個角落磨圓及邊緣毛頭磨掉,以減少板子互相間的刮傷及對槽液 的污染。或者現在很普遍直接以 CNC 成型機做裁邊的作業。

壓合製程至此結束,接下來的步驟是鑽孔.

六、鑽孔

6.1 製程目的

單面或雙面板的製作都是在下料之後直接進行非導通孔或導通孔的鑽孔,多層板則是在完成壓板之後才去鑽孔。傳統孔的種類除以導通與否簡單的區分外,以功能的不同尚可分:零件孔,工具孔,通孔(Via),盲孔(Blind hole),埋孔(Buried hole)(後二者亦為 via hole 的一種).近年電子產品'輕.薄.短.小.快.'的發展趨勢,使得鑽孔技術一日千里,機鑽,雷射燒孔,感光成孔等,不同設備技術應用於不同層次板子.本章僅就機鑽部分加以介紹,其他新技術會在 20 章中有所討論.

6.2 流程

上 PIN→鑽孔→檢查

6.3 上 PIN 作業

鑽孔作業時除了鑽盲孔,或者非常高層次板孔位精準度要求很嚴,用單片鑽之外,通常都以多片鑽,意即每個 stack 兩片或以上.至於幾片一鑽則視 1.板子要求精度 2.最小孔徑 3.總厚度 4.總銅層數.來加以考量. 因為多片一鑽,所以鑽之前先以 pin 將每片板子固定住,此動作由上 pin 機(pinning machining)執行之. 雙面板很簡單,大半用靠邊方式,打孔上 pin 連續動作一次完成.多層板比較複雜,另須多層板專用上 PIN 機作業.

6.4 鑽孔

6.4.1 鑽孔機

鑽孔機的型式及配備功能種類非常多,以下 List 評估重點

- A. 軸數: 和產量有直接關係
- B. 有效鑽板尺寸
- C. 鑽孔機檯面: 選擇振動小,強度平整好的材質。
- D. 軸承(Spindle)
- E. 鑽盤: 自動更換鑽頭及鑽頭數
- F. 壓力腳

- G. X、Y 及 Z 軸傳動及尺寸：精準度，X、Y 獨立移動
- H. 集塵系統：搭配壓力腳，排屑良好，且冷卻鑽頭功能
- I. Step Drill 的能力
- J. 斷針偵測
- K. RUN OUT

6.4.1.1 鑽孔房環境設計

- A. 溫濕度控制
- B. 乾淨的環境
- C. 地板承受之重量
- D. 絕緣接地的考量
- E. 外界振動干擾

6.4.2 物料介紹

鑽孔作業中會使用的物料有鑽針(Drill Bit),墊板(Back-up board),蓋板(Entry board)等.以下逐一介紹:圖 6.1 為鑽孔作業中幾種物料的示意圖.

6.4.2.1 鑽針(Drill Bit), 或稱鑽頭,

其品質對鑽孔的良窳有直接立即的影響，以下將就其材料，外型構、及管理簡述之。

- A. 鑽針材料 鑽針組成材料主要有三:
 - a. 硬度高耐磨性強的碳化鎢 (Tungsten Carbide ,WC)
 - b.耐衝擊及硬度不錯的鈷 (Cobalt)
 - c.有機黏著劑.

三種粉末按比例均勻混合之後,於精密控制的焚爐中於高溫中在模子中燒結 (Sinter) 而成.其成份約有 94% 是碳化鎢,6% 左右是鈷。 耐磨性和硬度是鑽針評估的重點其合金粒子愈細能提高硬度以及適合鑽小孔.通常其合金粒子小於 1 micron.

B. 外型結構

鑽針之外形結構可分成三部份,見圖 6.2,即鑽尖 (drill point)、退屑槽 (或退刀槽 Flute)、及握柄 (handle,shank)。 以下用圖示簡介其功能:

- a. 鑽尖部份 (Drill Point)- 圖 6.3
 - (1) 鑽尖角 (Point Angle)
 - (2) 第一鑽尖面 (Primary Face)及角
 - (3) 第二鑽尖面 (Secondary face)及角
 - (4) 橫刃 (Chisel edge)
 - (5) 刀筋 (Margin)

鑽尖是由兩個窄長的第一鑽尖面 及兩個呈三角形鉤狀的第二鑽尖面 所構成的,此四面會合於鑽尖點,在中央會合處形成兩條短刃稱為橫刃 (Chisel edge),是最先碰觸板材之處,此橫刃在壓力及旋轉下即先行定位而鑽入 stack 中,第一尖面的兩外側各有一突出之方形帶片稱為刀筋 (Margin),此刀筋一直隨著鑽體部份盤旋而上,為鑽針與孔壁的接觸部份.而刀筋與刀唇交接處之直角刀角 (Corner) 對孔壁的品質非常重要,鑽尖部份介於第一尖面與第二尖面之間有長刃,兩長刃在與兩橫刃在中間 部份相會而形成突出之點是為尖點,此兩長刃所形成的夾角稱鑽尖角 (Point

angle), 鑽紙質之酚醛樹脂基板時因所受阻力較少, 其鑽尖角約為 $90^{\circ} \sim 110^{\circ}$; 鑽 FR4 的玻纖板時則尖角需稍鈍為 $115^{\circ} \sim 135^{\circ}$, 最常見者為 130° 者。第一尖面與長刃之水平面所呈之夾面角約為 15° 稱為第一尖面角 (Primary Face Angle), 而第二尖面角則約為 30° ; 另有橫刃與刃唇所形成的夾角稱為橫刃角 (chisel Edge Angle)。

b. 退屑槽 (Flute)

鑽針的結構是由實體與退屑的空槽二者所組成。實體之最外緣上是刃筋, 使鑽針實體部份與孔壁之間保持一小間隙以減少發熱。其盤旋退屑槽 (Flute) 側斷面上與水平所成的旋角稱為螺旋角 (Helix or Flute Angle), 此螺旋角度小時, 螺紋較稀少, 路程近退屑快, 但因廢屑退出以及鑽針之進入所受阻力較大, 容易升溫造成尖部積屑積熱, 形成樹脂之軟化而在孔壁上形成膠渣 (smear)。此螺旋角大時鑽針的進入及退屑所受之磨擦阻力較小而不易發熱, 但退料太慢。

c. 握柄 (Shank)

被 Spindle 夾具夾住的部份, 為節省材料有用不銹鋼的。

鑽針整體外形有 4 種形狀:

- (1) 鑽部與握柄一樣粗細的 Straight Shank,
- (2) 鑽部比主幹粗的稱為 Common Shank。
- (3) 鑽部大於握柄的大孔鑽針
- (4) 粗細漸近式鑽小孔鑽針。

C. 鑽針的檢查與重磨

a. 檢查方法 20~40 倍實體顯微鏡檢查, 見圖 6.4

b. 鑽針的重磨 (Re-Sharpping) 為孔壁品質鑽針壽命, 可依下表做重磨管理。一般鑽針以四層板之三個疊高 (High) 而言, 壽命可達 5000-6000 擊 (Hit), 總共可以重磨三次。(應重磨擊數表)

6.4.2.2. 蓋板 Entry Board(進料板)

A. 蓋板的功用有:

- a. 定位
- b. 散熱
- c. 減少毛頭
- d. 鑽頭的清掃
- e. 防止壓力腳直接壓傷銅面

B. 蓋板的材料: 以下簡述其種類及優缺點

a. 複合材料— 是用木漿纖維或紙材, 配合酚醛樹脂當成黏著劑熱壓而成的。其材質與單面板之基材相似。此種材料最便宜。

b. 鋁箔壓合材料— 是用薄的鋁箔壓合在上下兩層, 中間填去脂及去化學品的純木屑。

c. 鋁合金板— 5~30mil, 各種不同合金組成, 價格最貴

上述材料依各廠之產品層次, 環境及管理, 成本考量做最適當的選擇。其品質標準 必須: 表面平滑, 板子平整, 沒有雜質, 油脂, 散熱要好。

6.4.2.3 墊板 Back-up board

A. 墊板的功用有:

- a. 保護鑽機之檯面,
- b. 防止出口性毛頭 (Exit Burr)

- c.降低鑽針溫度。
- d.清潔鑽針溝槽中之膠渣。

B. 材料種類：

- a. 複合材料-其製造法與紙質基板類似，但以木屑為基礎，再混合含酸或鹽類的黏著劑，高溫高壓下壓合硬化成爲一體而硬度很高的板子。
- b. 酚醛樹脂板 (phenolic) — 價格比上述的合板要貴一些，也就是一般單面板的基材。
- c. 鋁箔壓合板— 與蓋板同

VBU 墊板——是指 Vented Back Up 墊板，上下兩面鋁箔，中層爲折曲同質的純鋁箔，空氣可以自由流通其間，一如石棉浪一樣。墊板的選擇一樣依各廠條件來評估.其重點在:不含有機油脂,屑夠軟不傷孔壁,表面夠硬,板厚均勻,平整等.

6.4.3 操作

6.4.3.1 CNC 控制

現有 CAD/CAM 工作站都可直接轉換鑽孔機接受之語言只要設定一些參數如各孔號代表之孔徑等即可.大部分工廠鑽孔機數量動輒幾十臺因此多有連網作業由工作站直接指示.若加上自動 Loading/Unloading 則人員可減至最少.

6.4.3.2 作業條件

鑽孔最重要兩大條件就是"Feeds and Speeds"進刀速度及旋轉速度，以下做一敘述

A. 進刀速度(Feeds): 每分鐘鑽入的深度，多以吋／分(IPM)表示。上式已爲"排屑量"(Chip Load)取代，鑽針之所以能刺進材料中心須要退出相同體積的鑽屑才行，其表示的方法是以鑽針每旋轉一週後所能刺進的吋數(in/R)。

B. 旋轉速度(Speeds) — 每分鐘所旋轉圈數(Revolution Per Minute RPM)

通常轉數約爲 6 萬— 8 萬 RPM，轉速太高時會造成積熱及磨損鑽針。當進刀速度約爲 120in/min 左右，轉速爲 6 萬 RPM 時，其每一轉所能刺入的深度爲其排屑量

排屑量高表示鑽針快進快出而與孔壁接觸時間短，反之排屑量低時表示鑽針進出緩慢與孔壁磨擦時間增長以致孔溫升高。

設定排屑量高或低隨下列條件有所不同:

1. 孔徑大小
2. 基板材料
3. 層數
4. 厚度

6.4.4 作業注意事項

- A. 轉數、進刀數的設定，應依實際的作業狀況，機器所附手冊上的條件僅為參考，仍須修正。
- B. 定期測量轉數、進刀數,Run out 等數值.
- C. 真空吸塵極為重要，設計時應 over 實際需要，以達 100% 效率，定期更換。
- D. Spindle 及夾頭需隨時保持清潔
- E. Run out 一定要保持在 0.0005"以下
- F. 檯面上塵屑要用吸塵器去除，切勿用吹氣的方式。

6.5 小孔鑽

6.5.1 小孔定義:

