

軟性電路板製程技術概要

金進興

工研院工業材料研究所

高頻寬頻光電材料計畫 正研究員/計畫經理

摘要

以軟性電路板製造流程為主軸，敘述在其製程中之各項工作，同時依據該部分之製程技術，分別從製程內容、原理及其注意事項作粗略之解說。其中還將製程前之設計技術與材料選擇作為製程技術前之先導說明，最後再以軟板材料的檢驗項目與內容作為結尾。

關鍵詞

軟性電路板(Flexible Printed Circuit; FPC)、乾膜(Dry Film)、鑽孔(Drilling Hole)、電鍍(Electroplating)

前言

軟性電路板的製造原理與技術有許多和傳統硬式電路板相同，因此傳統硬式電路板的設備也可用在製造軟板，但畢竟兩者產品使用屬性不同，相對產品良率及產量就不會那麼理想，因此通常製造軟板是需要一些專業生產設備及專業技術。

整體良率表現並非只在製造面，製前設計與材料選擇兩者也佔有很大變數。本文以深入淺出的方式介紹軟

板製造技術及其他必須搭配的問題。

製前設計技術

1. 設計技術需求

一般非使用軟性板不可的時機，是在硬式電路板或其他線材無法取代時才考慮使用，主要原因為成本考量以及以下兩點訴求：a. 產品有要求撓曲壽命；b. 產品組裝空間小，必須使用三度空間構裝。

2. 功能設計

一般電子設備產品的設計主要由

原型機開始，然後進行機構的基本設計，最後才進行機械內部功能及電路設計，所以一般是到設計最後階段才進行線路板 Layout。軟性電路板除了必須具有電路設計所需功能之外，還須配合設備結構與配置進行形狀設計。

3. 設計項目

設計考量項目則包括：零件構裝方式、線路Layout、接線方法、尺寸精密度、機械特性—撓曲性、組裝方式及製程條件、環境影響評估及可靠度等。

軟板材料選擇

市售軟性電路板基材具有很多選擇，這些材料除了品質和其他材料之間的配合及用途不同會有不同結果之外，即使相同材料但不同生產廠商所供應，也可能會有不同特性和品質上的差別。因此在材料的選擇及供應商的選擇上都是必須詳加比較，如此才能確保產品品質及生產良率。

1. 基材薄膜

基材薄膜就是指絕緣層，常態上是使用具有耐高溫特性的聚亞醯胺(PI)膜，其有良好的電性及機械性，缺點為價格高。厚度應用有15 μm 、25 μm 、50 μm 、75 μm 及125 μm ，其中以25 μm 價格最低，對於需要高撓曲特性者，適宜選用Kapton PI Film（杜邦公司生產之商品）；對需要高尺寸穩定性則

宜選用Upilex PI Film（宇部興產生產之商品）。如果操作溫度 $<60^{\circ}\text{C}$ ，可選用特性與PI近似的PET Film，但此薄膜要取得UL 94 V-0有困難，現今PET最高等級為94 VTM。

2. 銅箔

常使用導體材料為銅箔，由於軟性電路板必須具有良好的撓曲壽命，所以會使用延壓銅來取代電解銅箔。35 μm 厚度延壓銅售價為電解銅的兩倍，但為具市場競爭力，一般在撓曲180度 <10 cycles 的情況下，可考慮使用電解銅箔。

3. 接著劑

軟板常用接著劑為壓克力與環氧樹脂系列兩種，壓克力系列具有撓曲性佳、接著強度高的優點，不過電氣性表現較差，尤其耐電壓較環氧樹脂接著劑低10倍，因此目前軟板接著劑是以環氧樹脂系列為主要材料。

軟性電路板製造技術

一、製程存在改善空間

1. 人工依賴性大及全自動化不易

由於軟性電路板基材很薄，受外力後容易產生變形，所以在製作過程中傳送的自動化會變得困難，因此有很多步驟必須仰賴人工處理，若作業者的經驗不夠，亦容易造成材料損壞或污染。在製程自動化上，材料的傳送問題必須從設計上即需注意，由於

