

印刷電路板用軋延銅箔

劉金耀
工研院工業材料研究所
精密壓延實驗室 研究員

摘要

PCB為資訊、通訊、消費性電子產品(Computer, Communication, Consumer, 3C)的主要零組件，隨著3C產業需求的技术演進，PCB的生產技術及用料需求特性亦不斷進化。銅箔為PCB的主要原料，用於形成線路，供訊號及能量傳輸。依製程，銅箔又分為電解銅箔與軋延銅箔兩種。軋延銅箔主要用於需作反覆彎曲的軟性印刷電路板(FPCB)。FPCB的市場規模為PCB的1/12，國內因整體PCB產業的擴大，而使FPCB規模漸大，其所需之銅箔原料亦漸受矚目，本文針對軋延銅箔的種類、用途、特性、製程技術及因應FPCB未來發展，軋延銅箔與潛在的性態改變方向，作一概略性的介紹。

關鍵詞

軟性印刷電路板(Flexible Printed Circuit Board, FPCB)，軋延銅箔(Rolled Copper Foil)，塗佈法(Casting)，濺鍍/電鍍法(Sputtering/Plating)。

前言

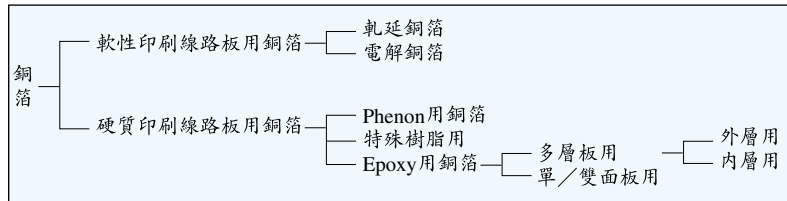
銅被人類使用的時間已超過2000年，早期人類皆利用其易加工的特性作為結構用材，而銅良好的導電熱性，亦在電發現後，而被廣泛應用為導電材料。印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)在1930年代被提出，所用的導電材即為製成箔形態的銅。PCB初提出時尚無法實用，二次大戰後正式被研究與量產，所用銅箔之製造技術同步往前推進。

金屬箔已有數百年歷史，早期金屬箔如金、銀箔是作裝飾品用，製造方法是以木槌錘打，隨著機械工業的進步，利用輓輪取代木槌，以機械動力取代人力錘打，並進而量產化，即為現今之軋延，所製之銅箔即為軋延銅箔。除軋延外，1950年美國Anaconda公司發展出以電鍍（亦稱電解）法製造銅箔，這種方法可大量而便宜製出鍍箔，供PCB使用，造成PCB使用普及，而隨PCB用途擴大，銅箔的性能要求不斷提高，製造技術亦隨之進步。

表一 IPC金屬箔區分表

摘要	代號與特性										
型式	等級	E	W	C	O						
	特性	電解箔	壓延箔	複合箔	其他						
銅箔	等級	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
	特性	STD-E	HD-E	HTE-E	ANN-E	AR-W	LCR-W	ANN-W	ARLT-W	AELT-E	AE-E
厚度	等級	E	Q	T	H	M	1	2	3	4	
	特性	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	2	3	4	
表面處理	等級	N	P	S	D						
	特性	無防銹	無處理	單面處理	雙面處理						
Profile	等級	A	B	C							
	特性	VLP	LP	STD							
品質等級	等級	1	2	3							
	特性	民生	產業	高可靠度							

備註：HTE：高溫延伸箔、ARLT：低溫退火壓延箔、ANN：退火箔、VLP：很低稜線箔($Rz \leq 5.0\mu m$)、STD：標準箔、AR：壓延箔、LP：低稜線箔($5.0 \leq Rz \leq 10.0\mu m$)、HD：高延展性箔、LCR：輕冷壓延箔、AELT：可低溫退火電解箔、AE：可退火電解箔



▲圖一 依PCB用途之銅箔分類

PCB用途擴展迄今，已由原先的靜態使用，擴大至動態使用，靜態用途的PCB為硬板，要求一定的剛性與尺寸安定性；動態用途的PCB為軟性，取其可任意折彎，以滿足使用的需求如筆記型電腦、硬碟、印表機、數位相機等部分需移動或伸縮之元件用電子線路。軟性印刷電路板(Flexible Printed Circuit Board, FPCB)最早於1960~1970年代出現，所用之銅箔為軋延銅箔，利用其較佳的冶金特性，以維持FPCB的使用可靠度。