直徑 0.6 mm 以下稱小孔,0.3 mm 以下稱微孔(micro hole)

6.5.2 小孔加工現有機鑽及非機鑽,現就機鑽加以探討

小直徑鑽孔加工

小直徑鑽頭的規格依使用人、廠商而略有不同，一般 0.3mm 的稱極小徑鑽頭，由於表面黏著技術(Surface Mount Techology)大量應用，小徑、極小徑的鑽孔也日益增多，因此 PC 板鑽頭與鑽孔機的問題就油然而生；而怎樣來防止鑽頭的折斷是鑽孔加工最主要的癥結，其折斷的主要原因如下：

1. 鑽頭的形狀和材質
2. 鑽頭的外徑與縱橫比(Asspect)
3. PC 板的種類(材質、厚度與層數)
4. 鑽孔機的振動和主軸的振動
5. 鑽孔條件(轉數與進刀速度)
6. 蓋板、墊板的選擇

A 小孔徑鑽孔機

實施小孔徑鑽孔時必須考慮到機械的精度，而其最主要在於位置的精度；一般通稱的位置精度包括以下幾個因素而言：

1. 程式設計的位置與實際工作台上位置精度的誤差。最近的新機種通常亦有 $\pm 10\sim 15 \mu m$ 左右的誤差。
2. 因主軸振動所造成的誤差。(尤其必須考慮到運轉時的誤差)
3. 鑽頭鑽入 PC 瞬間的偏差，大時可達 $10 \mu m$ ，其原因很複雜；主軸、鑽頭、壓板等等都有關連。
4. 鑽頭本身的彎曲；鑽入的點至穿通止之間的彎曲度即孔位彎曲精度。孔位曲的原因經歸納如表所示。

爲了要提高孔位精度，只歸因於鑽頭是不合理的，鑽孔機等其他因素也應加以改善：一適當條件：如進刀速、轉速的調整，分段鈔的作業等。一STACK 的置放在生產線上做小徑鑽孔加工時，以操縱大直徑的方法來處理小徑時，常會有忽略的問題產生；其實最重要的是將 PCB 牢牢的固定於工作台上，使其成爲一個整體，鑽頭在剛開始鑽孔時，若 PC 板固定不牢則易滑動，造成

鑽頭易折斷的可能，爲了防止鑽折斷，以下幾點要特別注意：

1. 將壓板、PC 板、墊板用膠布貼牢後，於指定地方用固定針釘牢。
2. 儘量避免使用變形的 PC 板。
3. 壓板儘量使用厚度爲 0.15~0.2mm 的鋁板或 0.3~0.4mm 的合成樹脂板爲主。
4. 墊板並非取質硬，而是需追求厚度的一致。

6.6 檢查及品質重點

6.6.1 品質重點

1. 少鑽
2. 漏鑽
3. 偏位 (上述以底片 check)
4. 孔壁粗糙
5. 釘頭 (切片)
6. 巴里(burr)

6.6.2 鑽孔結束板邊 coupon 設計(見圖 6.5)

板邊設計 coupon 的用意如下:

1. 檢查各孔徑是否正確
2. 檢查有否斷針漏孔
3. 可設定每 1000,2000,3000 hit 鑽一孔來檢查孔壁品質.

鑽孔製程至此告一段落,下一步驟將進行孔壁金屬化即所謂鍍通孔.

七 鍍通孔

7.1 製程目的

雙面板以上完成鑽孔後即進行鍍通孔(Plated Through Hole , PTH)步驟，其目的使孔壁上之非導體部份之樹脂及玻纖束進行金屬化(metalization)，以進行後來之電鍍銅製程,完成足夠導電及焊接之金屬孔壁。

1986 年，美國有一家化學公司 Hunt 宣佈 PTH 不再需要傳統的貴金屬及無電銅的金屬化製程，可用碳粉的塗佈成爲通電的媒介，商名爲"Black hole"。之後陸續有其他不同 base 產品上市，國內使用者非常多。除傳統 PTH 外，直接電鍍(direct plating)本章節也會述及。

7.2 製造流程

去毛頭→除膠渣→PTHa 一次銅

7.2.1. 去巴里 (deburr)

鑽完孔後,若是鑽孔條件不適當,孔邊緣有 1.未切斷銅絲 2.未切斷玻纖的殘留,稱爲 burr.因其要斷

不斷,而且粗糙,若不將之去除,可能造成通孔不良及孔小,因此鑽孔後會有 de-burr 製程.也有 de-burr 是放在 Desmear 之後才作業.一般 de-burr 是用機器刷磨,且會加入超音波及高壓沖洗的應用.可參考表 4.1.

7.2.2. 除膠渣 (Desmear)

A.目的:

- a. Desmear
- b. Create Micro-rough 增加 adhesion

B. Smear 產生的原因:

由於鑽孔時造成的高溫 Resin 超過 Tg 值,而形成融熔狀,終致產生膠渣。
此膠渣生於內層銅邊緣及孔壁區,會造成 P.I.(Poor Interconnection)

C. Desmear 的四種方法:

硫酸法(Sulfuric Acid)、電漿法(Plasma)、鉻酸法(Cromic Acid)、高錳酸鉀法(Permanganate).

- a. 硫酸法必須保持高濃度,但硫酸本身為脫水劑很難保持高濃度,且咬蝕出的孔面光滑無微孔,並不適用。
- b. 電漿法效率慢且多為批次生產,而處理後大多仍必須配合其他濕製程處理,因此除非生產特殊板大多不予採用。
- c. 鉻酸法咬蝕速度快,但微孔的產生並不理想,且廢水不易處理又有致癌的潛在風險,故漸被淘汰。
- d. 高錳酸鉀法因配合溶劑製程,可以產生微孔。同時由於還原電極的推出,使槽液安定性獲得較佳控制,因此目前較被普遍使用。

7.2.2.1 高錳酸鉀法(KMnO₄ Process):

A.膨鬆劑(Sweller):

a. 功能:軟化膨鬆 Epoxy,降低 Polymer 間的鍵結能,使 KMnO₄ 更易咬蝕形成 Micro-rough 速率作用 Concentration

b. 影響因素: 見圖 7.1

c. 安全:不可和 KMnO₄ 直接混合,以免產生強烈氧化還原,發生火災。

d. 原理解釋:

(1) 見圖 7.2

初期溶出可降低較弱的鍵結,使其鍵結間有了明顯的差異。若浸泡過長,強的鍵結也漸次降低,終致整塊成為低鍵結能的表面。如果達到如此狀態,將無法形成不同強度結面。若浸泡過短,則無法形成低鍵結及鍵結差異,如此將使 KMnO₄ 咬蝕難以形成蜂窩面,終致影響到 PTH 的效果。

(2) Surface Tension 的問題:

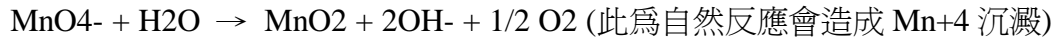
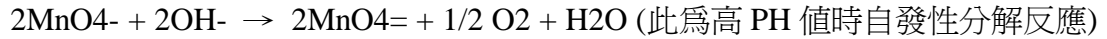
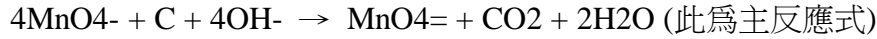
無論大小孔皆有可能有氣泡殘留,而表面力對孔內 Wetting 也影響頗大。故採用較高溫操作有助於降低 Surface Tension 及去除氣泡。至於濃度的問題,為使 Drag out 降低減少消耗而使用略低濃度,事實上較高濃度也可操作且速度較快。

在製程中必須先 Wetting 孔內壁,以後才能使藥液進入作用,否則有空氣殘留後續製程更不易進入孔內,其 Smear 將不可能去除。

B. 除膠劑 (KMnO₄):

a. 使用 KMnO₄ 的原因:選 KMnO₄ 而未選 NaMnO₄ 是因為 KMnO₄ 溶解度較佳,單 價也較低。

b. 反應原理:



c. 作業方式:早期採氧化添加劑的方式，目前多用電極還原的方式操作，不穩定的問題已獲解決。

d. 過程中其化學成份狀況皆以分析得知，但 Mn⁺⁷ 爲紫色, Mn⁺⁶ 爲綠色, Mn⁺⁴ 爲黑色，可由直觀的色度來直接判斷大略狀態。若有不正常發生，則可能是電極效率出了問題須注意。

e. 咬蝕速率的影響因素: 見圖 7.3

f. 電極的好處:

(1).使槽液壽命增長

(2).品質穩定且無 By-product，其兩者比較如圖 7.4:

g. KMnO₄ 形成 Micro-rough 的原因: 由於 Sweller 造成膨鬆，且有結合力之強弱，如此使咬蝕時產生選擇性，而形成所謂的 Micro-rough。但如因過度咬蝕，將再度平滑。

h. 咬蝕能力也會隨基材之不同而有所改變

i. 電極必須留心保養，電極效率較難定出絕對標準，且也很難確認是否足夠 應付實際需要。故平時所得經驗及廠商所提供資料，可加一係數做計算，以爲電極需求參考。

C. 中和劑(Neutralizer):

a. NaHSO₃ 是可用的 Neutralizer 之一，其原理皆類似 Mn⁺⁷ or Mn⁺⁶ or Mn⁺⁴(Neutralizer)->Mn⁺² (Soluble)

b. 爲免於 Pink Ring，在選擇 Acid base 必須考慮。HCl 及 H₂SO₄ 系列都有，但 Cl 易攻擊 Oxide Layer，所以用 H₂SO₄ 爲 Base 的酸較佳。

c. 藥液使用消耗分別以 H₂SO₄ 及 Neutralizer，用 Auto-dosing 來補充，維護。

7.2.2.2 .整條生產線的考慮:

A.Cycle time：每 Rack(Basket)進出某類槽的頻率(時間)

B.產能計算:

$$(\text{Working hours} / \text{Cycle time}) * (\text{Flight Bar} / \text{Hoist}) * (\text{Racks/Flight Bar}) * (\text{SF/Rack}) = \text{SF/Mon}$$

C.除膠渣前 Pre-baking 對板子的影響:見圖 7.5

a.由於 2.在壓合後已經過兩次 Cure，結構會比 1,3 Cure 更完全，故 Baking 會使結構均一，壓板不足處得以補償。

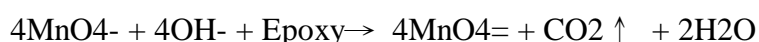
b.多量的氧，氧化了 Resin 間的 Bonding，使咬蝕速率加劇 2~3 倍。且使 1,2,3 區較均一。

c.釋放 Stress，減少產生 Void 的機會。

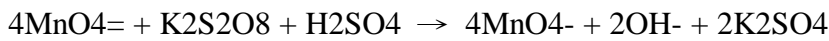
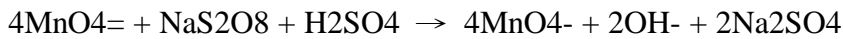
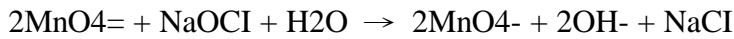
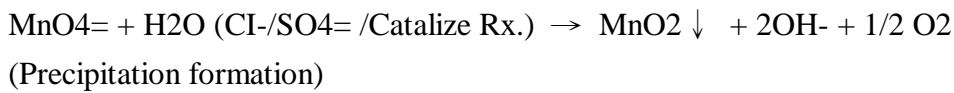
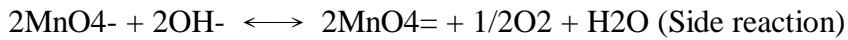
7.2.2.3. 製程內主要反應及化學名稱:

A. 化學反應:

a.主要反應



b. 副反應：



(For Chemical regeneration type process reaction)



(Electrolytic reaction: Need replenish air for Oxygen consumption)

B.化學品名稱：

MnO ₄ ⁻	Permanganate	Na ₂ S ₂ O ₈	Sodium Persulfate
MnO ₄ ⁼	Manganate	S ₂ O ₄ ⁻	Sulfate
OH ⁻	Hydroxide(Caustic)	CO ₂	Carbon Dioxide
NaOCl	Sodium Hydrochloride	MnO ₂	Manganese Dioxide

7.2.2.4.典型的 Desmear Process: 見表

7.2.2.5. Pocket Void 的解釋:

A.說法一:Sweller 殘留在 Glass fiber 中，在 Thermal cycle 時爆開。

B.說法二: 見圖 7.6

a. 壓板過程不良 Stress 積存，上錫過程中力量釋出所致

b. 在膨脹中如果銅結合強，而 Resin 釋出 Stress 方向呈 Z 軸方向，當 Curing 不良而 Stress 過大時則易形成 a 之斷裂，如果孔銅結合弱則易形成 B 之 Resin recession，結合好而內部樹脂不夠強韌則出現 c 之 Pocket void

C. 如果爆開而形成銅凸出者稱為 Pull away

7.2.3 化學銅(PTH)

PTH 系統概分為酸性及鹼性系統，特性依基本觀念而有不同。

7.2.3.1 酸性系統：

A.基本製程：

Conditioner → Microetch → Catalpretreatment → Cataldeposit → Accelerator → Electroless Deposit

B.單一步驟功能說明：

a. 整孔 Conditioner：

1. Desmear 後孔內呈現 Bipolar 現象，其中 Cu 呈現高電位正電，Glass fiber、Epoxy 呈負電

2. 為使孔內呈現適當狀態，Conditioner 具有兩種基本功能

(1)Cleaner：清潔表面

(2)Conditioner：使孔壁呈正電性，以利 Pd/Sn Colloid 負電離子團吸附

3. 一般而言粒子間作用力大小如表

因而此類藥液系統會有吸附過多或 Colloid 過多的吸附是否可洗去之顧慮

4. Conditioner 若 Drag In 至 Activator 槽，會使 Pd⁺離子團降低

b. 微蝕 Microetch

1. Microetching 旨在清除表面之 Conditioner 所形成的 Film

2. 此同時亦可清洗銅面殘留的氧化物

c. 預活化 Catalpretreatment

1. 為避免 Microetch 形成的銅離子帶入 Pd/Sn 槽，預浸以減少帶入

2. 降低孔壁的 Surface Tension

d. 活化 Cataldeposit

1. 一般 Pd 膠體皆以以下結構存在：見圖 7.7

2. Pd²⁺：Sn²⁺：Cl⁻ = 1：6：12 較安定

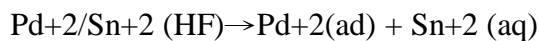
3. 一般膠體的架構方式是以以下方式結合：見圖 7.8 當吸附時由於 Cl 會產生架橋作用，且其半徑較大使其吸附不易良好，尤其如果孔內的 Roughness 不適當更可能造成問題。

4. 孔壁吸附了負離子團，即中和形成中和電性

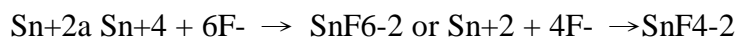
e. 速化 Accelerator

1. Pd 膠體吸附後必須去除 Sn，使 Pd²⁺曝露，如此才能在未來無電解銅中產生催化作用形成化學銅

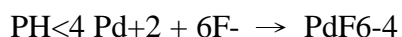
2. 基本化學反應為：



3. 一般而言 Sn 與 Pd 特性不同，Pd 為貴金屬而 Sn 則不然，因此其主反應可如下：



而 Pd 則有兩種情形：



4. Pd 吸附在本系統中本身就不易均勻，故速化所能發揮的效果就極受限制。除去不足時會產生 P.I.，而過長時則可能因為過份去除產生破洞，這也是何以 Back_light 觀察時會有缺點的原因

5. 活化後水洗不足或浸泡太久會形成 Sn²⁺ a Sn(OH)₂ 或 Sn(OH)₄，此易形成膠體膜。而 Sn⁴⁺ 過高也會形成 Sn(OH)₄，尤其在 Pd 吸太多時易呈 PTH 粗糙

6. 液中懸浮粒子多，易形成 PTH 粗糙

f. 化學銅沉積 Electroless Deposit

1. 利用孔內沉積的 Pd 催化無電解銅與 HCHO 作用，使化學銅沉積

2. Pd 在化學銅槽的功能有二：

(1) 作為 Catalyst 吸附 H⁻ 之主體，加速 HCHO 的反應

(2) 作為 Conductor，以利 e⁻轉移至 Cu²⁺ 上形成 Cu 沉積

3. 其基本反應及 Mechanism 見圖 7.9a ; 7.9b：

4. 由於槽液在操作開始時缺少 H₂ 含量，故其活性可能不夠，而且改變溫度也易使槽液不穩定。故在操作前一般先以 Dummy boards 先行提升活性再作生產，才能達到操作要求

5. Bath loading 也因上述要求而有極大的影響，太高的 Bath loading 會造成過度的活化而使槽液不安定。相反若太低則會因 H₂ 的流失而形成沉積速率過低。故其 Max 與 Min 值應與廠商確

認做出建議值

6. 如果溫度過高，[NaOH], [HCHO]濃度不當或者 Pd+2 累積過高都可能造成 P.I.或 PTH 粗糙的問題

g. 整個反應狀態見圖 7.10 所示

7.2.3.2、鹼性系統：

A. 基本製程：

Conditioner→ Etch Cleaner→ Catalpretreatment→ Activator→ Reducer→ Electroless

Copper

B. 單一步驟功能說明

a. Conditioner：Wetting agent + 10 g/l NaOH (A)

1. 以 Wetting agent 的觀念，而非電性中和，如此可形成較薄的 Film 約 300A，且均勻而不致有附著不上或太厚之虞

2. 基本方式係以親水基與疏水基之特有 Dipol 特性使 Wetting agent 被水排擠，快速吸附至孔壁。因其形成之單層膜不易再附上其他 Conditioner 而與 Cleaner 共同作用洗去多餘雜質

3. 其設計是一道酸一道鹼的藥液浸泡，使各種不同來源的板子皆有良好的 wetting 作用，其 Formula：Wetting agent + 10 ml/l H₂SO₄

4. 若水質不潔而含 M+2(如：Ca+2、Mg+2、Fe+2 等)則 Amine 及 Wetting agent 易與之結合而形成沉澱，故水質硬度應特別留意

5. 當板子浸入水中，Cu 正電迅速與 OH-中和而呈負電。而 Dipol 靜電力有限，不致形成多層覆蓋，故無 Over condition 的顧慮

b. Etch cleaner：(SPS 與 H₂SO₄/H₂O₂ 兩種)

基本功能與酸性系列相似(SPS：10g/l)

c. Catalpretreatment)：同 Activator 但少 Complex

d. Activator：Activator + Pd(Amine) complex

1. 基本上此系列的 Pd，是由 Amine 類形成的 Complex，

2. 其特點如下：

(1) Pd(Amine)+2 呈正電荷，可吸附在 Conditioner 上而甚少吸附在銅上，少有 P.I.問題

(2) 沒有 Sn 形成的 Colloid，其粒子較小，結晶較密且少有 Sn(OH)₂、Sn(OH)₄ 析出問題。也沒有 Sn+2 + Fe+2 a Sn+4 +Cu 作用。

(3) 無 Cl-在外圍，由於 Cl-會與 Polyimide 材料產生作用，故無 Cl-會有較廣的適用性

(4) 由於 Pd(Amine)+2 asPd+2+Amine 為一平衡反應，吸附反應十分快，且由於粒子小空隙低因而緻密性佳。

(5) Impurity 少有殘留，且吸附 Pd+2 少，故能有較少 P.I.機會

(6) 由於無 Cl-，對 Black-Oxide 的 attack 相對減少，故 Pink Ring 較輕微

(7) 由於吸附較密，將來作無電解銅時 Coverage 也會較密較好

e. 整個反應狀態見圖 7.11 所示

7.2.4 一次銅(Panel plating)

非導體的孔壁經 PTH 金屬化後，立即進行電鍍銅製程，其目的是鍍上 200~500 微英吋以保護僅有 20~40 微英吋厚的化學銅被後製程破壞而造成孔破(Void)。有關銅電鍍基本理論及實際作業請參看二次銅更詳細的解說。

7.3. 厚化銅

傳統金屬化之化學銅的厚度僅約 20~30 微吋，無法單獨存在於製程中，必須再做一次全板面的電鍍銅始能進行圖形的轉移如印刷或乾膜。但若能將化學銅層的厚度提高到 100 微吋左右，則自然可以直接做線路轉移的工作，無需再一道全板的電鍍銅步驟而省卻了設備，藥水、人力、及時間，並達 簡化製程減少問題的良好目標。因此有厚化銅製程出現，此一方式已經實際生產線上進行十數年，由於鍍液管理困難分析添加之設備需要較高層次之技術，成本居高不下等，此製程已經勢微。

厚化銅的領域又可分為：

A."半加成 Semi-Additive"式是完全為了取代全板面電鍍銅製程。

B."全加成 Fully Additive"式則是用於製造加成法線路板所用的。日本某些商用消費性電子產品用 24 小時以上的長時間的全加成鍍銅，而且只鍍在孔及線路部份。日本之外尚不多見，高雄日立化成數年前尚有 CC-41 製程，目前已關掉該生產線