軟性電路板基材本身很軟，無法承受自己的重量而下垂，如沒有完善自動化設備搭配，將會造成很大損失。

2. 尺寸精密度控制不易

對線路分佈呈平面型的軟性電路板而言，平面方向尺寸精密度的控制非常重要。以1cm見方的小面積為例，要求尺寸絕對精度 $\pm 50\mu\text{m}$ 之內，其相對精度相當於 $\pm 0.5\%$ ，此時尺寸精度控制並不難，但若把工作面積放大到25cm時，其絕對精度不變，但相對精度變成只有0.02%，所以說製程精密度的控制會隨工件尺寸不同而改變。造成上述結果是由於軟性電路板的基材是由塑膠薄膜所構成，且無玻纖補強，因此外力很容易造成基板尺寸的改變，例如在製程中有很多化學處理和熱處理，容易造成基板尺寸改變。

3. 材料備料複雜

軟性電路板所使用材料除了FCCL（基板材料）之外，還包括CVL（覆蓋膜）、Adhesive（接著劑）、加強板…等，由於所使用材料種類繁多，且經過疊層之後，材料之間匹配的問題變得更複雜，為解決材料匹配問題，通常會盡量使用相同的材料。軟性電路板的產品特性很容易因製程參數改變而有所差異。特別是撓曲特性會隨覆蓋層材料及壓合條件等因素而使得撓曲壽命有很大不同，因此對所使用的材料和製程條件，都必須經過反覆的驗證以尋求最佳組合，方能確定成品的品質特性。

二、製造流程

一般軟性電路板之製造流程如圖一所示，我們將就製程中之各項工作站作一簡單之說明，使大家對軟性電路板製程有一通盤及粗略之認識。

1. 下料(Cutting)

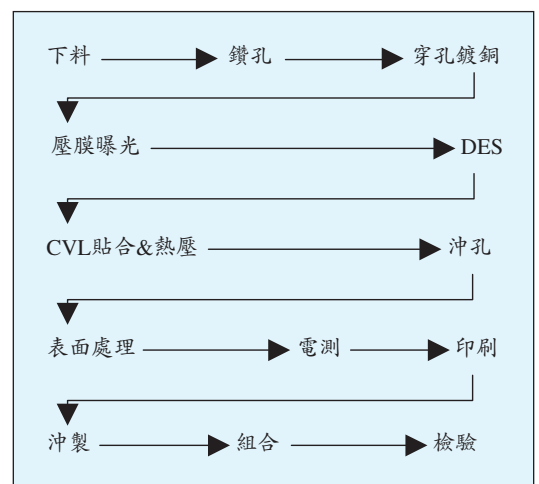
大多數軟板基材供料包裝是成卷式Roll To Roll (RTR)，所以有些製程必須將原RTR的基板裁斷成平板基板，其品質要求：a.尺寸公差 $< \pm 0.3\text{mm}$ (0~450mm)、b.片材需平整及銅面無污染。

2. 鑽孔(Drilling)

PCB製程穿孔工藝有電漿蝕刻、雷射鑽孔、微小機械沖孔、化學蝕刻等，在軟性電路板要有穩定大量製造及穩定穿孔品質，還是以傳統CNC鑽孔為主。其品質要求為：a.孔距精準、b.孔穴平整。

3. 穿孔鍍銅(Through Hole Plating)

軟性電路板穿孔製程與PCB相



▲圖一 軟性電路板製造流程

同，近年來開發利用鍍銅取代無電解銅來形成導電層的方法，正逐漸為軟性板製程所採用。

由於軟性板本身是柔軟的，無法像一般PCB只夾電路板一端，因此必須用特別夾具使其電鍍時不產生搖擺，而造成鍍層不均（圖二）。

4. 乾膜貼合與曝光(D/F Laminate & Exposure)

蝕刻用光阻依解析度和產能可分為三種：網版印刷法、乾膜光阻、液態光阻。利用網版印刷將油墨塗佈到銅箔，是長久以來一直使用的方法，也是量產成本最低方式。但網版能達到解析度只有 $>0.3\text{m}$ 的線寬線距，對於目前高精密電路基板而言已不符合要求，而且與乾膜比較，操作人員需要長時間的經驗累積也是另一個問題。所以 $<0.3\text{mm}$ 的線路大都以乾膜光阻來製作。