銅箔的分類

銅箔依其在PCB用途，可分為硬板

用及軟板用，硬板用銅箔皆為電解銅箔，軟板用銅箔主要為軋延銅箔，但部分用途也用電解銅箔。硬板用電解銅箔依使用範圍及

樹脂材料而有不同特性等級。圖一為依用途的銅箔分類。銅箔除依PCB用途分類外，目前較權威而被相關業者接受的為美國IPC(Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuit)協會的分類與定義，依IPC-CF-150E定義，銅箔共有10種類別，參見表一。

表一中的複合箔，指的是有支撐的銅箔，主要是以電解法製造，支撐材一般為鋁箔或膠膜。因在電解箔的群類中無法明確定位，因此以複合箔加以區分。表二為各類銅箔特性一覽表。

銅箔依製造方法，可大致區分為電解銅箔與軋延銅箔，在PCB/FPCB的用途

上，銅箔的製程除軋延與電解外，還包含改善銅箔表面化學特性的後處理製程。前者又稱為生箔工程，主要是提供或產出銅箔在使用上所需之厚度、物理及機械性能。後者為提供銅箔在PCB/FPCB製程或PCB/FPCB使用時，具有良好的成品率與可靠度，諸如：與樹脂接合性良好、蝕刻時不會側蝕剝離、銅不會與樹脂反應而導致線路損壞、在蝕刻製程中不會因線路間距縮小而殘銅短路、在貯存與運送過程中不會變色等等。

銅箔的製程

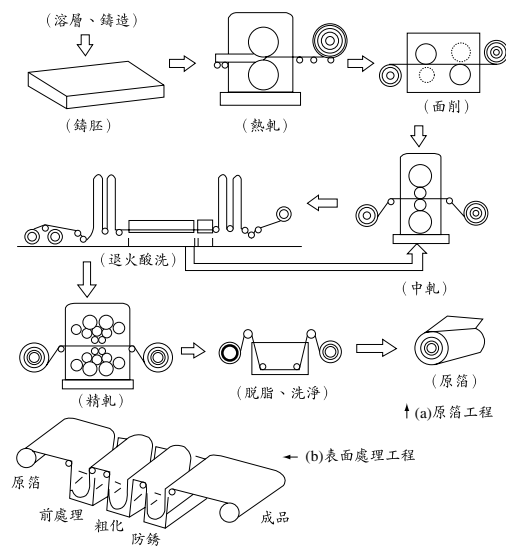
圖二為電解銅箔製程流程示意圖。電解銅箔主要是以硫酸銅溶液，在通電情況下，讓銅在迴轉的陰極輓筒上還原析出。析出之銅箔在離開溶液後，即收卷在鋼或紙製卷軸上，然後進行表面處理工程。銅箔電鍍製作時，陽極通常為不溶性陽極，鍍浴中的銅離子則是以銅金屬溶入硫酸方式補充，

金屬銅則多為切碎的線材或銅碎塊。

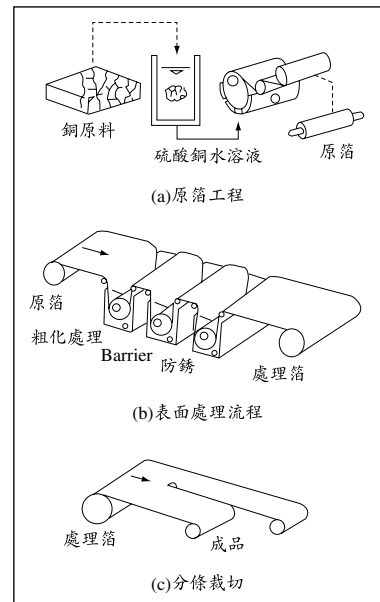
電鍍所得銅箔之物理特性、機械性及表面品質、結晶結構，會隨鍍浴成分、溫度、添加劑種類，及電鍍時之電流密度等製程條件而改變，如何控制上述的條件，使銅箔能連續、穩定而快速地生成，是電鍍銅箔生箔工程須解決的問題。

