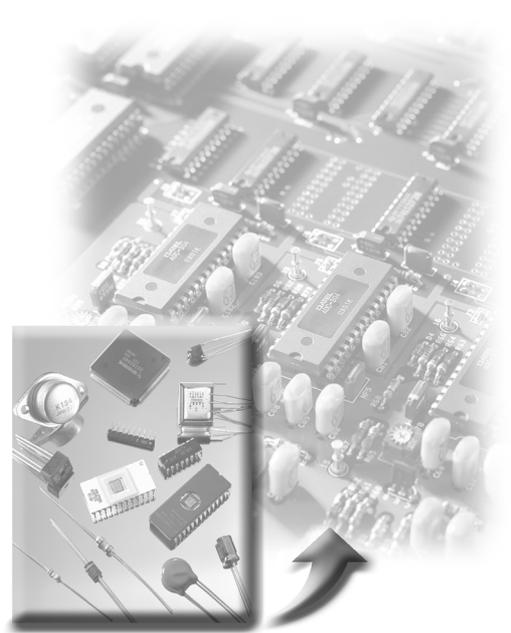


軟焊與錫料 (I)



第二層次的電子構裝是指將各式各樣的電子元件，如完成第一層次構裝之積體電路元件、各種被動元件等，依設計將之組裝在印刷電路板上之製程。在電子產品組裝製程中的連結，主要是以**軟焊 (soldering)**的程序完成。軟焊是利用熔點較低的合金**錫料 (solder)**，將待連結的上下基材固定在一起。軟焊的焊接溫度低於上下基材的熔點，但卻高於錫料的熔點。在軟焊的製程中，錫料首先因受溫而熔化；熔融的錫湯溼潤 (**wet**) 將被連接的上下母材，產生了液態錫湯與固態基材的接點界面。隨後溫度下降，錫料隨之固化，原來溼潤的界面即形成連結的接點，將上下的基材連結在一起。

焊接的製程主要有軟焊、**硬焊 (brazing)** 與**熔接 (welding)**，通常軟焊製程溫度較低。軟、硬焊與熔接最大的差異，在於軟、硬焊的製程溫度低於待連結的基材的熔點，熔接的溫度則高於基材之熔點。熔接的製程溫度於上下母材中並非均勻的，待連結的母材表面被加熱至其熔點之上，因而熔融形成一個**熔區 (welding zone)**。上下母材的融湯在熔區中混合，冷卻固化後形成接點。軟焊與硬焊的製程十分類似，都是以熔點較低的錫料做為連接的材料。軟硬焊的差別，則主要在製程溫度上。通常若是焊接溫度在 $350^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 以上稱為硬焊，在這操作溫度之下則稱為軟焊。但是這樣之區分亦有例外之處，如在使用玻璃作為錫料的光學系統中，不論溫度高低皆統稱硬焊。

軟焊是當今電子產品中最主要的連結製程方法，其製程最早可以推至

約 5000 年以前。在現今的電子工業中，估計僅一天就有數十億個錫點產生。除了一般最常見的應用於各種元件與印刷電路板之連結外，近年來因為覆晶 (flip chip) 接合製程之發展，軟焊更開始直接應用於積體電路與基板之連結上。鉛錫錫料則是當今電子工業中，最被廣泛應用的軟焊材料，其使用的最早紀錄則早在羅馬時代。雖然鉛錫合金性質良好，在電子產業中應用廣泛，其相關的製程與化學品技術都非常成熟；但因鉛對人體健康存在著可能的威脅，因此有著很大的尋找替代鉛的「無鉛錫料 (lead-free solder)」之呼聲。本章主要將探討焊接的製程，有關錫料將於下一章中介紹。