7.3.1 厚化銅基本觀念

a. 厚化銅也仍然採用與傳統無電銅相似的配方，即仍以銅離子、強鹼、及甲醛做為反應的原動力，但與溫度及其所產生的副產物關係較大。

b. 無電銅因厚度很薄，內應力(inner Stress) 影響不大故不需重視，但厚化銅則必須考慮。也就是說厚化銅與板面銅箔間的附著力也為關鍵，應特別注意其鍍前活化之過程如整孔及微蝕是否完美。控制不好時可能發生孔壁剝離(pull away)及板面脫皮。

c. 厚化銅之外表面能接受油墨或乾膜之附著，所以印刷前儘少做磨刷或其他化學粗化。在阻劑完成轉移後又要能耐得環境的氧化，而且也要耐得最低起碼的活性清洗及活化。

d. 厚化銅主要的目的是既能完成非導體的金屬化同時又可取代一次鍍銅，能夠發揮大量的設備、人力、物料、及操作時間的節省，但化學銅槽本身比傳統的無電銅要貴，管理不易，要利用特定的自動添加設備。

e. 前處理之各製程比傳統 PTH 要更謹慎，原因是化學銅的沉積是靠銅離子在板子上之活化生長點(Active sites)還原出銅金屬並增厚，當此等生長點被銅覆蓋後其他板面上又逐次出現新的生長點再接受銅的沉積，電鍍銅的沉積則不但向上發展，也能橫向延伸。故萬一底材未能在前處理製程中完成良好的活化時則會造成孔破(Hole Void)，而且經過乾膜或印刷後，可能進一步的惡化，終必成為板子品質上極大的隱憂。

7.4 直接電鍍(Direct plating)

由於化學銅的製程中，有很多對人體健康有害的成份(如甲醛會致癌)，以及廢水處理(如有 Chelate)有不良影響的成份，因此早在 10 多年前就有取代傳統 PTH 所謂 Direct Plating(不須靠化學銅的銅當導體)商品出現，至今在臺灣量產亦有很多條線。但放眼國外，除歐洲應用者很多以外，美、日(尤其是美國)並不普遍，一些大的電子公司(如製造電腦、大哥大等)並不 Approve 直接電鍍製程，這也是國內此製程普及率尚低的原因之一。

7.4.1 直接電鍍種類

大致上可歸為三種替代銅的導體

- A. Carbon-碳粉(Graphite 同)
- B. Conductive Polymer-導體高分子
- C. Palladium-鈀金屬

7.4.2 直接電鍍後續製程有兩種方式:

- A. 一次鍍銅後,再做影像轉移及二銅
- B. 直接做影像轉移及線路電鍍

7.4.3 表歸納目前國內已使用中的直接電鍍各商品之分析,供業界參考。

本章中介紹了傳統薄化銅,厚化銅以及直接電鍍等幾種鍍通孔方式,未來製程走勢:

- A. 縮短製程
- B. 減少污染
- C. 小孔通孔能力
- D. 降低成本
- E. 底材多樣化處理能力

而此製程是 PCB 製作的基礎工程,若處理不好影響良率及信賴度因此要仔細評估與選擇何種藥水及設備.

八 外層

8.1 製程目的

經鑽孔及通孔電鍍後,內外層已連通,本製程在製作外層線路,以達電性的完整.

8.2 製作流程

銅面處理→壓膜→曝光→顯像

8.2.1 銅面處理

詳細資料請參考 4.內層製作.

8.2.2 壓膜

8.2.2.1 乾膜介紹

乾膜(dry film)的構造見圖 8.1, 1968 年由杜邦公司開發出來這種感光性聚合物的乾膜後, PCB 的製作就進入另一紀元,到 1984 年末杜邦的專利到期後日本的 HITACHI 也有自己的品牌問世。爾

後就陸續有其他廠牌加入此一戰場。

依乾膜發展的歷史可分下列三種 Type:

- 溶劑顯像型
- 半水溶液顯像型
- 鹼水溶液顯像型

現在幾乎是後者的天下,所以本章僅探討此類乾膜。

A. 乾膜之組成

水溶性乾膜主要是由於其組成中含有機酸根,會與強鹼反應使成爲有機酸的鹽類,可被水溶掉。其組成見圖 8.1 水溶性乾膜最早由 Dynachem 推出,以碳酸鈉顯像,用稀氫氧化鈉剝膜,當然經不斷改進才有今日成熟而完整的產品線。

B. 製程步驟

乾膜作業的環境,需要在黃色照明,通風良好,溫濕度控制的無塵室中操作,以減少污染增進阻劑之品質。其主要的步驟如下:

壓膜—停置—曝光—停置—顯像

8.2.2.2 壓膜(Lamination)作業

A. 壓膜機 壓膜機可分手動及自動兩種,有收集聚烯類隔層的捲輪,乾膜主輪,加熱輪,抽風設備等四主要部份,進行連續作業,其示意圖 8.2

一般壓膜條件爲:

壓膜熱輪溫度	120°±10°C
板面溫度	50±10°C
壓膜速度	1.5~2.5 米/分
壓力	15-40 psi

a. 傳統手動壓膜機須兩人作業,一人在機前送板,一人在機後收板並切斷乾膜,此方式用在樣品、小量多料號適合,對人力、物料的耗用浪費頗多。

b. 自動壓膜機市面上 HAKUTO, CEDAL, SCHMID 等多種廠牌,其機構動作在板前緣黏壓乾膜方式及壓膜後緣切膜動作多有不同,但都朝產速加快,節省乾膜以及黏貼能力上在改進。

c. 國內志勝幾年前開發自動壓膜機頗爲成功國內多家大廠均有使用。

d. 乾膜在上述之溫度下達到其玻璃態轉化點而具有流動性及填充性,而能覆蓋銅面。但溫度不可太高,否則會引起乾膜的聚合而造成顯像的困難。壓膜前板子若能預熱,可增強其附著力。

e. 爲達細線路高密度板之高品質,必須從環境及設備上著手,乾膜之壓膜需要在無塵室中進行(10K 級以上),環境溫度應控制在 23°±3°C,相對濕度應保持 50%RH±5%左右。操作人員也要帶手套及抗靜電之無塵衣帽。

8.2.3 曝光 Exposure

8.2.3.1 曝光機種類

- 手動與自動
- 平行光與非平行光

—LDI 雷射直接曝光

A. 手動曝光機，是將將欲曝板子上下底片以手動定 PIN 對位後，送入機台面，吸真空後曝光。

B. 自動曝機一般含 Loading/unloading，須於板子外框先做好工具孔，做初步定位再由機台上之 CCD，Check 底片與孔的對位狀況，並做微調後入曝光區曝光。依目前的精密須求程度，不以視覺機器自動對位，恐怕做不到好品質的板子。

C. 如何量測及評估曝光機的平行度:

—定義:從平行度(collimate)字面的意思就是使直向行進，而從光的眼光而言則是讓光行進同時垂直於照射面。圖 8.3 是平行光與非平行光之比較。

—平行度的影響:而研判平行直進的方法有兩個值可供參考，平行半角 (Collimate Half Angle)及偏斜(Declination Angle)。此二值可大略判斷 曝光機的平行度及曝光可能造成的側向偏移，也因此若使用非平行曝光機 曝光其影像會有偏料及底部側向顯像的問題。

—量測方法及工具:

一般量測平行度的方法是用一種叫平行度像機(Collimation Camera) 其量測方式是以此工具置於感光紙或感光物上曝光，之後再量偏移度，其示意圖如下 (圖 8.4(a,b)):

D. 非平行光與平行光的差異，平行光可降低 Under-Cut。其差異點，可見圖 8.5，顯影後的比較。做細線路(4mil 以下)非得用平行光之 曝光機。

E. 另有一種 LDI(Laser Direct Imaging)鐳射直接感光之設備與感光方式。是利用 特殊之感光膜 coating 在板面，不須底片直接利用鐳射掃描曝光。其細線可做到 2mil 以內，利用多 beam 方式 18in×24in 的板子，已有號稱曝光時間僅 30 秒。

8.2.3.2 作業注意事項

A. 偶氮棕片的使用

手動曝光因仰賴人目視對位，因此棕片是有必要的，但自動曝光機由機器負責對位所以一般黑白底片即可。棕片的壽命較短

B. 能量的設定

曝光機中有光能量之累積計算器，光量子 (以焦耳或毫焦耳為單位) 是指 光強度 (瓦特或毫瓦特) 與時間的乘積，即

$$\text{mili - Joule} = \text{mili Watt} \times \text{Sec. 焦耳} = \text{瓦特} \times \text{秒}$$

曝光機上有可以調動的光能量數字鍵，並有測光強度之裝置，當設定某一光 能量數字後即可做定能量之曝光，每當光源紫外燈老化而光強度衰減時，該 設定系統即會自動延長時間以達到所需的光能量。定期以 "Photometer" 或 "Radiometer" 做校正工作。

C. Stouffer 21 Step Tablet

Stouffer 21 step tablet 是 IN-process 監測曝光顯像後的條件是否正常，見圖 8.6。它是放於板邊與正常板一樣曝光，停置及顯像後，其 21 格上之乾膜殘留有 顏色漸淡，至完全露銅的變化，最重要視其已顯像及仍殘存板面之交界是落 於第幾格。一般標準是 8~10 格，Follow 各廠牌所給的 Data Sheet。

D. 吸真空的重要

非平行光的作業中，吸真空的程度是影響曝光品質的重大因素。因底片與膜 面有間隙會擴大 under-cut。一般判斷貼緊程度是從光罩上之 Mylar 面出現的 牛頓環(Newton Ring)的狀況，以手碰觸移動，若牛頓環並不會跟著移動，則 表吸真空良好。手動作業，時常作業員尚要以 "刮刀" 輔助刮除空氣，此小動 作事實上極易影響對位及底片的壽命。平行光源則此問題可降至最低。

E. 對位

對於自動曝光機來說，偏位不是不問題，只要評估好設備的製程能力以及維護工作底片的準確度即可，但手動曝光機作業影響對準度的變數就很多：

- <1> PIN 孔大小的選擇
- <2> 上製程通孔電鍍的厚度分析
- <3> 孔位準確度
- <4> 底片套板的方式
- <5> 人目視誤差

上述僅舉常見因素，各廠應就產品層次來提升乾膜作業的製程能力。

F. 靜置

曝光後板子須間隔板置放 10~15 分鐘讓吸收 UV 能量後的 resist Film 聚合更完全。

G. 高強度的 UV 光對細線路而言是十分重要的，因為所有的光阻都含有遮蔽劑 (Inhibitor)，而此遮蔽劑遇 UV 光時會在數秒內大量消耗。因此如果用弱光曝光，則須用較長時間來達到必須的能量，如此有較多的時間讓未見光區的遮蔽劑擴散至曝光區，如此只要有一點折光或散射就會形成聚合，產生殘膠顯影不潔等問題。因此使用強光曝光機有助於細線的製作，有殘膠並不是代表只是顯影不潔或水洗不良的問題。

一般而言 5mW/cm² 能量密度對一般的線路已有不錯的效果，如果要有更佳的解析度則高一些的光強度有助於改善之。

H. 影響解析度的因子互動關係有：(1)曝光時間長短(2)未曝光區遮蔽劑的量 (3)散射折射光的多少。其中第二項是來自供應商的調配較無法調整，第(1)項可考慮控制光強度來改善其品質，第(3)項則使用平行曝光機及加強曝光前真空作業會有幫助。

8.2.4. 顯像 Developing

8.2.4.1 槽液成份及作業條件

溶液配方 1 - 2 %之碳酸鈉 (重量比)
溫度 30 ± 2 °C
噴壓 15 - 20 PSI
水洗 27° - 29°C，水壓 40 PSI
pH 10.5 - 10.7，
Break point 50~70% Auto dosing