圖三為軋延銅箔製程示意圖。主要是將純銅原料，經鑄造製程作成鑄

▼圖二 電解銅箔製造工程概念圖



▲圖三 軋延銅箔製作流程示意圖



表二 銅箔的特性規格

摘要	單位	電解銅箔(E)															壓延銅箔(W)									
		STD			HD			HTE			ANN			AELT			AE			AR		LCR		ANN		ARLT
等級	-	18	35	70	35	18	35	70	18	35	70	18	35	70	18	35	70	18	35	70	70	70	18	35	70	
厚度	μm	146	290	580	290	146	290	580	146	290	580	146	290	580	146	290	580	146	290	580	580	580	580	146	290	580
單重	g/m ²	~160	~320	~640	~320	~160	~320	~640	~160	~320	~640	~160	~320	~640	~160	~320	~640	~160	~320	~640	~640	~640	~640	~160	~320	~640
常態	延伸率 %	2	3	3	10	2	3	3	5	10	10	5	10	10	5	10	10	0.5	0.5	1.0	1~20	5~20	5	10	10	
	抗拉強度 Kg/mm ²	10.1	20.3	20.3	20.3	10.1	20.3	20.3	10.1	13.5	13.5	10.1	14.1	14.1	28.2	28.2	28.2	33.8	33.8	33.8	17.4	16.9	10.1	14.1	14.1	
熱間	延伸率 %	N/A	N/A	N/A	N/A	2	3	3	TBD	6	11	N/A	N/A	N/A	15	20	20	TBD	2	3	N/A	11	N/A	N/A	N/A	
	抗拉強度 Kg/mm ²	N/A	N/A	N/A	N/A	TBD	13.5	13.5	TBD	10.0	15.5	N/A	N/A	N/A	14.1	14.1	14.1	TBD	14.1	28.2	N/A	14.9	N/A	N/A	N/A	
疲勞延伸率	常態 %	15	15	15	30	15	15	15	65	65	65	25	25	25	N/A	N/A	N/A	30	30	30	65	65	25	25	25	
銅純度	%	99.8															99.9									
備註		N/A：沒有規定 TBD：待定中																								

胚，鑄胚經適當溫度熱處理後熱軋並打卷，再進行表面氧化層削除，而削後的銅卷，經反覆冷軋、脫脂、退火、酸洗、冷軋製程後達到適當的厚度，之後進行脫脂洗淨，再進行表面處理工程。

軋延銅箔的原材一般為C 11000，主成分為Cu與O，O含量不得多於400ppm，一般商品銅箔的含氧量在150ppm以下。O含量在熔鑄製程中控制，熔鑄為大氣中熔煉，如何鑄出表面平滑、縮孔淺的鑄胚，為工程技術上的重點。此外，O含量與雜質含量控制，為後續製出合格而性能優越銅箔的重要條件。傳統製程上是以添加P、Zn、Li等活性元素除氧，並以適當覆蓋劑阻絕空氣與銅水接觸。基材中含氧量過高，易造成晶界氧化或偏析，導致熱軋破裂，或光輝退火時氫脆等缺陷，導致後續冷軋時斷裂，或產生點狀微缺陷而無法使用。除氧外，過多的S、Mn、Fe、Zn、P易於基材中形成夾渣等缺陷，或提高銅箔的軟化溫度，使之無法滿足FPCB的應用需求。

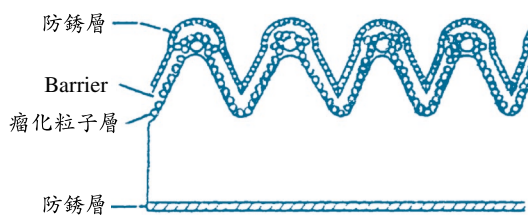
熱軋製程主要目的為改變鑄胚的微觀結構，並減薄厚度，使材料能進行冷軋加工等後續製程，工程上主要達到平坦度高、契形量與冠形量小的板形，及氧化削除量少，在無邊裂的條件下，以較少的軋延次數達到減薄的目的。此外，鑄胚加熱時之氣氛必須控制，以避