軟焊的製程主要區分為迴焊 (reflow soldering) 與波焊 (wave soldering) 二種型式。不論迴焊或波焊製程，錫料於二基材間並處於液態之時間很短，通常於一分鐘以下至數十秒之間。在如此短的時間中，熔融態的錫料須能立刻潤溼基材，才能有接著良好的接點。為了確保錫點之品質，在目前電子用軟焊的製程中，助焊劑 (flux) 的使用為標準的程序。助焊劑是具有活性、能清除表面氧化物與污物的化學品，主要成份為活性劑 (activator)、載劑 (vehicle)、溶劑 (solvent) 與添加劑 (additive)，其成份與功能將於下一章中敘述。助焊劑主要功能是在熔融態的錫料被引進之前，助焊劑須能先將待連結的表面清除乾淨，以提升錫湯對基材之溼潤性。但是助焊劑必須不能殘留於界面，若是殘留反而會降低錫點之品質。此外因為助焊劑通常會有腐蝕性，所以必須於軟焊製程後，予以洗淨清除。

迴焊的製程主要包括印刷電路板的上架，於印刷電路板上擺置上錫料，將待連結的電子組件擺置於錫料之上，含了組件的電路板通過迴焊爐，迴焊爐的熱源將錫料加熱熔融，錫湯濕潤上下基材，印刷電路板逐漸離開迴焊爐，錫點溫度逐漸冷卻後形成接點。迴焊爐通常是一個可以控制氣氛的長條型加熱區間，在此加熱區間內的溫度是有一定的分佈，如在入口與出口處的溫度較低，而在爐中間區域的溫度較高。當印刷電路板隨著輸送帶進入迴焊爐時，印刷電路板與其上的錫料與組件會逐漸被加熱，而慢慢進到了溫度較高的爐中心的區域。電路板與錫點實際上的溫度與爐溫的分佈，及輸送帶所傳送的速度相關，而其焊接過程中的實際溫度稱為其加熱曲線 (heating profile)，如圖 11.1 所示。

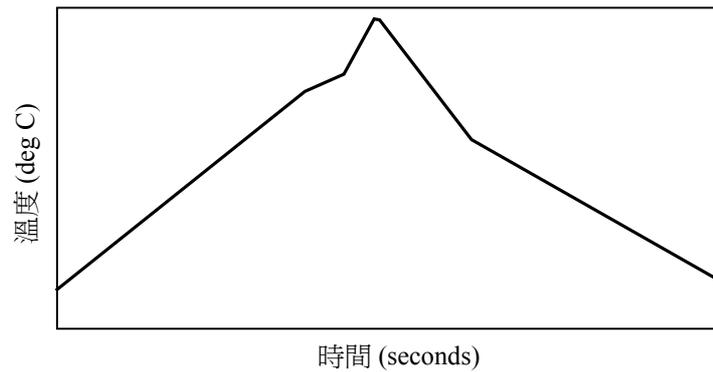


圖 11.1

在迴焊的製程中，最常使用的是錫膏 (solder paste) 形式的錫料。錫膏主要是由粉體狀的錫料合金、助焊劑與界面活性劑等所組成。在迴焊製程中，錫膏以厚膜印刷的方法，施加於印刷電路板上的錫點上。而在迴焊的製程中，當電路板初進入迴焊爐中時，如圖 11.1 所示其溫度較低。在此尚未超過錫料合金的熔點的溫度下，錫膏中的助焊劑開始流動發揮功效，逐漸將基材與錫料合金表面的氧化物予以清除，同時錫膏中的溶劑亦逐漸揮發。接著其溫度提高至合金之熔點之上，在錫膏中的顆粒金屬成爲粒滴狀的融湯。粒滴的融湯產生群體的聚集，成爲單獨的一顆，並與上下的基材潤溼連結。助焊劑的殘餘與其所移除的氧化物等則覆蓋於金屬接點的表面，等待清洗移除。