①乾膜貼合原理

壓膜時乾膜覆蓋膜被掀起，以感光層的一面與銅箔接觸，在壓膜機高溫、高壓、平整的膠滾壓製下進行，

加熱可降低光阻之黏度並增加流動性，壓力可將流動狀態之光阻擠入表面，光阻及基板附著力是藉由光阻膜順著銅表面流動所達成。

②曝光原理

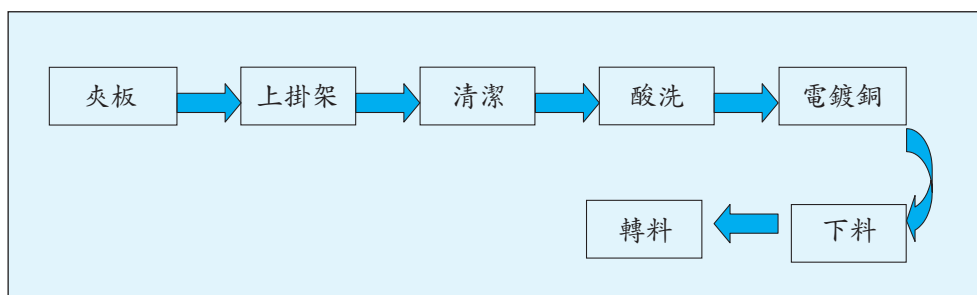
未被線路覆蓋的地方，經UV曝光過程之聚合Curing產生化學變化，固化在銅箔基材上，不能被顯影液洗去。被線路覆蓋部份曝光後感光層不產生聚合，在顯影時能被顯影液洗去而露出銅面。

5. 顯影、蝕刻與剝膜(Developing, Etching & Stripping; DES)

銅的蝕刻液主要是氯化鐵、氯化銅、鹼系等三種，由於鹼性蝕刻速度快且不易控制，對於微細線路通常不易獲得高的良率，而氯化鐵一直存在著環保處理問題。因此一般軟性電路板微細線路蝕刻以氯化銅為主。

①顯影原理

乾膜經曝光過程UV之聚合Curing產生化學變化，未經UV聚合之部份則經顯影液洗去露出銅面，本反應實際為一種皂化作用，故於製程中會產生



▲圖二 電鍍銅流程

類似肥皂泡狀的泡沫。顯影點B.P. (Break-Point)是指顯影過程中，未經曝光聚合反應之光阻與顯影液產生皂化作用後，所露出之最近銅面位置，一般顯影點均控制於顯影槽之1/2處。

②蝕刻原理

通俗地講，蝕刻即用蝕刻液將線路板上露出的銅面咬蝕掉，從而得到線路部分，其實只是一個非勻相的氧化還原反應（圖三）。一般業界常用的蝕刻液有以下幾種（需與光阻之類型及設備互相搭配）：

- a. 酸性蝕刻：如氯化銅、氯化鐵、過硫酸銨等
- b. 鹼性蝕刻：如氨水、氯化銨等
- c. 氣相蝕刻：如氯氣、硝酸（形成二氧化氮）等

③剝膜原理

光阻之塗佈為消耗性的，光阻於線路形成之初塗上，並於形成之後剝除，剝除的過程稱之為剝膜(Striping)。通俗地講，剝膜即將蝕刻後線路板上線路上覆蓋的乾膜（曝光時未被UV光照到的部分）剝除。本工段採用

的剝膜液是NaOH溶液，剝膜液與乾膜反應時，先是膨脹分裂(Swelling)，然後經過機台之噴壓將乾膜屑剝離銅面。

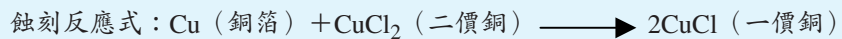
6. 覆蓋膜的熱貼合(CVL Hot Lamination)

覆蓋層是軟性電路板特有製程，可分為膜狀、網版印刷、PIC感光性覆蓋層三種，現市場接受大多以膜狀覆蓋層CVL為主。

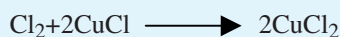
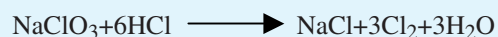
使用CVL材料必須注意接著劑流動性改變，一般出貨前接著劑之流動性都會調整在一定範圍內，如果在適當條件下保存，可用壽命為3~4月，一般剛出貨須藉預烤的方式來降低膠的流動性，由於PI基材很容易吸水氣，而造成後續許多加工上問題，因此必須將密封冷藏覆蓋層回溫之後，再打開包裝塑膠膜。其品質要求為：a.不能有氣泡殘留、b.成品須平整，不能壓傷或皺折。

7. 沖孔(Guide Hole Punch)