8.2.4.2 作業注意事項

A. 顯像是把尚未發生聚合反應的區域用顯像液將之沖洗掉，已感光部份則因已發生聚合反應而洗不掉仍留在銅面上成為蝕刻或電鍍之阻劑膜。注意在顯像前不可忘記把表面玻璃紙撕掉。

B. 顯像點 Break point (從設備透明外罩看到已經完全顯現出圖樣的該點的距離稱之)應落於 50~70%間，不及，銅面有 scum 殘留，太過，則線邊有膜屑或 undercut 過大。最好有自動添加系統 (auto-dosing)。另外噴灑系統設計良否也會影響顯像點。可參考表 8.1(本表僅供參考)

C. 顯像良好的側壁應為直壁式者，顯像不足時容易發生膜渣(Scum) 造成蝕刻板的短路、銅碎、及鋸齒突出之線邊，顯像機噴液系統之過濾不良時也會造成此種缺點。檢查 Scum 的方法可用 5 %之氯化銅溶液(Cupric Chloride CuCl₂) 或氯化銨溶液浸泡，若銅面上仍有鮮亮的銅色時，即可判斷有 Scum 殘留，

D. 顯像完成板子切記不可疊放,須用 Rack 插立.

8.3. 乾膜環境的要求

線路板之細線及高密度要求漸嚴，其成功的契機端賴各種精密的控制。乾膜 轉移影像之精準除了上述各種生產技術外，環境的完善也占有很大的比重。

A. 首先要注意到的是無塵室(Clean Room) 的建立，一般常說的無塵室是以 美國聯邦標準 Fed. STD 209 做為分級的規範，是以每立方呎的空氣中 所含大於 0.5 微米的塵粒之數目(PPCF) 作為分級的，可分為三級，見表

三者間之維護與安裝費用相差極大，class 100 級多用在積體電路(IC) 之晶圓製造上。至於精密線路板之乾膜壓膜及曝光區則 10,000 級已夠。

B. 無塵室品質之控制有三要件，防止外界塵埃之進入、避免內部產生、及清 除內部既有之塵量；需在環境系統上加裝進氣之過濾設備、工作人員穿戴 不易起塵之工作服、鞋、手套、頭罩。室內裝配則應採表面平滑的牆板、 無縫地板、氣密式之照明及公共設施、進出口之 Air Shower，室內送風則 採水平層流(Laminar Flow) 及垂直層流方式以消除氣流的死角，避免塵埃的 聚積。

C. 乾膜區之照明為黃色光源以避免乾膜於正式曝光前先感光，此種黃光波長 必須在 500 nm(nano-meter 為 10 m，或 5000A)，比 500nm 短的光源中含 有紫外線而導致乾膜之局部感光，市面上有金黃色日光燈管出售，在一般 日光燈外加裝橘黃色燈罩也可使用。

8.4 高密度細線路技術

電路板的密度以往主要受限於鑽孔的尺寸，因此似乎線路密度成長的迫切性也就沒有那麼高。細線路由於鑽孔技術的進步及 MCM-L 技術的需求，近來備受重視。而運用傳統的 Tenting & Etching 技術，想作到小於 100 μ m 的線路走十分困難的。Additive process 能降低甚至避免蝕刻的問題，只是必須使用特定的物料與流程，因此在電子封裝領域較少被運用。

A. Additive Process 其銅線路是用電鍍光阻定義出線路區，以電鍍方式填入銅來 達形成線路。此類製程分為 Semi Additive 與 Fully Additive 兩類，Semi Additive 利用壓合薄銅於各類樹脂上，再以電鍍及蝕刻達到形成線路的目的。Fully Additive 則是利用樹脂表面粗化，其後塗布加強黏合層以改善無電銅與板面連 結強度，之後以無電解銅長出線路。典型的線形式 Subtractive/Semi Additive/Fully Additive 示意如下圖：(圖 8.7)

B. 無電解銅在 Additive 製程方面是極為重要的尤其是高品質高選擇性的無電解 銅，是高密度高信賴度板使用該製程的必要條件。然而一般無電解銅析出速率約 為 2~2.5 μ m/Hr 其析鍍時間相對可縮短為 2~4 分之一。

C. 對無電解銅而言，抗鍍光阻的剝離是最嚴苛的問題，由於光阻會操作在 70°C 的 鹼性化學銅液中，介面間的應力及光阻膨鬆是被認為剝離的主要動力。化學銅反 應產生的氫氣，原有的薄氧化銅表層因還原反應而失去鍵結力，都是剝離的可能 原因。

D. 較有效的防止剝離方式可以考慮對表面施以不同的金屬處理。底銅的化學電位相 對於氫為 -600mV，氧化銅相對於氫的還原位為 -355mV，由於還原電位高於電化反 應因此還原反應極易產生剝離。若要保持良好的鍵結力就必須找一個更低電位的 金屬覆於其上以防止反應。Zn/Sn/Ni 都是有機會的金屬，以鋅而言經實驗證明 適當的覆蓋厚度可得到承受浸泡化學銅 40Hr 仍不會剝離的結合效果，其經驗厚 度約為 0.5±0.1mg/cm²，金也是可選擇加強結合力的金屬。

E. 傳統的光阻是以溶劑型為主，但因環保問題而使業界對配方有所調整，加入親水 性物質，光阻可使用水溶液顯影。但一般水溶性光阻由於是鹼性顯影系統，用 化學銅抗電鍍將因親水分子

過多而產生膨鬆問題。因此有新系統發展出來，親水分子調整至最佳狀況後以低鹼性鹽及高揮發點溶劑組合成顯影液，顯影液之最大成份仍為水，如此不會有燃燒的危險。而此光阻劑可承受約 40 小時化學銅浸泡不致有問題，只是光阻難免有溶出物會影響鍍液析出速度及鍍出品質，因此其配方是必須考慮以減少影響為目標。一般負型光阻其本身會吸收光源能量，因此改善光阻透光性以獲得良好筆直的壁面，是光阻改善的方向。有部份光阻已可作到光阻厚度 $76\ \mu\text{m}$ 厚度以下， $30\ \mu\text{m}$ 線寬間距的解析度。

F. 電鍍過程中如何防止雜質顆粒的產生，對細線路而言將是一大課題。對 Semi additive 製程而言，電鍍若先使用高溫鍍銅(化學或電鍍)，再以較冷的鍍錫槽鍍保護層，由於光阻會因熱脹冷縮而在銅線路與光阻頂端產生約 $1\ \mu\text{m}$ 的空隙，因此鍍錫時線邊緣也會大部份被錫鍍上，因此可加強保護效果獲得更好的線路。

G. 薄膜技術也可用於細線製程，一薄層 Cr-Cu 底層金屬以濺鍍鍍於底材上，以 $22\ \mu\text{m}$ 厚的光阻作業，以 Semi additive 製程化學銅浸約 4Hr，去除光阻後由於底層薄膜很薄，因此用 Ion milling 即可，不必作錫保護。

H. Fully additive 是另一種方式，其作業是以 UV 型乾膜式增黏劑(Adhesive)壓覆於樹脂面，UV 聚合後鑽孔粗化再以活化劑(觸媒)覆於表面，其後以光阻定義出備鍍區，為使光阻能抗鹼可用 UV 光將光阻固化，再以化銅填入備鍍區，其後光阻本身也保留成板面的一部份。觸媒一般多用錫鈹膠體，若附以適當厚度既可啓始化銅反應同時能保有一定絕緣電阻。

外層線路之影像轉移至此結束,抽檢通過的板子以 Rack 送至二銅區(線路電鍍)進行下一製程

九. 二次銅

9.1 製程目的

此製程或稱線路電鍍 (Pattern Plating),有別於全板電鍍(Panel Plating)

9.2 製作流程

目前二次銅作業幾乎都是以龍門式自動電鍍線為主,是垂直浸鍍方式,上下料則採手動或自動.設備的基本介紹後面會提及.另外值得一提的是為迎合 build up 新式製程,傳統垂直電鍍線無法達到一些規格如 buried hole, throwing power 等,因而有水平二次銅電鍍線的研發,屆時又將是一大革命.本章仍就傳統負片二次銅流程加以介紹:

銅面前處理→鍍銅→鍍錫(鉛)

9.2.0 Time table(時序圖):

含鍍槽在內,二銅自動電鍍線所設計的槽數,少者 2,30 多者 4,50,輸送掛架的天車 2~3 部,因此必須由程式來控制各槽起落,停滯時間,再由天車執行各 RACK 流程順序等一連串複雜的動作,電鍍時間甚至可控制為設定安培小時,如此各天車就有一時間路線圖稱之 Time Table.拜 PLC 的功能愈來愈進步所賜,利用電腦的人性化介面,在程式的設計上簡便又快速.

9.2.1 銅面前處理

二銅製程之鍍銅前處理皆為 In line process,所以都是化學處理方式,一般的流程為:

脫脂→水洗→微蝕→水洗→酸浸→鍍銅→水洗...

此前處理的重點在於如何將前一製程-外層線路製作-所可能流在板面上的氧化,指紋,輕微scun等板面不潔加以處理,並予以表面的活化使鍍銅的附著力良好.

