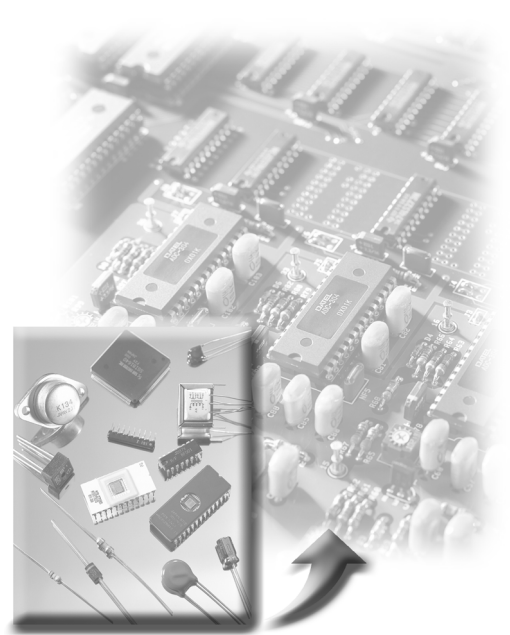


印刷電路板 (I)



印刷電路板 (printed circuit board, PCB) 自 1936 年英國的 Eisler 提出，並於 1948 年取得專利迄今，已有近 50~60 年的歷史。時至今日，印刷電路板已經成為所有電子產品中，不可或缺的一部份。國內的印刷電路板工業，從 1966 年美國安培公司來臺設廠開始。經過近 40 年的發展，如今已成為全世界的印刷電路板工業重鎮。印刷電路板廠家主要分佈於桃園附近之北部，華通、南亞、欣興等是國內外知名的大廠。國內之印刷電路板業除了下游的電子產品廠家十分活躍外，供應其生產所需的設備、化學品、基板等廠家皆具一定之規模。雖然印刷電路板產業，這幾年來有著明顯之外移，於國內之新投資案較少，但印刷電路板業仍是台灣上下游最完整，且最具影響力的產業之一。這可以從台灣電路板協會 (Taiwan Printed Circuit Association) 所舉辦的台灣電路板國際展覽會 (TPCA show)，吸引到全球知名的廠商與上下游相關客戶齊聚一堂的熱鬧景象得到證實。

如圖 9.1 所示，印刷電路板的結構是在絕緣的材料上，疊著銅箔的導電層。而銅箔又依設計的電路，製作成一定的圖案。在工業的生產分工上，稱為印刷電路板業的工業，通常並不生產其所須的基板；印刷電路板業向基板廠採購不含線路的基板，然後再於基板上製造出所需之線路。與積體電路業做比較，生產印刷電路板業所需基板的基板工業，可以說是類似於矽晶圓材料工業；而印刷電路板工業，則類似於電路設計業、積體電路業與封裝業之加總，因為其包含了線路設計、製造與其線路之保護。印刷電路板之生產主要是配合顧客訂單之需求而來，而且其線路亦因產品與