一般外形和開孔加工是分離步驟，以前導孔是利用鑽孔方式形成，



氯酸鈉再生反應式：



▲圖三 銅蝕刻化學反應式

但沖壓式導孔精度更高，而且在導孔周圍留下毛邊情形也較少，因此目前逐漸改用沖壓方式。其品質要求為其孔穴真圓度為小於 $\pm 0.05\text{mm}$

8. 金屬表面處理

① 鍍錫鉛

錫是銀白色金屬，具有較高的化學穩定性，在大氣中不易變色，在硫酸、硝酸、鹽酸的稀溶液中幾乎不溶解，特別是在有機酸中很穩定，元素符號為Sn，原子量為118.7，一般呈+2價，電極電位為-0.14V。鉛是軟的、強度不高的金屬，極易被空氣氧化成緻密的鹼式碳酸鹽保護層，元素符號為Pb，原子量為207.2，一般+2價，電極電位為-0.26V。

錫鉛合金的熔點比純錫和純鉛還低，它的孔隙率及可焊性比單金屬好。由於錫和鉛都屬碳族元素，且標準電位只相差10mV，兩者的超電壓都很小，很容易形成錫鉛合金鍍層。

② 鍍金

金是一種色澤為金黃色的黃金屬。元素符號為Au，原子量為197，一般呈+1價態，標準電極電位為+1.44V。電鍍金屬的性能優越，化學穩定性、拋光延展性佳，它的耐腐蝕性好、導電性良好，易焊接，且於高溫、空氣中不變色，被廣泛應用於線路、板接插件等方面。

鍍金溶液一般分為無氰化物溶液、低氰化物溶液和氰化物。我們採用的是低氰化物溶液，以金氰化鉀

($\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2]$)為主鹽。一般採用刷鍍和噴鍍。

9. 油墨印刷

為了標示電路板製造批號及標明往後零件的放入位置，以防止裝配時產生錯誤，此時需要在製作好線路圖形之軟性電路板上，進行一些文字或記號之印刷，通常在這項製程中採用網版印刷方式來進行。在前項乾膜貼合製程中，也有以濕式液態光阻進行曝光來定義及製作線路圖形，此時也同樣需要利用網版技術來進行液態光阻的印刷，以下將就網印技術原理作一說明。

絲網印刷是一種古老的印刷方法，其印刷的基本原理是：絲網印刷版的部份網孔能夠透過油墨漏印至承印物上；印版上其餘部份的網孔堵死，不能透過油墨，在承印物上形成空白。傳統的製版方法是手工的，現代較普遍使用的是光化學製版法。這種製版方法，以絲網為支撐體，將絲網繃緊在網框上，然後在網上塗佈感光膠，形成感光版膜，再將陽圖底版密合在版模上曬版，經曝光、顯影，印製上不需過墨垢部份，受光形成固化版模，將網孔封住，印刷時不透墨；印版上需要過油墨部份的網孔不封閉，印刷時油墨透過，在承印物上形成墨跡，如圖四所示。

印刷時在絲網印版的一端倒入油墨，油墨在無外力的作用下，不會自行通過網孔漏在承印物上，當用刮墨

板以一定的傾斜角度及壓力刮動油墨時，油墨通過網版轉移到網版下的承印物上，從而實現圖像的複製。

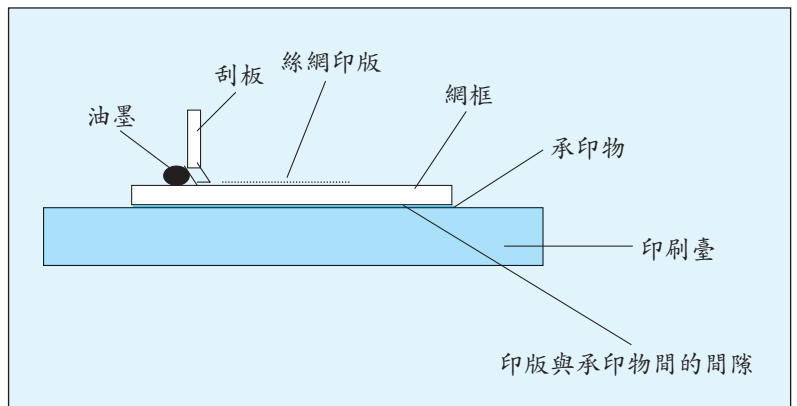
10. 沖孔成形(Punching)

軟板製作的最後步驟是沖孔成形，這是利用機械加工方式將單一單元的軟板，由整卷或是單片大生產片上切割下來。此種加工方式有數種不同方式，包括機械沖壓、刀膜及數控的CNC切割等，這其中以沖壓方式在穩定度與成本考量上較普遍被使用。如果是捲對捲(Roll To Roll)的材料，切割進行時材料可以自動化推送之方式到機械內進行加工，模具的設計是採公母模方式，如何讓沖切的精度維持一定之水準，除了模具本身的設計製作水準會影響外，對於工具孔的設計與使用也十分重要。