9.2.2 鍍銅

9.2.2.1 電鍍基礎

A. 法拉第定律

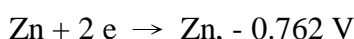
第一定律—在鍍液進行電鍍時,陰極上所沉積(deposit)的金屬量與所通過的電量成正比。

第二定律—在不同鍍液中以相同的電量進行電鍍時,其各自附積出來的重量與其化學當量 成正比。

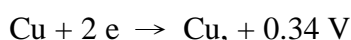
B. 電極電位

當金屬浸於其鹽類之溶液中時,其表面即發生金屬溶成離子或離子沉積成爲金屬之置換可逆反應,直到某一電位下達到平衡。若在常溫常壓下以電解稀酸液時白金陰極表面之氫氣泡做爲任意零值,將各種金屬對"零值極"連通做對比時,可找各種金屬對氫標準電極之電位來(NHE Standard Potential, Normal Hydrogen Electrode)。將金屬及其離子間之氧化或還原電位對 NHE 比較排列而成"電化學次序"(Electrochemical Series)或電動次序(Electromotive Force Series)。

以還原觀點而言,比氫活潑的金屬冠以負值使其排列在氫的上位,如鋅爲-0.762,表示鋅很容易氧化成離子,不容易沉積成金屬,理論上至少要外加 0.762V 以上才能將之鍍出。即:



比氫不活潑者冠以正值,排在氫的下位,如銅之:



愈在下位者愈容易還原鍍出來,也就是說其金屬態在自然情況下較安定,反之在上位者則容易生銹了。

C. 過電壓(Overpotential):

在溶液中的帶電物體在平衡時會存在一定電位值,此電位值稱爲平衡電位(E0):當該物質產生一反應〔不論化學(氧化還原)或物理反應(擴散)等〕時,都必須賦予額外能量,這種 能量在電化學的領域我們稱爲給予的反應電壓叫作"過電壓",其關係可以下式表示:

$$\eta = V(\text{applied}) - E^{\circ}$$

C-1 電鍍的過電壓:

在電鍍過程中電壓主要表現分成下列三項:

$$\eta = \eta_{ct} + \eta_{mt} + IR \text{-----}(1)$$

η_{ct} : Charge transfer overpotential : 電鍍反應的過電壓

η_{mt} : Mass transfer overpotential : 質傳反應的過電壓

IR : 溶液本身的電阻

對電路板而言孔與表面為等位面，因此 $\eta_s(\text{surface}) = \eta_h(\text{Hole})$ ，因此

$$\eta_s = \eta_h = \eta_{sct} + \eta_{smt} + IR_s = \eta_{hct} + \eta_{hmt} + IR_h \text{-----}(2)$$

其中 η_{mt} 表示帶電離子藉 Diffusion 作用通過 Diffusion layer 所造成的電位差，其狀況可以下圖 9.1 表示圖 9.1 顯示的意義為在距離(δ)之外的溶液，其金屬離子濃度可視為定值，其數值與整槽的平均濃度(C)相同。而在一定距離(δ)內，金屬離子濃度會逐漸下降，此一濃度下降的區稱為 Diffusion Layer，而 δ 值即為 Diffusion layer thickness；由於濃度梯度的存在(Concentration gradient)會消耗電能，此即為 Mass transfer overpotential 存在的原因，其大小可以下式表示：

$$\eta_{mt} = (RT/nF) (I/iL) = 0.082(J/JL) \text{-----}(3)$$

其中 J 及 JL 分別代表電流密度及極限電流密度，而極限電流密度 JL 可以表達：

$$JL = (nFD C_b / \delta) = K(C_b / \delta) \text{-----}(4)$$

當系統選定(C_b)操作方式固定(δ)，JL 值相對也就固定。但(δ)值會大攪拌及掛架不同而修正。一般而言，板面因攪拌而(δ)變小；因此 JLS 很大而造成 η_{mts} 低，反之由於攪拌方向多和孔方向垂直；孔內因為金屬離子不易補充及攪拌不佳造成 C_{bh} 偏低及 δ 值偏高，以致 JL_h 偏低 η_{mtL} 偏高($\eta_{mth} > \eta_{mtsL}$)至於 IR 項是溶液電阻形成的電壓降，距離愈長降愈大；一般取板面的 $IR=0$ ，而孔內則為：

$$EIR = (J \cdot L^2 / 2Kd) \text{-----}(5)$$

J : 電流密度 L : 板厚 d : 孔半徑

在一般狀況 $EIR \gg 0$ 而 $\eta_{mth} > \eta_{mtsL}$

因此根據式(2)可知 $\eta_{cth} > \eta_{cts}$ 恆成立，也就是孔內的 Charge transfer potential 永遠小於表面的 Charge transfer potential，而且隨著板厚愈大(即使 Aspect ratio 不變)，兩者差值愈大。

C-2 過電壓與電鍍

在各種過電壓中，真正決定電流密度的是 η_{ct} (charge transfer overpotential)，他與電流密度 有如下圖 9.2 的關係：

圖 9.2 為不同 η_{ct} 時電流度的變化曲線(極化曲線)，其內容如下：

- a. 一般而言當系統被賦予電壓時會相應產生電流，其電流變化一開始時較緩，爾後會呈穩定上升，最後趨向極限電流密度 $J(\text{Limit})$
- b. 上述可穩定增加之區間為可操作 **Range**，但一般為考慮電鍍品質，當選擇 $J/J(\text{Limit})=0.35\sim 0.45$ 為範圍
- c. 當電流密度達到 $J/J(\text{Limit})$ 時，即便再加壓電流密度也不會再上升
- d. 給予電壓因分佈不均而局部過高，則當 η 超過 η_{1*} 時會產生氫氣，造成局部燒焦及低電流效率的缺點
- e. 若外加電壓太高 ($\eta_{ct} > \eta_{2*}$)，則溶液產生大量氫氣並產生金屬粉末

由前述知 $\eta_{cts} = \eta_{cth}$ 成立，則由圖 9.2 知 $J_{cts} > J_{cth}$ 亦成立此即面銅比孔銅厚的原因(Throwing Power $T.P. <= 1$)的主因。而由圖 9.2 可以發現，相同的 η_{cts} 和 η_{cth} 的前題下，Curve(II)所形成的電流密度差 ($\Delta J_2 = J_{cts} - J_{cth}$) 比 Curve(I) 為小 ($\Delta J_2 = \Delta J_1$)，也就是後者(面銅/孔銅)電流密度差較小，因此 Throwing power 較佳；其中

$$T.P. = (J_{cth}/J_{cts}) \text{-----}(6)$$

由上可佑若適當降低極化曲線(Plating curve)的斜率將有助於 T.P.的提升

D. 改善 Throwing power 的方法：

a. 提高 Throwing power 的方法很多，包括：

(1) 降低 η_{cts} 和 η_{cth} 之差值 ($\Delta \eta_{ct}$)：其方法包括：

- 改善攪拌效果
- 降低 IR 值，包括提高酸度及加入導電鹽
- 強迫孔內對流(降低 IR)
- 添加改變 Charge transfer 能力之添加劑包括載體光澤劑等

(2) 修正極化曲線：如之前所提藉降低極化曲線的斜率降低 ΔJ

b. 修正極化曲極化曲線的方法：

(1) 降低金屬離子濃度：

基本上過電壓就是賦予帶電離子反應所需能量，以驅使反應進行。因此離子愈少則要維持定 量離子在 定時間內反應之難度愈高，因此必須給予較大能量。其結困即使得 J- η 曲線愈平 (見圖 9.3)，由圖上 可得幾項推論：

- CuSO₄ 濃度愈低，Throwing power 愈好
- 上述結果也可推論到二次銅電鍍線路不均的板子，其 Distribution 也將改善
- 必須強調的是隨 CuSO₄ 降低，相同電路密度下所消耗的能量更大
- 降低金屬離子另外衍生的問題將在後面討論

E. Additive(添加劑)：見圖 9.4

a. 基本上電鍍的 Additive 可分兩大類：

- 導電鹽：多為無機鹽類，用以降低 IR
- 修正極化曲線：多為有機物

b. 就 Additive 加入對極化曲線之影響討論如下：

有機 Additive 加入會吸附在被鍍物上形成一孔狀的 Film,有阻絕作用以致極化曲線 Shift,

使得 ΔJ 由 ΔJ_1 降為 ΔJ_2 因而改良 T.P.($T.P.=1-(\Delta J/ J_s)$)

有機 Additive 一般多為分子較高的分子，其 Diffusion 不易，故一般多在表面沉積，造成表面所吸附的 Additive 比孔內多，以致孔內和表面極化曲線不一致，使對應的 J 值產生變化， ΔJ 再由 ΔJ_2 降到 ΔJ_3 ，T.P.因此再度提高 Additive 之加入，由於表面吸附作用，有其一定值及"邊際效用遞減"的作用。當完全沒有時加入少量即影響甚大，其後再加 改變效果逐漸降低，最後會出現多加無益反而有害的現象。

F. 低銅濃度鍍液的評估

a.. 主要考慮項目包括：

a-1.操作的電流密度範圍：

一般而言極限電流密度和濃度存在下列關係：

$$J \text{ limit}=a+bCb$$

Cb：鍍液濃度 a,b：為常數，以 CuSO₄ 鍍液而言存在如下關係：

$$J \text{ limit} = 1.8+1.34 Cb \text{ ----- (7)}$$

而一般實際電鍍的電流密度範圍則為以下關係：

$$J/J \text{ limit} = 0.35\sim 0.40 \text{ ----- (8)}$$

根據上述加以整理則有如表之結果—不同銅含量下之 J limit 與 J 之值

由表可知低銅鍍液操作範圍因而下移且縮小，此為設計上必須注意的事。一般而言 若電流密度超過上限，易導致 T.P.下降或銅粗的現象，若太低則易造成白霧現象。

a-2. Cu+2 累積的問題：

在長期 Running 的過程中，難免因電流效率無法維持 100%而導致 Cu+2 濃度上升；其影響如下：

—濃度上升造成 Operation range 上移，導致原設計之 J 值在新濃度中偏下限操作而導致 白霧現象.

—濃度上升導致極化曲線動以 T.P.下降

—濃度上升使原先的 Additive 不適用而導致電鍍品質惡化必需說明的是這些現象在任何鍍液中都存在，但在低金屬濃度鍍液中特別明顯

b. 反應時間的改變

直覺上認為電流密度下降導致電鍍時間加長，其實並不盡然，因為其中有 T.P.的修正效應。表為鍍 1mil 孔 銅厚度前題下，不同 T.P.所需反應時間計算。

由上表可看出：

—若原有電鍍系統之 T.P.很高，則降低 J 值提高 T.P.值的貢獻有限。因此使用低銅系統無法 縮短電鍍時間。也就是 Aspect ratio 低或板厚低時此作法浪費時間降低產能。

—若 Aspect ratio 高或原有板厚大，則 T.P.偏低，此時若能藉著降低電流密度改善 T.P.，則 在某範圍內可縮短電鍍時間。

—若電流密度太低，即使提高 T.P.，也會造成電鍍時間增加

c. Additive 的考慮

一般 Additive 多為有機物；利用該物質吸附在電極表面形成多孔性薄膜形成電鍍 Gap，造成極化曲線偏移，達到提高 T.P.及改善 distribution 的目的。一般而言 Additive 在低電流區吸附效果較差，故易形成白化問題；若欲提高低電流區的效果，一般採用分子量大的吸附力較強的 Additive，而此類物質存在下列問題：

—吸附力強易在鍍層中殘留，形成鍍層的 Occlusion，導致銅層易 Crack 及降低導電性

—分子量大的東西在操作中易老化分解，因此要注意添加及定期活性碳處理

—分子量大的物質多半電性較弱，在溶液中不易 Migration 吸附在陰極。

為修正此一特性，分子量大的 Additive 化合物本身多具有水合性強的官能基(Functional

group)。此類物質在分子量小時仍可以活性處理方式法除更新；但若分解為小分子時，會因水合性太高去除困難而必須 Dump 藥液。

爲了提高 T.P.，一般 Additive 多朝向大分子量介面活力強的分子發展。在此狀況下，上述三種缺點會逐漸呈現影響，在評估細線厚板及高 Aspect ratio 板子鍍液時必須留意。

d. 板厚的影響

一般電鍍在考慮 T.P.時多考慮 Aspect ratio，但事實上板厚的絕對值也是一項重要因素。

9.2.2.2 鍍銅

A. 前言

非導體的孔壁在 PTH 金屬化而鍍上一層薄無電銅後，立即進行電鍍銅。電路板以銅爲主要導體，是因銅：

- 高導電度(electrical conductivity)
- 高強度(strength)
- 高延展性(ductility)
- 低成本

而且鍍銅液配槽簡單，後製程蝕刻亦是輕而易舉，再加上廢液(硫酸銅)處理容易，因此銅被大量使用。裝配由傳統的波焊(Wave Soldering)改成由錫膏(Solder Paste)或樹脂膠類之定位，使得孔中不再進行灌錫，由孔銅負起導電的任務，因此對鍍銅的品質要求更嚴苛。而小孔徑勢之所趨，使得孔壁的縱橫比(Aspect Ratio)值愈來愈大，而今 Build-up 製程帶來更大的挑戰，如兩面盲孔等，鍍液及電流都不易深入而必須設法改善使技術升級。以下探討鍍銅的現況及趨勢

