

## 第二章 文獻回顧

### 2.1. 元件與電路板的組裝技術

電子封裝目的之一在建立積體電路 (Integrated Circuit, IC) 晶片的保護與模組架構，以避免受到環境因素所導致的破壞[3]。電子封裝的過程也包含完成封裝之元件與其他電子零件的接合，其可區分為圖 2-1 所示的四個層次。

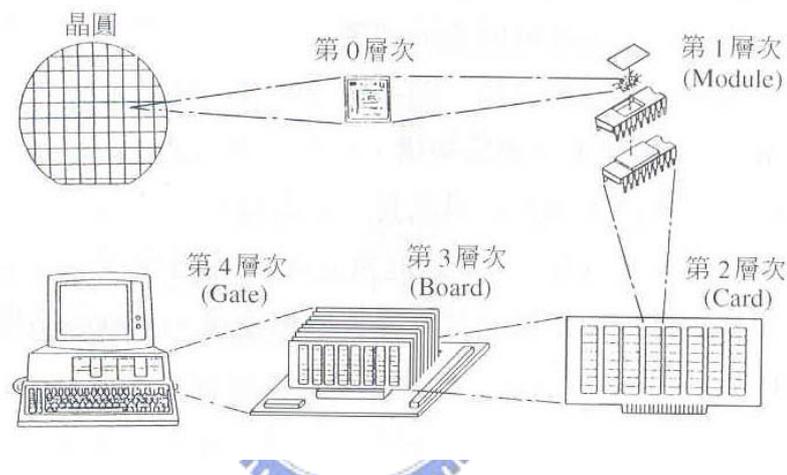


圖 2-1. 電子封裝的層次區分[3]。

- (1) 第一層次又稱為晶片層次封裝 (Chip-level Packages)，係 IC 晶片與封裝基板或導線架 (Leadframe) 間的黏結固定，電路連線及密封，使其成為一個容易取置、運輸、可和第二層次封裝進行接合的模組元件 (Module)。
- (2) 第二層次封裝係將第一層次所完成的模組元件與其他電子零件連結組裝在電路板上的製程，使成為一個次系統 (Subsystem) 之製程。模組元件與電路板透過引腳 (Lead)，採用適當的銲接技術進行接合，製程步驟也包括後續之清潔與電路板塗封。銲接技術需視引腳分佈、封裝元件材料、引腳多寡、引腳間距及接合方式而定。
- (3) 第三層次是將數個完成第二個層次封裝的組裝電路卡 (Card) 組合於主電路板 (Mother Board) 上成為一個準系統之製程。
- (4) 第四層次是將準系統與外殼等組合為一個獨立的系統或是完整的電子產

品 (Gate)。

在第二層次封裝中，依據其引腳形狀與其與電路板的接合方式可以分為插件式接合技術 (Pin Through Hole, PTH, 或稱為引腳插入式接合技術) 與表面黏著接合技術 (Surface Mount Technology, SMT) 兩種，見圖 2-2。