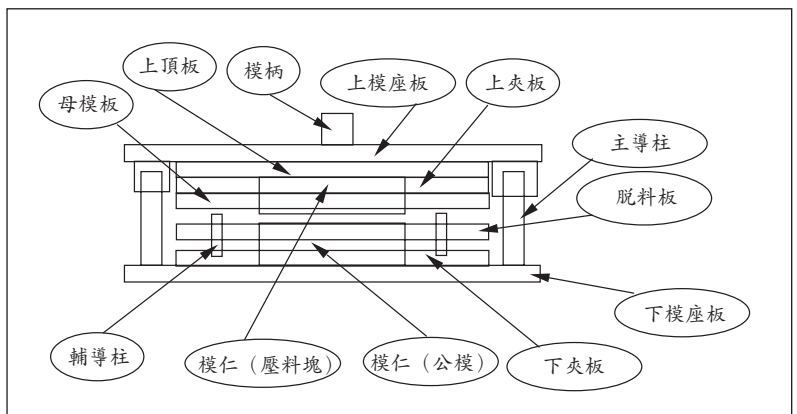
沖壓的原理是由模具的壓力迫使材料產生拉伸與壓縮應力，當材料受應力而超越彈性限度的伸展時，由彈性變形進入塑性變形而終至斷裂。

模具－鋼模（下料沖模Blanking Die、沖孔模具Piercing Die）的介紹：模具組成零件包括公模（模仁）、母模、模座（上下模座板、主導柱、輔導柱）、定位零件（定位銷）、脫模板（脫料板及壓料塊）及連接模具不同零件間的螺絲與螺栓。模具結構如圖五所示。

其中，模座(Die Set)包括上模固定板、導套(Guide Bushing)、導柱(Guidingposts)、下模固定板。模座的功用：①沖床與模具作上下來回運動



▲圖四 絲網印刷示意圖



▲圖五 模具結構圖

的導向對正，維持耐久可靠的模間隙；②模具與沖床的對正導向，確保模具在沖床往復運動的正確與穩定，以防止沖床的局部鬆動，增加模具的壽命；③承擔模具的壽命，以穩固與支持模具因受力過大或不均而引起的變形。

三、檢驗

軟性電路板基本出貨檢驗內容包括特性檢查及機能檢查二大類，其中包含電氣特性、機械特性、耐熱特性、尺寸安定、抗化學藥品性、耐環境特性以及外觀的檢查等，表一列出各項有關軟性電路板出貨前之檢驗項目，供大家參考。

表一 軟性電路板出貨前之檢驗項目

特性檢查	機能檢驗（外觀）
表面電阻	導體部份
表面耐電壓強度	斷、短路
電鍍層剝離強度	空孔
導體剝離強度	導線毛邊
焊錫附著性	導體剝離
耐折性	表面損傷
耐撓曲性	覆蓋膜
鍍穿孔熱沖擊	表面刮、損傷
耐候性	變色
難燃性	接著劑溢膠
焊錫耐熱性	電鍍
耐藥性	接著不良
	鍍面污染
	補強板
	位置偏差
	接著劑溢膠
	異物、氣泡
	其他
	外形損傷、污染

結論

在行動通訊手機與消費性產品要求輕量、薄型化的效應之下，軟性電路板恰能符合這樣的需求，而於近年來日益成長，同時也造就了整體軟板技術的提升，除了應用範圍擴充到成為IC載板(TAB/ COF)，擺脫傳統軟板只為連接之用的功能外，在軟板材料與製程技術部份也有異於過去的傳統技術，其中製程技術已從200 μ m間距之需求下降到高密度之50 μ m間距以下，因此對軟板電路製造技術而言，將是重要之挑戰。在未來面對 LCD TV、PDP、Hard Disc及先進構裝等要求更高密度之應用需求，軟板技術除

了在材料技術上必須有所改變外，在製程技術上更需要相對之搭配，往高密度、自動化及與系統業者作更佳之溝通配合，方能符合未來實際產品之需求，同時達到創新應用技術與新產品之目的。本文僅提出相關軟板的現有製程概要，讓大家對軟性電路板製程有一粗略之認識，使材料及系統應用業者在軟板技術開發過程中，了解到該製程技術所扮演之角色。