B. 鍍銅的演進

a. 傳統式硫酸銅

這是屬高銅低酸的傳統銅液，其分佈力(Throwing Power)很不好，故在板面上的厚度分佈很不均勻，而且鍍層呈柱狀組織(Columnar)，物理性質也很不好，故很快被業界放棄。

b. 高分佈力硫酸銅(High Throwing Power)

高分佈力硫酸銅改採高酸量低銅量的方法，從基本配方上著手，改進通孔的特性。但由於添加劑是屬於有機染料類，其在鍍液中的裂解物不但使鍍液的顏色漸變，且使鍍層的延展性的惡化。酸銅液原爲藍色的，經一段時間的操作後竟然會漸漸的轉變成爲綠色，經活性炭處理則又會回到應有的藍色來。爲了要在孔銅上有好的表現，加了較多的平整劑(leveling agent)，使得延伸性(Elongation)

不理想，無法耐得住基板在"Z"方向的膨脹，而常在通孔的肩部或膝部發生斷裂，無法通過美軍規範中的熱應力(Thermal Stress)測試。且對溫度敏感，高電流區容易燒焦、粗糙等毛病，因此也無法為業界接受。

c. 第三代的硫酸銅鍍液

經業者不斷的改進添加劑，捨棄染料系統，而進入第三代的硫酸銅鍍液。此時之銅層性質已大有改善，多能通過漂錫試驗。不管國內外各廠牌，基本的配方都差不多。

第三代硫酸銅雖然能符合目前的市場要求，但產速是一大問題，若要求在板子任何地方的孔壁要達到 1 mil 厚度時，在 25ASF，25°C 的作業條件下，需 60 分鐘以上的電鍍時間，無法應付大量作業。加以近年來線路板的裝配方式起了革命，由傳統式的插孔裝配(DIP) 進步到表面黏著(SMT)，使得線路及孔徑都變得更細更小更密。孔徑變小，縱橫比加大，更不容易讓孔銅厚度符合規格。

d. 鍍銅的最新發展

- 高速鍍添加劑(High speed additive)
- 脈衝電鍍(Pulse plating)
- 藥液快速衝擊(Impinge)設備

C. 作業實務與注意事項

a. 硫酸銅液成份

表是典型常用鍍液成份

b. 各成份及其功能：

— 硫酸銅，是供給槽液銅離子的主源，配槽時要用化學級之含水硫酸銅結晶溶解使用，平時作業中則由陽極磷銅塊解離補充之。配液後要做活性炭處理(Carbon treatment)及假鍍(Dummy plate)。

— 硫酸，要使用試藥級的純酸，硫酸有導電及溶解陽極的功用，日常操作中銅量因吹氣的氧化作用使陽極膜的溶解增加，故液中的銅量會漸增而酸量會漸減，要逐日作分析以維持其酸與銅之重量比在 10:1 以上以維持良好的分佈力。鍍液在不鍍時要關掉吹氣，以防銅量上升酸量下降及光澤之過度消耗。

— 氯離子，有助陽極的溶解及光澤劑的發揮功能，使陽極溶解均勻，鍍層平滑光澤。氯離子正常時陽極膜呈黑色，過量時則變成灰白色，配液及添加用的水一定要純，不可用自來水，因其加有氯氣或漂白粉(含次氯酸鹽)會帶入大量的氯離子。

— 陽極，須使用含磷 0.02-0.06% 的銅塊，其面積最好為陰極的兩倍。

— 添加劑，主要有光澤(Brightner)、整平(Leveller)、載體(Carrier)、潤濕劑(Wetter) 等功能，用'安培-小時'添加補充。

c. 操作及設備：

— 整流器與陰陽極

提供電流的整流器與陰、陽極間的配線方式非常重要

1. 配線的銅軸直徑:此和每隻 Fly-bar 須要電流及拉線距離有關
2. 最好陰陽極桿的兩端都有配接,可使電流分布均勻.
3. 參考圖 9.5(a.b)

— 陽極,陽極鈦籃與陽極袋

1. 捨棄以前扁平型的,改為長條型以方便調整位置與數量.
2. 陽極的長度要比陰極的掛架要短,以減少掛架下端高電流區之燒焦。見圖 9.6(a.b),至於短多少則要視陰陽極距,槽深,掛架,攪拌方式等實施狀況而定.
3. 陽極袋可用 PP 材質,用以前要稀硫酸浸一段時間
4. 正常的陽極膜是黑色的,若呈棕色時表陽極中含磷不夠,呈銀灰色時表液中氯離子太多而成了氯化銅。但這只是一般判斷尚須槽液分析輔助.
- 5 陽極袋的功用在防止陽極膜屑,碎銅粒掉落槽中,更換頻率約一年四次,但只要發現 有破得馬上換掉.

— 過濾及吹氣

1. 過濾:一則使鍍液流動,再則使浮游物被濾掉,其過濾速度應每小時至少使鍍槽全部鍍液能循環 3 次,當然速度愈大愈能降低 diffusion layer 的厚度有利電鍍。濾心要在 5 微吋以下之密度,以達清潔之目的。
2. 吹氣管放置在陰極板的正下方兩排向下 45°吹氣,見圖 9.7 除降低 diffusion layer 的厚度,加速離子的補充,更可以幫助光澤發揮作用。

— 擺動與震動

擺動與震動的目的也在縮小 diffusion layer,並使孔內不殘留氣泡..

— 溫度

第三代硫酸銅要在 25°C 左右操作最好,溫度高了會造成添加劑的裂解,不但用量增加而且造成污染非常不利。故在本省之亞熱帶氣候夏天需要冷凍降溫。但鍍液低於 15°C 以下時會造成導電不良,效率降低,故到了冬天後又要做加溫的設施,以減少因低溫而造成的粗糙、無光澤甚至燒焦。

— 安培小時自動添加

此部份已屬標準配備

d. 維護及管理：

—日常管理:槽液之日常操作可在一個過濾機中加裝活性濾心，使裂解的有機物得以吸附使鍍層能保有良好的性能。此種日常輕度的處理可延長鍍液的壽命，減少 carbon treatment 的頻率。

—分析及補充:要每日對銅濃度、硫酸濃度及氯離子含量做化學分析，再根據實際結果做調整,須注意做長期趨勢分析以判斷有否操作異常,或設定 條件有誤.

—光澤劑的補充分析:

1. 安培小時自動添加
2. 用哈氏槽(hull cell)模擬實驗
3. CVS 分析

9.2.3 鍍錫鉛

9.2.3.1 前言

二次銅後鍍錫鉛合金的目的有二：

- a. 蝕刻阻劑，保護其所覆蓋的銅導體不會在鹼性蝕銅時受到攻擊。
- b. 裝配焊接，須再經 IR 重熔,目前多已不使用.

由於鉛對人體有頗大的為害,廢液處理不便宜因此純錫電鍍已漸取代傳統錫鉛.

9.2.3.2 鍍液配方及其操作

A. 標準型配方(Standard Bath)

陽極組成（60%錫，40%鉛）與陰極之面積比為 1/2，攪拌要做陰極桿往復式機械攪拌，及連續過濾。

B. 高分佈力鍍液(High Throwing Power Bath)

其他攪拌、過濾、及陽極與標準液相同

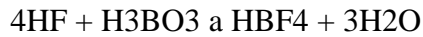
高分佈液與標準液最大的不同在金屬濃度的大量降低，但同時都大大 提高游離氟硼酸量，使板子上不會因電流密度相差太大而引起鍍層厚度的 懸殊差異，高分佈液因金屬含量低了在配液成本及板子作業帶出也因之降低，對於廢水 的負擔也相形減輕。

C. 原理及操作

各個成份功能表

a. 錫鉛槽以氟硼酸系為主，調配藥液成份可得不同的錫鉛比例，從 0% 至 100% 的組成都 可能，離子來源是氟硼酸錫及氟硼酸鉛在鍍液中水解而成二價錫離子及二價鉛離子。

b. 游離氟硼酸在鍍液中，主要功用則是陽極的溶解，增加導電度並能抑制錫鉛鹽類的分 解，尤其是阻止二價錫氧化成爲四價錫，又能幫助鍍層晶元的細膩化，扮演著重要的 角色。氟硼酸是由 氫氟酸及硼酸二者反應而得：



但此爲可逆反應會再水解而成爲 HF 及 H₃BO₃ 的，因此槽液中要掛一內裝硼酸的 PP 布袋，以抑制氟硼酸的水解。

c. 添加劑中以蛋白棟 Peptone 最常用。蛋白棟 Peptone 是一種蛋白質水解成胺基酸的過程 的產物 多由牛肉或牛膠在酸中水解所製成；用於電鍍時多加有防腐劑以防細菌所敗 壞。其在鍍液是扮演 一種使鍍層晶粒細膩化，抑制高電流區長樹現象(Treeing)，並增 加並增加鍍液的分佈力，其含量以 5-6g/l 爲宜。蛋白棟不易用簡單的方法分析，需用到 哈氏槽試驗作爲判斷的方法

d. 鍍槽不用吹氣攪拌以免產生氧化四價錫沉澱，若前製程帶入硫酸根則會和鉛形成不溶 性硫酸 鉛沉澱，一般處理的方式是在槽前加一槽氟硼酸浸漬，如此既可防止雜物攜 入又可防止過多的水 引入後所造成的水解問題

e. 爲焊接而作的鍍層仍以錫鉛爲多，最常被要求的電鍍錫鉛組成是 40%鉛 60%錫。一般 在兩金屬 間會產生介面金屬(IMC)，對銅錫而言有 Cu₃Sn 的 ε phase 及 Cu₅Sn₆ 的 η phase，前者出現是焊 錫性不利的表徵，後者是焊接之初焊接良好的產物。

f. 因環保問題，錫鉛組成穩定度問題，很多使用者已改採純錫作爲電路板抗蝕金屬。純 錫製程後 面會提及。

9.2.3.3 純錫電鍍

A. 鍍純錫是一種極容易且廣泛應用於特定用途的電鍍，由於錫的 High throwing power， 因此即 使特殊形狀有凹孔的鍍件，也不需要特殊形狀的陽極來改善其電鍍分布

B. 商業化的錫鍍槽目前有四種，各爲氟硼酸錫、酸鉀及鹵化錫氟

C. 硼酸錫槽：一種不太需要控制的槽液，陰陽極效率多到達近 100%，一般的錫電鍍在氟 硼酸槽 中錫爲+2 價，而在錫酸鹽槽中錫爲+4 價，因此電鍍速率有兩倍的差距，操作 溫度約爲 32~54°C

D. 光澤系統可用的有多種，如：蛋白質(Peptone)、白明膠(Gelatin)、β-Naphthol、鄰苯二酚 (Hydroquinone)等

E. 錫槽原則上不加空氣攪拌，以免產生錫氧化而生成白色沉澱，實務上錫陽極電流密度 以不超 過 25ASF 爲原則，以免因錫溶解過快而使槽內錫濃度增高。

9.2.3.3 污染的影響

錫鉛鍍液最容易引起污染的金屬雜質就上游流程的銅，而影響錫鉛鍍層性質及其裝配時之可焊性最大者也是銅。錫鉛鍍液中只要銅染濃度超過 20PPM 時鍍層立即會反映出各種不良的徵狀，現分述於後：