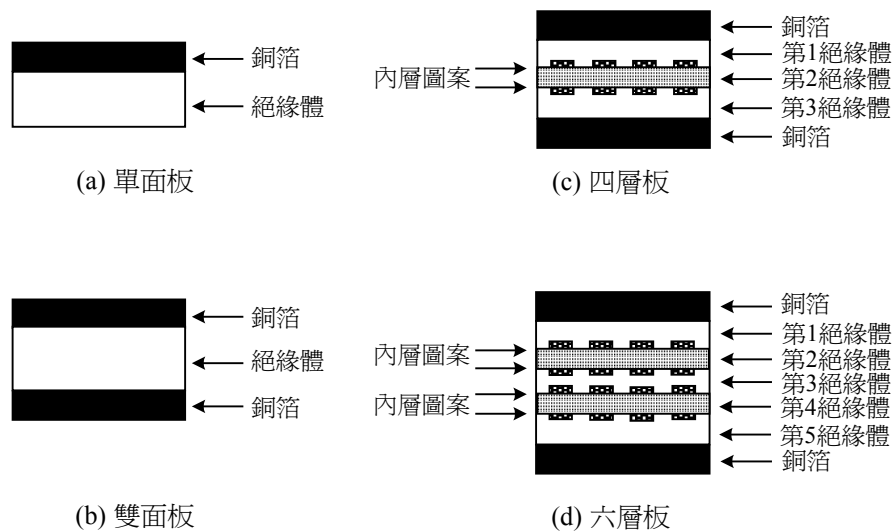


圖 9.1

顧客之不同而亦會有所不同，因此很難先預作一批供下一位之顧客使用。印刷電路板在台灣之蓬勃發展，除了其上下游結構之完整外，此產業具有依訂單生產、無法庫存、生產線須靈活，且須一定水準之技術人員之特色，恰好非常適合台灣企業之型態亦是主要原因之一。

印刷電路板主要分為**硬式印刷電路板 (rigid PCB)** 與**軟性印刷電路板 (flexible PCB, FPC)** 二種，其二者之不同主要在於基板可撓性之差異，而此差異之主要原因又在於其絕緣的基板是否有加強材。基板可撓性低者為硬式印刷電路板，其絕緣材除了樹脂外具有纖維等強化材料，而沒有加強材者、可撓性佳者為軟性印刷電路板。在一般之應用上以硬式印刷電路板為大宗，軟性印刷電路板則主要使用在須撓屈或空間限制較多之特定用途上。印刷電路板的導體層，為由電鍍製程所得之電鍍銅箔。印刷電路板依其銅箔層的多寡，可以分為單面板、雙面板與多層板。作為絕緣的材料，主要有紙基板與玻璃纖維強化的環氧樹脂基板。前者較常應用於單面板，而 FR-4 則較常用於雙面板與多層板。有關於印刷電路板相關材料的討論，將於下一章中進行，本章將主要介紹印刷電路板線路的製作。

以雙面板之製作為例，其流程主要有裁板、鑽孔、化學鍍銅、一次鍍銅、上光阻劑、曝光、顯影、二次鍍銅、鍍錫鉛、去光阻劑、蝕刻、剝錫

鉛與上保護層。至於多層板的製作，除了上下的板面外，主要是先做好內層線路的雙層板。這種內層板的厚度，通常是比一般雙面板的厚度薄很多。再將內層板間加入中間板，與加上最外層上下的板面，經疊壓而成。所以多層板的製程技術，很大的部份是雙面板技術的延伸。單面板的製作則較為簡單，因為其線路僅存在單一之銅箔上。比起雙面板與多層板而言，單面板不須考慮到不同銅箔層間電訊連通之問題，因此也就沒有如何製作層間導孔之需要，所以其生產流程僅包含了裁板、線路製作（曝光、顯影）與上保護層等主要動作。裁板、鑽孔等屬於印刷電路板中之乾式製程，化學鍍銅等則因主要以溶液之型態加工是屬於濕式製程。

雙層印刷電路板的基板是由絕緣板與上下銅箔疊壓而成，製作印刷電路板的第一道手續是將基板裁成合適的大小。然後依電路的設計鑽孔，以作為將來上下銅箔電路間之連通。鑽孔加工屬於切削加工，是以**自動化數值控制 (numerical controlled, NC)** 的機械鑽床進行。鑽頭轉速與其精密度的需求都非常高，其鑽頭轉速常在每分鐘數萬轉以上 (rpm)，因此鑽頭需保持於良好的狀態。因為在如此高速的操作下，鑽頭的磨耗十分嚴重。而不良狀態的鑽頭，將引起高熱，造成**通孔 (through hole)** 內大量的**膠渣 (resin smearing)**；或是引起玻璃纖維與樹脂的分離，形成**白斑 (measling)**，造成後續**鍍通孔 (plated through hole)** 的困難。甚至引起缺損，造成基板的破壞。鑽頭的直徑一般在 0.1 mm 至 6 mm 之間，其刃端需經超硬度材料之處理，如鍍上**碳化鎢 (WC)**、**碳化鈦 (TiC)**、**氮化鈦 (TiN)** 等材料。