波焊製程中的錫料，通常是先被熔融於錫爐 (solder pot) 中。通常於錫爐前，有一個承裝助焊劑的爐子，助焊劑被於此爐中加熱。待連結的母材首先被擺置於印刷電路板上合適的位置，然後電路板被引入此助焊劑的爐中。因爲助焊劑所用的溫度，通常低於錫湯之溫度；所以此步驟的功能，除了在連結的位置施用助焊劑外，亦兼有預熱基材的功能。助焊劑潔淨錫點上的銅基材之表面，然後此電路板在被引入錫爐中。錫湯濕潤進入於接點之界面中，待冷卻後完成焊接。因爲完成線路後的印刷電路板，會於其上塗上防焊用的綠漆，而僅將待連結的錫點位置裸露出來。綠漆除了可以保護線路外，因爲錫湯對綠漆無法潤溼，因此也可以防止錫湯沾黏在不當的位置。

爲了確保電路板經過錫爐之短暫時間內，錫湯可以迅速的濕潤基材，並有足量的錒料可以進入到接點中，所以錫爐中皆有產生波浪之裝置。波浪之產生可以有許多不同之型式。這些產生的錫湯波浪，提供了未被氧化的金屬融湯，以及較佳的與基材接觸方式，可以在最短的時間內獲得較佳的焊接效果。在波焊的製程中，各個電路板連續的引進到錫爐中。電路板與錫湯接觸時，錫湯固然會潤濕基材，沾黏於接點上；然而接點之金屬，亦會因溶出的效應，溶入於錫湯中。受到污染的錫湯可能會產生濕潤性不佳，引起不良軟焊的問題，因此確保錫爐的融湯品質就十分重要。除了無可避免的溶出外，錫爐內融湯的組成會受到意外的元件掉落等其它不良的操作程序而產生劣化。

電子組件依其連結於印刷電路板上型式之不同，如圖 11.2 所示，可區分爲表面黏著元件 (surface mount device, SMD) 與插件式元件 (pin through hole device, PTH)。其所須的軟焊製程安排也不相同。以雙面都有元件，且同時包含了表面黏著元件與插件式元件的電路板爲例，如圖 11.3 的流程就是可能安排之一。首先在印刷電路板之 B 面，於擬擺置表面黏著元件之處，以點膠的方式點上高分子膠，再將元件擺置於膠上。隨後此電路板以紅外線加熱，或照射紫外光等方法將高分子膠熟化，以將元件固定。此步驟是爲了固定元件，所以黏膠的位置主要是在元件的本體上，但並不是在可導電之接點上。