免過多的內氧化及外氧化，造成大量削皮，降低成品率。

冷軋與熱軋類似，為將原材均勻減薄的製程，唯冷軋是在材料不加溫的情況下進行，技術上須控制輾輪形狀、下軋力與張力，使片材達到厚薄均勻、形狀平坦，在後續加工中不變形等需求。當片材軋延至100 μ m或以下時，要滿足形狀平坦之片材需求，則輾輪形狀、直徑、下軋力與張力之可組合範圍變小，軋機之剛性、完整性及組合部分的平行度與尺寸精度必須提高，軋機潤滑系統的效能亦需提高，否則易因輾輪及銅箔局部區域升溫而導致片材產生波。退火製程主要是消除材料的加工硬化現象，便於繼續冷軋，並可調整材料的微觀結構及特性，如晶粒大小、結晶方向、機械強度、熱膨脹等特性。工程上有鐘形爐與連續爐二種，就銅箔製程而言，二者皆可，鐘形爐退火須避免黏板的問題。

表面處理製程主要目的為使銅箔易於與膠膜（或板）接合，在後續的貼合與蝕刻或接電子元件的製程中，仍能維持良好的接合性，裸露面亦不會變色，電路線距縮小時，亦不會有短路與斷路等可靠度不良的現象發生。一般分為粗化（或瘤化，nodularization）、耐熱（Barrier）與防蝕（抗變色，Anti-tarnish）三個製程步驟，主要是以電鍍製程為主，圖四為以電鍍銅箔為例的銅箔表面結構示意圖。

粗化處理主要是在銅箔表面生成顆粒狀之銅粒，形成銅箔與樹脂間的固著效果(Anchor)，一般以銅箔與樹脂的接著強度來評估接著效果的好壞。銅箔表面的基本形狀，直接影響粗化製程所需的參數條件及最終的接著強度，如電鍍銅



▲圖四 電解銅箔的斷面構造

箔的粗面 (Matteside, 銅原子沈積面, 在粗化前, 須先以硫酸蝕刻掉一部分銅, 以減緩表面粗糙度)。軋延銅箔表面粗糙度較小, 粗化電鍍前須先將表面弄粗, 以增加銅粒子的附著性。耐熱層電鍍主要作用為防止銅原子在與樹脂基材貼合後之膠熱化製程中, 與樹脂反應, 而產生色斑或剝離的問題。傳統上是以黃銅或鋅為鍍層主要成分, 隨著傳輸訊號高頻化的產品演進, 塑膠材料需要 D_k 值低、 T_g 值高, 對應的製程溫度相對提高, 耐熱鍍層漸以含Ni合金(NiZn、NiP、NiCo...)為主。防銹層主要功能為防止銅箔在貯運及貼合(壓合)製程中變色, 增高銅箔與塑膠基材剝離之危險。早期銅箔的防銹處理僅考慮銅箔保存性, 因此採用有機防銹皮膜處理(脂肪酸、Triazole、Imidazole等); 隨著技術的演進及銅箔使用性能需求的提高, 目前防銹處理多採ZnNi及ZnCr合金層電鍍, 再浸泡被覆一層有機Silane。軋延銅箔因表面粗糙度小, 及製程中有軋延油殘留, 因此在後處理製程上較ED銅箔多一道脫脂製程的程序, 粗化電鍍時之條件亦不同於電解銅箔。圖五為軋延銅箔處理後的表面SEM照片。

軋延銅箔的特性

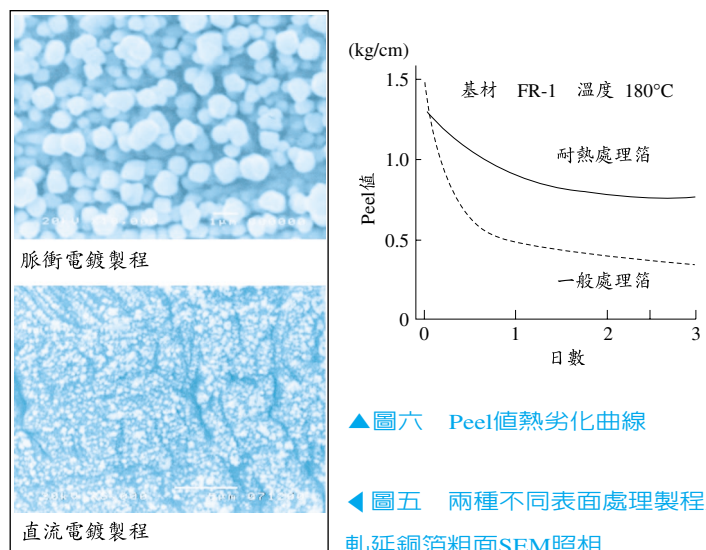
在ICP的規範中, 軋延銅箔有四種類別:

- ①W5-AR: As Rolled Copper Foil
- ②W6-LCR: Light Cold Rolled Copper Foil
- ③W7-ANN-Annealed Copper Foil
- ④W8-ARLT: Low Temperature Annealable Copper Foil

W5為完全軋延的硬箔, 成品出貨前的軋延量約80%以上; W6稱為輕冷軋延

箔, 主要是控制成品前箔材的冷軋量, 一般在50%以下; W7為退火箔, 指的是成品前的最後製程為退火, 特性上為軟材延展性較佳, 但強度較低; W8為可低溫退火箔, 指的是在 177°C 下15min即可完全退火軟化的銅箔。一般而言, 要達到可低溫退火的目的, 主要手段(技術)在於原材製程中, 降低雜質含量或添加微量的元素, 使之在製程中形成細小的金屬化合物於基材或晶界中, 減少固溶於銅箔基材中的雜質元素量而達到該目的, 曾有人在銅中添加Sc、Y、Ce等元素, 證實可吸收Cu中的S, 而達到可低溫軟化的目的。

就FPCB的應用上而言, 軋延銅箔區分為細線路用耐熱銅箔, 高耐折性銅箔及可低溫退火箔。耐熱銅箔主要在後處理製程中, 加入耐熱層的電鍍, 早期的軋延銅箔僅作粗化與防銹處理, 為因應後製程的耐熱需求而衍生出這類產品, 圖六為耐熱處理銅箔與傳統銅箔抗撕強度變化圖。高耐折性銅箔為因應小型化, 更高可靠度之資訊、通訊產品(如軟碟機、硬碟機等)的需求而衍生的產



▲圖六 Peel值熱劣化曲線

◀圖五 兩種不同表面處理製程之軋延銅箔粗面SEM照相

品。圖七為一般軋延銅箔，高耐折性軋延銅箔折彎次數與銅箔延伸率間關係圖。某些以PET及PI材質為膠膜之軟板，因用途特殊，在製程中無法使用高溫作Curing，因此需要能在低溫退火軟化的銅箔，以滿足製程上的需求。圖八為一般銅箔與可低溫軟化銅箔，耐折次數與120°C退火時間關係圖。

FPCB的未來發展趨勢與銅箔特性的需求

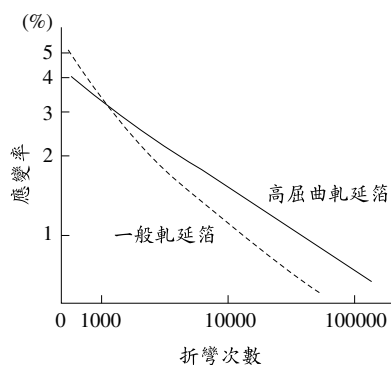
軋延銅箔主要應用於軟性印刷電路板，FPCB是由銅箔與柔軟的絕緣膠膜及接合劑貼合而成之三明治結構，特點是可立體配線，可撓曲、輕、薄。早期為單層板，隨著電子產品輕薄短小的需求演進，而有雙面板、多層板及軟硬板的型態出現。圖九為FPCB製程示意圖。製程上大致分為前段線路蝕刻（貼光阻、曝光、顯影、蝕刻、剝光阻），蝕刻前若為雙面板，則須先沖孔及通孔電鍍，再上光阻。次為貼保護膠膜，貼之前須先在膠膜上加

工出要連接其他元件或導線的孔洞。膠膜分為一般型與感光型兩種，前者是以機械法沖出孔洞，孔大小及間距較大，後者是因應孔徑縮小之需求而研發的材料，是以光蝕刻製程製作孔洞。貼合保護膜後，裸露部分再經電鍍或無電鍍等製程作處理，以便進行後續的元件連接動作，元件接合後，再經補強、補貼絕緣片等製程後，裁切成型。