鑽了通孔後，上下層銅箔電路尚未連通。將通孔鍍上一層銅，以形成上下層電路的連通，稱為**鍍通孔**，是印刷電路板中十分重要的技術。因為通孔中含了絕緣的材料，鍍通孔程序首先需利用無電鍍，將孔壁導電化。又因在鑽孔製程中縱使是使用良好狀態下的鑽頭，仍會因高速的磨擦引起高溫，造成絕緣層中樹脂的軟化。焦流的樹脂形成膠渣覆蓋於通孔內，甚至遮住了內層的銅導線，因此於鍍通孔前需先將通孔內的膠渣去除。所以在無電鍍前的準備動作，包括了鹼洗脫脂、**回蝕 (etch back)**、粗化、去氧化膜與酸洗。再以**氯化錫 (SnCl₂)** 溶液將孔壁敏化，放入鈹活化槽中活化。

活化的目的是在孔壁產生含鈹的顆粒，作為無電鍍銅的催化劑。常見的無電鍍銅配方是以**甲醛**為還原劑，鍍液是由**硫酸銅**提供銅離子，以**氫氧**

化鈉調整酸鹼值，以 Rochelle salt 或 EDTA 為螯合劑。此無電鍍銅製程的目的是提供孔壁的導電化，以作為電鍍的基礎，無電鍍銅的厚度常在 $1\mu\text{m}$ 以下。於孔壁上以無電鍍的方法形成一層銅層，完成了孔壁的導電化後，就可進行電鍍銅製程，以將銅層厚度增加至所需的厚度。電鍍銅可以選擇的鍍液種類頗多，操作條件如溫度與電流，亦隨之而改變。一般商業上的電鍍液，除了主要的成份外，尚有各式各樣的添加劑，以改進如鍍層光澤等性質。

經過一次鍍銅，主要完成了鍍通孔的程序，將上下的銅層連通，緊接著就是在上下的銅箔製造出導線的線路。製造線路的方法，主要是將銅箔上不要的部份蝕除。在早期的製程中是以網印的方法，在銅箔上印上抗蝕油墨的線路，這也是印刷電路板得名的原因。不過印刷電路板發展至今，已大多不用網印的方法，而是使用俗稱乾膜的乾式光阻劑。將乾膜壓在銅箔上，以紫外線為光源，將底片的圖案投影在乾膜上。圖案是遮光而背景是透光的底片，稱為正型的底片。被紫外線所照的光阻部份，將產生聚合的作用，於顯影的步驟中保留，此種光阻稱為負型光阻。在此製程中，使用正型底片與負型光阻，經顯影的步驟後，在銅箔上線路的部份露出，而背景部份則是由光阻覆蓋。通常於顯影後，仍需經過烘烤的定影工作，以確定將光阻固化附著於銅箔上。

接著進行二次鍍銅的工作，以將線路部份的銅再增厚。此時因欲去除的部份，被光阻覆蓋著，所以並不會被鍍上銅。接續的製程為鍍錫鉛，將露出的銅線路（包括了通孔內部）上以電鍍的方法，長出一層錫鉛合金。隨後將光阻去除，去除的方法主要是以溶劑配合機械清洗。此時銅箔上欲留的線路部份，是由錫鉛合金保護著，而欲去除部份的銅則為裸露。選擇合適的蝕刻液，如氯化銨與氯化亞銅的鹼性溶液，就可將裸露的銅蝕刻去除，而留下被錫鉛合金保護的銅。蝕刻完成後，即可選擇合適的蝕刻液將錫鉛去除。製程至此，已完成線路的製作。接著需將線路上未來於組裝時不需連接的部份，塗上保護漆，也就是一般稱為綠漆的防焊漆 (solder mask)。並於未來需焊接的部份，施以噴錫的處理。在一些作為插件的板子，通常還有金手指 (gold finger) 的製作。