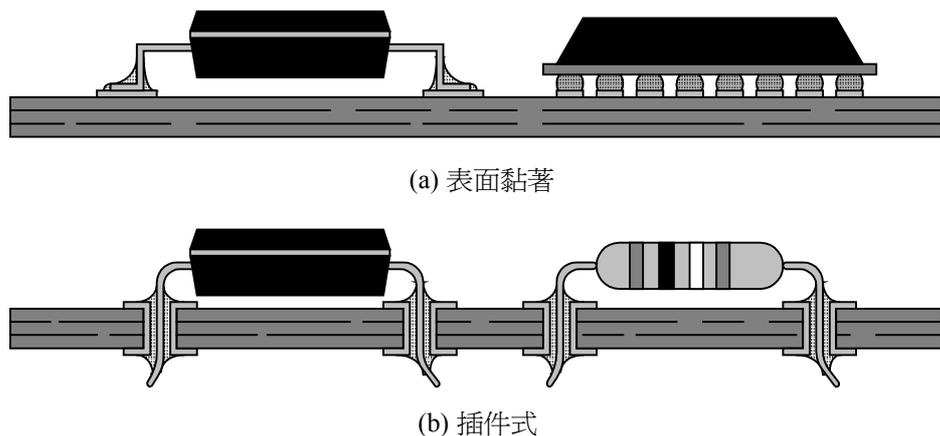


圖 11.2

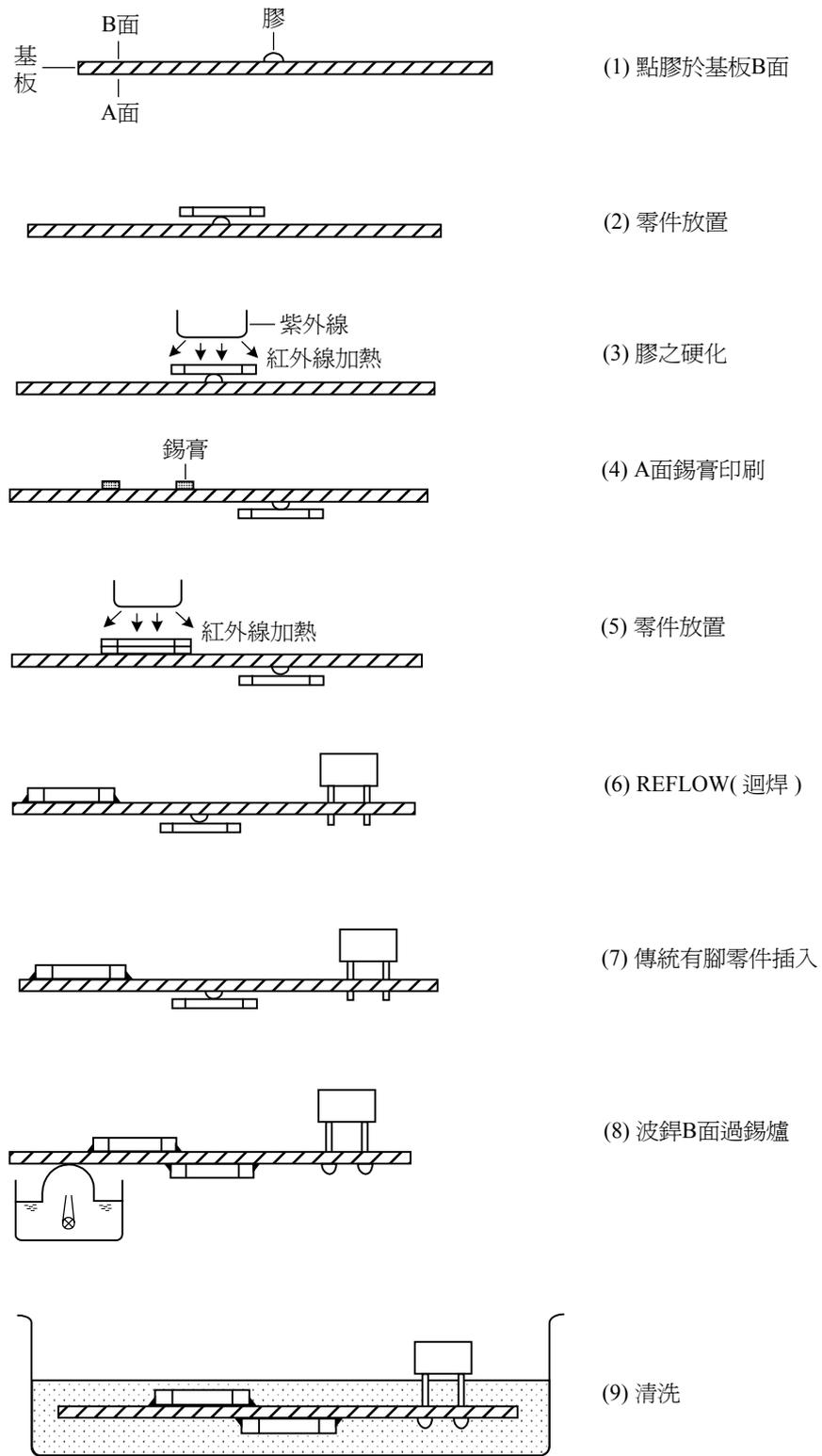


圖 11.3 雙面印刷電路板組裝流程

隨後將電路板翻轉成 A 面朝上，於其上擬擺置表面黏著元件處印上錫膏，將表面黏著元件擺置於錫膏之上。將電路板引經過迴焊爐，經由迴焊的製程，完成了 A 面表面黏著元件之接著。接著將插件式元件插於正確之位置，將此電路板引經過波焊爐。錫湯沖刷印刷電路板朝下的 B 面，此錫湯潤溼固定於 B 面之表面黏著元件的接點，於其接點上產生錫點；此外錫湯並經由毛細力量與波焊的噴嘴力量，進入位於 A 面插件式貫穿至 B 面的通孔，產生了插件式元件的錫點。此完成了焊接的印刷電路板，再經清洗去除表面的助焊劑與殘餘，完成了焊接之製程，產生了於 A 與 B 面各有表面黏著元件，而在 A 面有插件式元件的電路板。