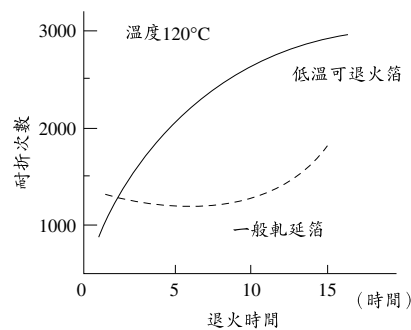
PCB/FPCB為電子產品主要的構裝零件，因應電腦、通訊產品的高速化（高頻傳輸）、輕量化及消費性電子產品輕薄短小化的發展，構裝逐步走向細線化、積體化，對銅箔特性的需求亦有所提高，表三為PCB特性要求與相對應銅箔特性的需求一覽表。

表三 PCB用銅箔特性需求

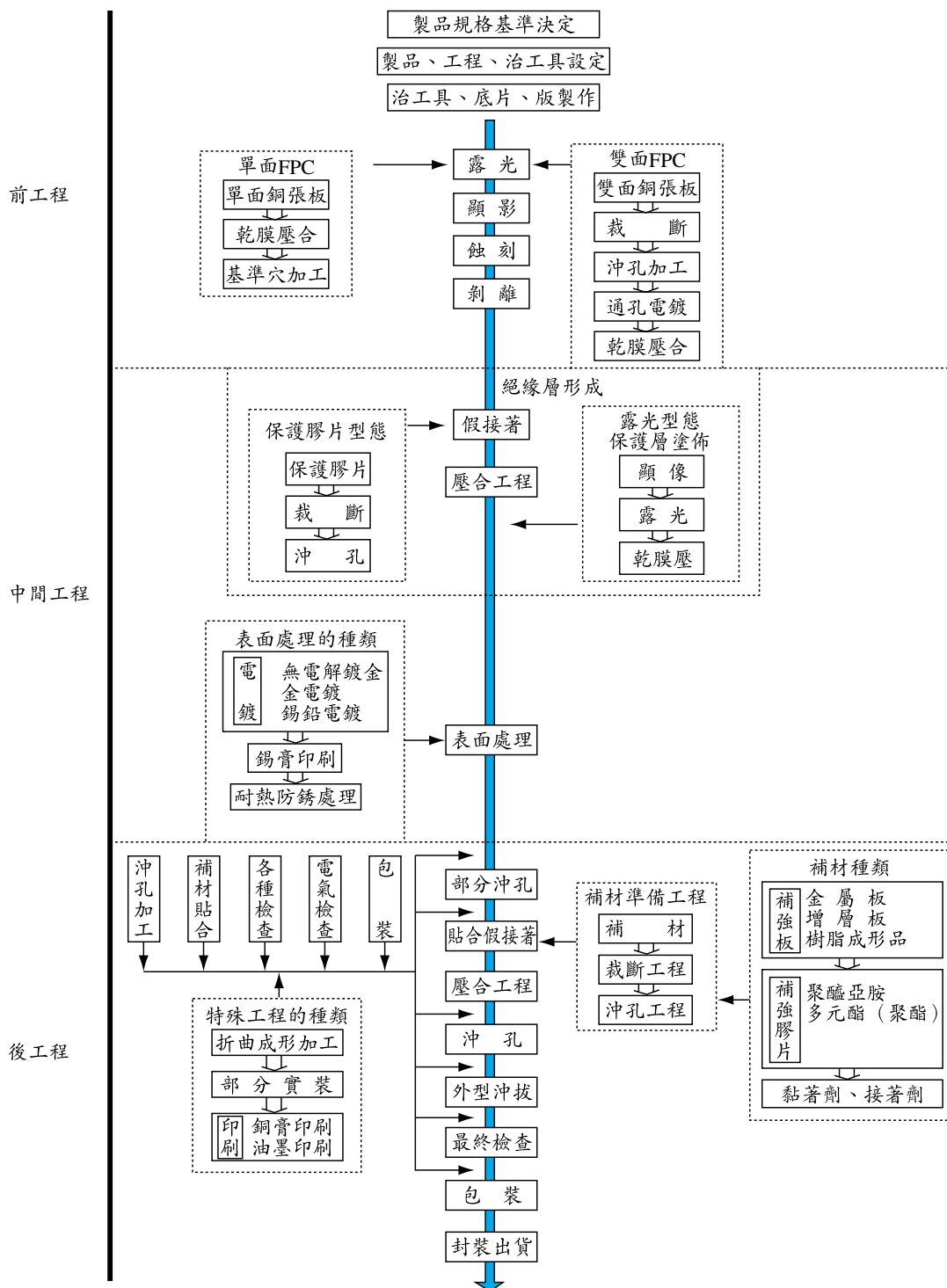
PCB的特性需求	銅箔特性
基本需求	Pin Hole Free
細線化／高密度化	薄化、低稜線
銅箔與基材間剝離問題改善	與樹脂接著力與耐熱性須提高 包括耐熱層不得降低接合性等
電氣特性優良，包括蝕刻後無殘銅、阻抗良好、銅原子遷移問題改善	銅箔厚度減薄、M面處理均勻， 抗熱層性能改善