A. 鍍面由原來正常的淺灰色變成昏暗之深灰色，若用哈氏槽印證時，在 267 ml 小槽中在無攪拌之靜止鍍液中以 1 安培鍍 10 分鐘後，在黃銅試片右緣低電流密度處會發現明顯變黑的情形即為銅污染之明證。

B. 銅污染會引起鍍液中二價錫的氧化成爲四價錫，並使陽極產生較多的鈍層膜，甚至引起鍍層中有氧化鉛的存在，因而造成重熔的困難，會產生重熔後表面的砂礫狀，錫面不平(dewet)以及許多小坑陷(pimpling)幸好此種無法避免的銅污染可用低電流假鍍法可以除去，其做法是定時用折摺狀的不銹鋼板當成陰極假鍍板，以 1-3 ASF 去鍍幾小時就可以除掉。

C. 除了銅之外其他也會有銀、鋅、鎳、等都可能存在陽極中及來自環境中鐵等的污染，幸好此等微量的金屬污染尚不致造成焊性的惡化，但若含量過多時也會影響鍍液的分佈力及鍍層之組成，不過此等金屬都比錫鉛來的活潑，在酸性溶液中容易被折鍍出來，也就是可用假鍍方式除掉。

D. 鍍液中除了金屬污染外就是有機污染了，當然其大量是來自蛋白的裂解物，應定時用活性炭處理除掉。

9.3 小孔或深孔鍍銅

電路板的裝配日趨緊密，其好處不外減少最後產品的體積及增加資訊處理的容量及速度。對板子而言細線及小孔是必然要面對的問題。就小孔而言，受衝擊最大的就是鍍銅技術，要在孔的 Aspect Ratio 很高時，既要得到 1 mil 厚的孔壁，又不發生狗骨現象，而且鍍層的各種物性又要通過現有的各種規範，其中種種需待突破的困難實在不少。以下是一些對應的方式

A. 選擇高純度的特定助劑，如特殊的整平劑使在高電流處抑制鍍層增加，使低電流處仍能有銅正常登陸，並嚴格分析、小心添加、仔細處理以保持鍍液的最佳效果。

B. 改變鍍槽的設計，加大陰陽間的距離，減少高低電流密度之間的差異。

C. 降低電流密度至 15ASF 以下，改善整流器出來直流的紋波量(Ripple)至 2% 以下。若不行時將電流密度再降低到 5ASF，以時間換取品質。

D. 增強鍍液進出孔中的次數，或稱順孔攪拌，此點最爲重要，也最不容易解決，加強過濾循環每小時至少 2 次，或增加超音波攪拌。

E. 不要增加銅的濃度但要增大硫酸與銅的濃度比值，至少要 10/1 以上。

F. 助劑添加則應減少光澤劑用量，增加載體用量，並用安培小時計管理添加，定時用 CVS 分析助劑之裂解情形。

G.試用脈波電流(Pulse Plating)法，以減少面銅與孔銅之間的差異，並增加銅層的延展性，並能以不加添加劑的方式使鍍層得以整平。

9.4 水平電鍍

水平電鍍方式加上脈波整流器應是徹底克服小孔,高縱橫比,細線等極高密度板子電鍍瓶頸,panel plating 已不是問題,pattern plating 若能成功,對業界造福更大.

欣見國內 PIOTEC(造利)耕耘此領域多年,目前品質技術已不輸國外業者.表 9.5 是水平電鍍與垂直電鍍比較,從中當可看出其重要性.

當然水平電鍍仍有待改善之處,如導電方式之選擇,非溶解性陽極所帶來之藥液補充維持之問題等.希望業者多加把勁,在此領域能獨步全球.

二次銅製程介紹至此告一段落,下一製程是蝕刻(剝膜→蝕刻→剝錫鉛).

十 蝕刻

10.1 製程目的

將線路電鍍完成從電鍍設備取下的板子,做後加工完成線路:

- A. 剝膜:將抗電鍍用途的乾膜以藥水剝除
- B. 線路蝕刻:把非導體部分的銅溶蝕掉
- C. 剝錫(鉛):最後將抗蝕刻的錫(鉛)鍍層除去 上述步驟是由水平連線設備一次完工.

10.2 製造流程

剝膜→線路蝕刻→剝錫鉛

10.2.1 剝膜

剝膜在 pcb 製程中,有兩個 step 會使用,一是內層線路蝕刻後之 D/F 剝除,二是外層線路蝕刻前 D/F 剝除(若外層製作為負片製程)D/F 的剝除是一單純簡易 的製程,一般皆使用連線水平設備,其使用之化學藥液多為 NaOH 或 KOH 濃 度在 1~3% 重量比。注意事項如下:

A. 硬化後之乾膜在此溶液下部份溶解,部份剝成片狀,為維持藥液的效果及後水洗能徹底,過濾系統的效能非常重要.

B. 有些設備設計了輕刷或超音波攪拌來確保膜的徹底,尤其是在外層蝕刻後的剝膜,線路邊被二次銅微微卡住的乾膜必須被徹底剝下,以免影響線路品質。也有在溶液中加入 BCS 幫助溶解,但有違環保,且對人體有害。

C. 有文獻指 K(鉀)會攻擊錫,因此外層線路蝕刻前之剝膜液之選擇須謹慎評估。剝膜液為鹼性,因此水洗的徹底與否,非常重要,內層之剝膜 後有加酸洗中和,也有防銅面氧化而做氧化處

理者。

10.2.2 線路蝕刻

本節中僅探討鹼性蝕刻,酸性蝕刻則見四 內層製作 10.2.2.1 蝕銅的機構

A. 在鹼性環境溶液中,銅離子非常容易形成氫氧化銅之沉澱,需加入足夠 的氨水使產生氨銅的錯離子團,則可抑制其沉澱的發生,同時使原有多 量的銅及繼續溶解的銅在液中形成非常安定的錯氨銅離子,此種二價的 氨銅錯離子又可當成氧化劑使零價的金屬銅被氧化而溶解,不過氧化還 原反應過程中會有一價亞銅離子)出現,即

此一反應之中間態亞銅離子之溶解度很差,必須輔助以氨水、氨離子及空氣中大量的氧使其繼續氧化成爲可溶的二價銅離子,而又再成爲蝕銅的氧化劑週而復始的繼續蝕銅直到銅量太多而減慢爲止。故一般蝕刻機之抽風除了排除氨臭外更可供給新鮮的空氣以加速蝕銅。

B. 爲使上述之蝕銅反應進行更爲迅速,蝕液中多加有助劑,例如:

- a. 加速劑 Acceletator 可促使上述氧化反應更爲快速,並防止亞銅錯離子的沉澱。
- b. 護岸劑(Banking agent) 減少側蝕。
- c. 壓抑劑 Suppressor 抑制氨在高溫下的飛散,抑制銅的沉澱加速蝕銅的氧化反應。

10.2.2.2 設備

A. 爲增加蝕速故需提高溫度到 48°C 以上,因而會有大量的氨臭味瀰漫需做適當的抽風,但抽風量太強時會將有用的氨也大量的抽走則是很不 經濟的事,在抽風管路中可加適當節流閥以做管制

B 蝕刻品質往往因水池效應(pudding)而受限,(因新鮮藥液被積水阻撓,無法有效和銅面反應稱之水池效應)這也是爲何板子前端部份往往有 over etch 現象, 所以設備設計上就有如下考量:

- a. 板子較細線路面朝下,較粗線路面朝上。
- b. 噴嘴上,下噴液壓力調整以爲補償,依實際作業結果來調整其差異。
- c. 先進的蝕刻機可控制當板子進入蝕刻段時,前面幾組噴嘴會停止噴 灑幾秒的時間。
- d. 也有設計垂直蝕刻方式,來解決兩面不均問題,但國內使用並不多 見.目前國內有科茂公司之自製垂直蝕刻機使用中。

10.2.2.3 補充添加控制

A. 操作條件如表

B. 自動補充添加 補充液爲氨水,通常以極爲靈敏的比重計,且感應 當時溫度(因不同溫度下 比重有差),設定上下限,高於上限時開始添加氨水,直至低於下限才停止.此 時偵測點位置以及氨水加入之管口位置就非常重要,以免因偵測 delay 而 加入過多氨水浪費成本(因會溢流掉)

10.2.2.4 設備的日常保養

A. 不使蝕刻液有 sludge 產生(淺藍色一價銅污泥),所以成份控制很重要一尤 其是 PH,太高或太

低都有可能造成.

- B. 隨時保持噴嘴不被堵塞.(過濾系統要保持良好狀態)
- C. 比重感應添加系統要定期校驗.

10.2.2.5 Undercut 與 Overhang

見圖 10.1

10.2.3 剝錫(鉛)

不管純錫或各成份比的錫鉛層,其鍍上的目的僅是抗蝕刻用,因此蝕刻完畢後,要將之剝除,所以此剝錫(鉛)步驟僅為加工,未產生附加價值.但以下數點仍須特別注意,否則成本增加是其次,好不容易完成外層線路卻在此處造成不良.

A.一般剝錫(鉛)液直接由供應商供應,配方有多種有兩液型,也有單液型,其剝除方式有半溶型與全溶型,溶液組成有氟系/H₂O₂,HNO₃/H₂O₂ 等配方.

B.不管何種配方,作業上有以下潛在問題:

- a.攻擊銅面.
- b.剝除未盡影響後製程.
- c.廢液處理問題 .

所以剝錫(鉛)步驟得靠良好的設備設計,前製程鍍錫(鉛)厚度控制及藥液藥效的管理,才可得穩定的品質.

外層線路製作完成之後,進行 100% 檢測工作.

(上集完)

西北人原创整理并提供在中国 PCB 论坛网

中国 PCB 技术网制作 PDF 文件

<http://www.pcbtech.net>

<http://www.pcbbs.com>

<http://www.pcber.net>

<http://www.pcbtrade.com>

2005-3-21