現今表面黏著元件與插件式元件，在電子產品之應用上仍有各自之市場。然而因為表面黏著元件之接點，不須穿過多層之電路板；電路板之空間可以較為有效之應用，所以已漸成為產品之主流。而在焊接的技術上，使用錫膏的迴焊技術也漸漸獲得多數工業界之採用。因此使用迴焊方法將表面黏著元件組裝於印刷電路板上，是目前電子工業最常見的程序。常見的迴焊缺陷包括熱融落 (heat slump)、架橋 (bridging)、念珠狀錫 (solder beading)、毛細管現象 (wicking)、彎曲 (skewing)、翹件 (tombstoning)、開路 (opening)、空孔 (voiding)、冷接點 (cold joint)、濕潤不佳、浸溼 (leaching)、介金屬過厚、大晶粒尺寸、破裂 (cracking)……等。上述的缺陷與所用錫膏的配方及溫度曲線息息相關。

熱融落的起因主要可能是因加熱過快。錫膏主要是由溶劑、界面活性劑與合金顆粒所組成。當溫度提高時若組成不變，錫膏之黏滯性會降低。然而因為溫度提升，溶劑會產生揮發的現象，降低錫膏中溶劑的量，造成錫膏的黏滯性提高。若是加熱速率過快，則溶劑之揮發速率跟不上黏度之降低，也就容易產生流動性太高之熱融落現象。嚴重的熱融落會引起錫錫流過絕緣的區域，與臨近的錫錫接觸，產生了架橋的現象。此外太快速的加熱，也會產生溶劑的急遽汽化，造成類似沸騰的現象。此急衝而出之氣體，衝擊分散了錫錫融湯，形成了小念珠狀而不是聚集在一起之錫錫。軟焊完成後，原先分開的顆粒錫錫，均應聚集在一起。若是形成一顆顆的錫球 (solder balling)，亦可能因類似念珠狀錫之形成原因，是由過快加熱所產生之氣體噴灑所產生。但錫球之缺陷，亦有可能是因錫料顆粒表面之過

度氧化，造成融湯無法聚集所形成。

彎曲之主要原因則是來自於組件二端之潤濕不平均，而潤溼力之不平均又通常來自於溫度之不均勻。當組件之一端溫度較高，則其鉛錫先行熔化，與基材產生了較大之濕潤力，於是將組件扭轉至較接近溫度較高之一端，產生組件之彎曲現象。若是此溫度之差異較大，組件之一端以產生十分巨大之濕潤力，另一端卻仍未潤濕，則亦有可能將組件未潤濕之一端拉離電路板表面，產生翹起之**墓碑效應 (tombstone)** 之嚴重缺陷。彎曲與翹件之缺陷因為主要是肇因於溫度之不均，所以改進的方法就在於以在熔點附近須採用較慢的加熱速率，以及改進預熱的型式來獲得改善。此種溫度之差異若是出現在與電路板垂直之方向，則可能會引起毛細管現象。因為基板的溫度過低，熔融的鉛料不與基板潤溼；而因組件上的溫度較高，鉛湯順著組件之引腳向上吸附。嚴重毛細管現象可能會產生鉛料完全在引腳上，但是接點卻沒有鉛料之開路的現象。