多層板的製作流程，包含了內層線路的製作與外層線路製作，流程與

上述雙面板類似。內層之製程包括內層刷磨、內層顯像、內層蝕刻、內層去（剝）墨、黑 / 棕氧化 (black/brown oxide treatment) 等。內層的板子通常較為薄且柔軟，內層線路製作完成之後，為了增加疊壓的接著性，常常需進行將銅箔層粗化（黑 / 棕氧化）的表面處理。將作好線路的內層板，上下加入膠片 (prepreg)，再加入外層的銅箔疊壓完成半成品。再依類似雙面板的製程，即可完成多層板的製作。如圖 9.2 所示，在印刷電路板中，貫穿整個板材的孔洞稱為通孔；僅有一側通到外邊的孔洞稱為盲孔 (blind hole)；位於印刷電路板內部，而上下皆見不到的孔稱為埋孔 (buried hole)。雙面板因為只有上下二層銅箔，所以只要上下二層導通就是上下皆可見之通孔。但是多層板則因為有四層以上之銅箔，所以可以同時存在通孔、盲孔與埋孔。這些不同導通孔之製備技術，可以說是印刷電路板製作之核心。

隨著電子產品輕、薄、短、小、高功能化的需求，印刷電路板也愈來愈細線化以提高密度。高密度連結 (high density interconnect, HDI) 印刷電路板受到很多之重視。所謂 HDI 是指 PCB 具有微孔，且接點 (connection) 密度在 130 點 / 吋² 以上，佈線密度（設峽寬 Channel 為 50 mil 者）在 117 吋 / 吋² 以上者，稱為 HDI 類 PCB。因此縮小導熱 / 導電等通孔的大小，以增加可實用的面積之非機械式的鑽孔，如電漿成孔、雷射成孔等微細孔穴加工技術，就成了熱門的課題。在其中又以雷射成孔的技術為最多。微細孔產品以應用於手機板之比例最高，約 50% 的微細孔的產品是用於此處。雷射成孔基板以使用背膠銅箔 (resin coated copper, RCC) 為主，雖然亦有使用 FR-4 的基板進行製造者。當雷射鑽孔的技術使用於 FR-4

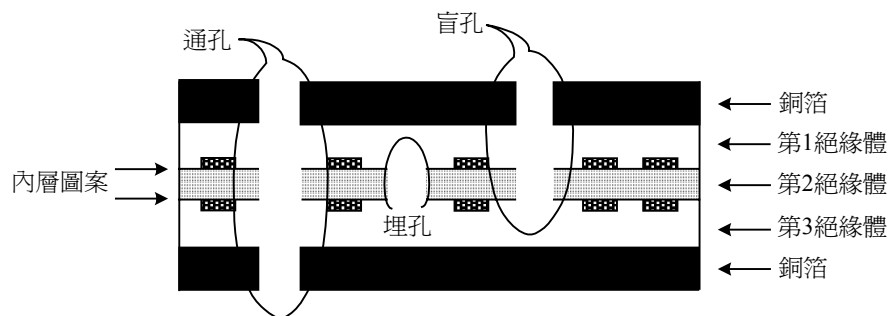


圖 9.2

的基板時，通常必須利用加大銅窗的方式製造；也就是以傳統蝕刻的方法，先蝕刻出一個約 $180\ \mu\text{m}$ 的銅窗，然後再進行雷射鑽孔的加工。使用 FR-4 的主要好處是在經濟上，FR-4 的價格僅約 RCC 的一半。

近來的增層法 (build-up process)，可使基板厚度降低，線寬、線距縮至 2 mil 以下，孔徑可細達 4 mil，為時下最受矚目之技術。增層法有許多不同的技術，如 IBM 於 1989 年在日本 Yasu 工廠所推出的 SLC (Surface Laminar Circuits)，是其中最具代表性者。其製程如圖 9.3 所示，於內層的銅線路上施加以光阻劑，經曝光顯影，露出孔位處之銅。而所留存的光阻劑，並不再加以去除，而是留在原處做為介電層之用。隨後以無電鍍與電鍍銅的方法，進行全面加成，於光阻之介電層上長出電路，並在既定之孔位上，由鍍銅而製作出盲孔。接著再壓上乾膜光阻劑，可繼續進行曝光顯影製作線路，以繼續長成第二層的加成層。

印刷電路板業雖然是國內少有的上下游完整，在全球極具競爭力之產業，然而近來卻有著明顯外移的傾向。除了人工成本之考量外，環保因素之考量亦是重要原因之一。印刷電路板製造過程需大量使用酸鹼藥液、有機溶劑及特殊化學原料等，因而產生了各種之酸、鹼及揮發性有機氣體等廢氣；此外乾式製程之裁板、鑽孔，亦會於製程中產生大量之粉塵。隨著國內環保意識之抬頭，業者如無努力從事污染之改善，很難於國內找到可以繼續生存之空間。近年來環保單位與業者持續從事污染之改善，環保工