▲圖七 應變率與折彎次數



▲圖八 退火時間與耐折次數



資料來源：工研院經資中心ITIS計畫

▲圖九 軟板製造流程

在高密度細線化及良好電氣特性的需求下，銅箔厚度減薄為必然趨勢，以目前FPCB業者的技術能力而言，線寬線距約50~75 μm ，未來4~5年內預估會降至25 μm ，現用銅箔厚度為35及18 μm ，因應高密度的需求，已逐步朝向12及10 μm 或以下厚度推進。製程技術上，如何提高軋延銅箔的平坦度為考量課題，厚度減薄後，要降低銅箔的Pin Hole，必須先降低原材中的氧化物等夾渣大小及含量，而要達到此一目的，必須在原材鑄製時降低其中的含氧量，及控制Zn、P、Mn、S等元素之含量，以維持軟化特性，並達到無針孔的目的。部分日本製造廠以無氧銅(C1020)中添加少量稀土元素來達到此目的。現階段FPCB廠在達到細線化／高密度化的產品需求時，往往是購入較厚之銅箔，以腐蝕製程將銅箔減薄，再進行線路蝕刻製程。

除厚度外，銅箔粗化後的粗糙度亦須降低，意即粗化製程須朝向細微化發展，但仍需維持與PI的接著性。早期軋延銅箔表面處理鍍層中，並無抗層(Barrier Layer)，因應後製程的耐熱特性需求，近年的銅箔已普遍有耐熱鍍層，耐熱層電鍍則朝向耐高溫的方向發展，通常是改善鍍層合金之成分，但仍需顧及銅箔與耐熱層之蝕刻速率不能差異過大。

傳統FPCB為Cu—接著劑—膠膜(PI or PET)結構，接著劑的厚度一般與膠膜厚度相當(約25 μm)。接著劑的存在，使軟板在線路更細密的使用需求中，無法滿足FPCB高耐熱、尺寸安定、電氣特性、耐燃及長期可靠性之需求，在細線

及減薄厚度的考量下，目前已朝向無接著劑之生產技術發展。目前已有的生產技術有塗佈法(Casting)，濺鍍／電鍍法(Sputtering/Plating)及熱壓法(Lamination)三種。塗佈法是以銅箔為基材，先在其上塗一層高接著性PI樹脂，高溫硬化後再塗第二層較厚PI，以增加基板剛性，經高溫硬化後即成無接著劑軟板。所用銅箔厚度在10 μm 以上時，以現有的塗佈技術與設備較無困難。但厚度更薄時，會因銅箔的剛性不足，PI樹脂硬化時之應力不易控制而導致銅箔卷曲，製程良率下降的問題。濺鍍／電鍍法是以PI膜為基材，在其上以濺鍍技術鍍上Cr、Ni等金屬將其表面活化，再以電鍍法將Cu鍍於其上至需要之厚度，優點為可任意控制銅箔之厚度，缺點為大面積之生產設備投資大，必須兼具乾濕二種製程，與PI的接著力亦較差。熱壓法是以PI膜為基材，先塗一層薄的熱塑性PI樹脂，高溫硬化後，將銅箔置於樹脂上，用高壓高熱使之接合。該方法較無銅箔因硬化時張應力不均而卷曲的問題，但製程成本較塗佈法高，銅箔與PI接合力亦較差，同時也會產生銅箔厚度在10 μm 下時，因剛性不足致製程良率下降之問題。

因應細線化、無膠化的軟板應用需求，軋延銅箔除降低表面處理製程技術，如降低粗糙度、提高耐熱溫度外，解決10 μm 下厚度剛性不足的問題，亦為技術上可突破的要點，ED銅以易剝離的承載體(Carrier)技術解決該問題，RA銅若能有適當的易剝離承載體技術，亦可解決該問題。