冷接點之缺陷，是因其迴焊之溫度過低所引起。一般而言，迴焊之**最高溫度 (peak temperature)** 要比其金屬之熔點高 30~40°C。溫度過低會引起濕潤不良，甚至亦會引起錫粒間之聚集不全，形成球狀錫之缺陷。但是若是加熱至溫度過高，除了可能會引起介金屬相之過度成長外，甚至可能會引起基板之焦化或銅箔與絕緣層間之**脫層 (delamination)** 現象。不良之濕潤亦有可能是因基板之過度氧化所造成。而錫粒與基板之過度氧化，有可能是因原料之品質不佳，但亦有可能是因在鉛料熔融前，就已有過多之熱量被引進，於是形成其表面之過度氧化。降低加熱過程之時間，通常可以減低過度氧化之困難。空孔之產生主要是因加熱過程中，鉛膏中溶劑之排氣所形成。此處空孔主要是指存在於鉛料中之空孔，若是出現在界面處之空孔，則其機制將更為複雜，亦可能不是單一原因。鉛點之破裂，主要是因應力所導致，而應力之來源主要在於過於快速之降溫。但是若是降溫過慢，對鉛點造成回火之熱處理效果，則可能會產生過於粗大之晶粒。

電子產品之連結技術，雖然目前以軟焊為最主流，但並非完全沒有任何挑戰。異向性之導電膠，以較低之操作溫度，就存在著些許之優勢。然而軟焊以較成熟的製程與較佳的導電性，迄今地位屹立不搖。軟焊技術中存在著二種非常好的特性，是導電膠所不能相比的。其中之一是**自我對準**

性 (self alignment)，另一項則是其重工性 (rework)。自我對準是指在軟焊之製程中，上下連接基材的對位容許些微之偏差。當錫料熔融後，錫料濕潤了基材，因為錫料融湯為減小表面張力之故，會自動將上下基材拉至對準的位置，以縮小其錫點之表面積，此稱為自我對準性。重工性則是指組裝在電路板上之組件，若其組件或其接點存在著缺陷，將原有組件取下，重新擺置與連結新組件之能力。軟焊之重工，通常使用區域性之加熱設備，將擬移除之組件加熱，以將其錫點之錫料熔融，再將組件移除。而在原錫點之殘留錫料，通常可以以吸嘴將之清除。重工後之軟焊產品，其性質可以達到接近原有產品之水準。導電膠因黏度高，並無自我對準性。而且導電膠熟化後，並無如金屬可以藉由加熱熔融，以將組件移除之能力，所以重工性亦不能與軟焊製程相提並論。

軟焊雖然是已具有久遠歷史的製程，然而因為應用對象與要求之不斷推陳出新，製程上的改進與技術的發展仍是日新月異。如目前所發展之無鉛錫料合金，其熔點皆高於目前的錫鉛共晶錫料。因此如果使用了無鉛錫料，那軟焊之溫度就必須提高。軟焊之溫度提升，是否會引起基板耐熱性之問題？目前基板所用之漂錫測試條件，也必須隨之有所更動。目前非常熱門的覆晶技術，將軟焊又帶入到另一個新的境界。因為其錫點尺寸遠小於目前的錫點，其錫料的引入方法將大有不同；此外其產品對缺陷容忍度之要求，也會與一般之軟焊有所不同。這些都是軟焊技術在持續改變中，所持續衍生的新問題，也端賴工程研究人員的持續努力解決。



參考文獻

1. R. J. Klein Wassink, "Soldering in Electronics", Electrochemical Publications, 1989.
2. "Electronic Materials Handbook", Vol. 1: Packaging, ASM, Materials Park, OH, 1989, pp.682-729.
3. R. R. Tummala 著，陳信文、陳立軒、林永森、陳志銘譯，微系統構裝基礎原理，2002, pp.666-703。
4. 白蓉生，電路板會刊，第 12 期，2001，pp.23-39。

5. N.-C. Lee, 1998 年先進電子封裝趨勢研討會，1998，pp.5.1-5.10。
6. 陳信文，電子與材料，創刊號，1999，pp.74-77。



本章習題

1. 簡述軟焊與硬焊及熔接之異同。
2. 簡述迴焊。
3. 簡述波焊。
4. 何謂表面黏著元件？
5. 迴焊中架橋之缺陷，所指為何？應如何避免？
6. 迴焊中翹件（墓碑效應）之缺陷，所指為何？