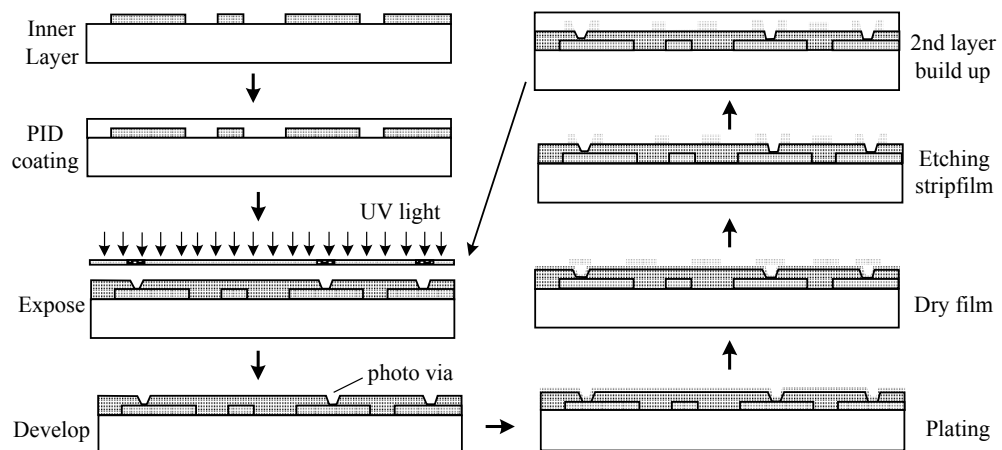


圖 9.3

作已漸有成效。如以旋風集塵機自氣流中收集粉塵，以袋濾集塵機將粒狀物質過濾去除，以濕式洗滌塔把氣體中的污染物傳送到液體中，達到清淨氣體之目的等。此外上述之增層法，減少或取代了部份如蝕刻、去膠渣、黑化、化學銅導通孔、電鍍銅等濕製程單元。使得增層法無論在化學品的使用量，廢水、廢液、廢板邊材的產生上，比起傳統電路板製程均有明顯的降低。

隨著電子產業的發展，印刷電路板的品質要求亦越來越高，各式各樣的技術亦推陳出新。雖然大致上的流程並無太多的差異，但是如上述的增層法，其內層之絕緣層與銅箔是於線路製作過程中產生，此點已與先前之壓合有著明顯之差異。近來更有雷射直接加工線路等技術之產生，雖然市場上之接受度仍有待考驗，但各種新技術的不斷產出，正代表著此領域歷經此段時日仍方興未艾。尤其最近覆晶技術大行其道，而其所用之覆晶基板，是高密度之印刷電路板。覆晶基板市場之趨動，會將印刷電路板推向另一新的高峰。



參考文獻

1. “Electronic Materials Handbook, Vol. 1: Packaging”, ASM International, Materials Park, Ohio, 1989, pp.534-552.
2. “Principles of Electronic Packaging”, edited by D. P. Seraphim, R. C. Lasky, and C.-Y. Li, McGraw-Hill, New York, 1993, pp.381-393.
3. 雙面印刷電路板製作程序，國立清華大學化工系，1989。
4. 多層 PC 板技術，鄭振東編譯，電子技術出版社，1994。
5. 台灣印刷電路板業之簡介，白蓉生主編，電路板資訊雜誌，1996。
6. 白蓉生，工業材料，第 118 期，1996，pp.98-114。
7. 王宗雄，工業材料，第 118 期，1996，pp.115-131。
8. Advanced Materials & Processes, Vol. 144 (4), 1993, p.21.
9. 白蓉生，電路板資訊，第 89 期，1995，pp.120-134。
10. 中原捷雄，電路板會刊，第 21 期，2003，pp.52-59。



本章習題

1. 何謂印刷電路板？
2. 簡述雙面印刷電路板的製程。
3. 簡述鍍通孔的製程。
4. 請解釋通孔、盲孔與埋孔之差別。