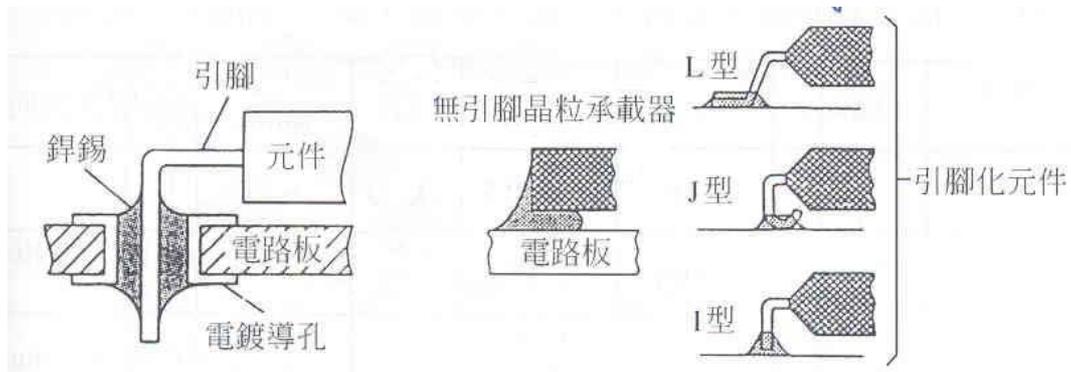


圖 2-2. PTH與SMT之接合方式：(a) PTH；(b) SMT[3]。

PTH 元件以細針狀或薄板狀的金屬引腳插入腳座 (Socket) 或電路板的電鍍通孔 (Plated Through Hole, PTH) 中進行銲接固定。SMT 接合則先將元件以黏結劑 (Adhesive) 或錫膏 (Solder Paste) 暫時黏接固定於電路板銲墊位置上，再以波銲 (Wave Soldering, 見圖 2-3) 或迴銲 (Reflow Soldering) 技術完成元件與電路板之接合。然而並非所有積體電路晶片皆具備表面黏著元件 (Surface Mount Device, SMD) 之封裝形式，故目前許多產品係將插件式元件與表面黏著元件組裝在同一塊電路板上，此被稱為混載技術 (Mixed Technology, MT)。

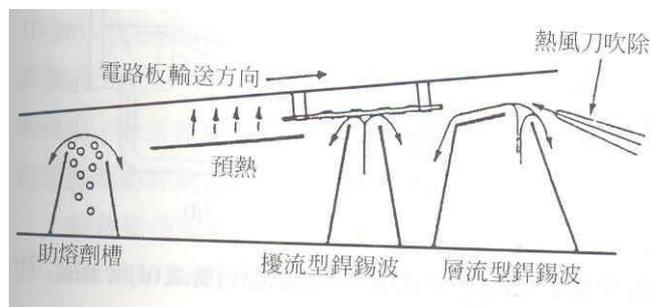


圖 2-3. 波銲程序示意圖[3]。

使用迴銲技術進行 SMT 之接合時，須先將錫膏塗佈在電路板的銲墊上，再

以汽錫(Vapor-Phase Soldering)、紅外線迴錫(IR Soldering)、傳導迴錫(Conductive Soldering)等方式加熱錫膏熔融而完成接合。汽錫又稱為凝錫(Condensation Soldering),係SMT常使用的錫接方法之一,其原理係利用氟碳化合物蒸氣凝結放出的潛熱(Latent Heat)使錫錫熔融而完成接合。紅外線迴錫利用紅外光輻射能量進行錫接。傳導迴錫則以發熱體對引腳接點或黏有元件的電路板加熱而完成接合。1980年代起,SMT的諸多優點使其在產品組裝的應用愈來愈廣,目前SMT在市場的佔有率已遠駕凌PTH上。

## 2.2. 選擇性錫接技術

選擇性錫接係選擇性地對錫錫加熱熔化,使鄰近元件或基板所受到熱傷害降低到最小,減少元件與基板間熱膨脹係數差異導致的熱應力問題。其係一種自動化、可程式控制式的技術;自動化可使錫點品質一致,可程式控制化使其應用彈性(Flexibility)高,能輕易地錫接各種元件、形狀特殊的引腳及處於不同位置的錫點,且可因應高複雜度的電路板組裝。若於氮氣環境下進行,可促進錫錫與引腳間的潤濕性並將氧化程度減到最低程度,因此對於無鉛錫錫高熔點、氧化速度快及潤濕性差的缺點可作彌補。加上減少錫錫與助錫劑的使用,達到環保的需求。

選擇性迴錫依應用範疇分為兩大類[4]:

- (1) 應用於電路板組裝層次上(PCBA-level Selective Soldering);
- (2) 微間距錫點錫接(Micro Selective Soldering)。

在MT組裝技術中,若有部分元件無法承受迴錫爐裡的高溫,迴錫即須分段完成。此種MT組裝之錫接步驟為先完成迴錫後,再以手動方式補充錫接無法承受高溫的元件,但手工錫接元件有耗時耗力,且錫點品質不一的缺點。之後有人提出以遮板(Pallet)蓋住完成迴錫的SMD,再將未接合的PTH元件以傳統波錫完成錫接,以避免錫錫之高溫傷及SMD元件,但遮板價格昂貴、訂作耗時、不適用高密度元件組裝、須以人工方式控制遮板,且無法使用於元件間高度差異大的組裝中[5]。

近年來則以選擇性波錫則為技術主流,其原理係利用特製噴嘴(Nozzle)選擇性地將適量錫錫噴附於導孔下端,錫錫因毛細現象可迅速填滿導孔。由於錫錫熱傳導(Thermal Conductivity)速度夠快可有效地縮短電路板在迴錫溫度下停留

的時間，加上僅需較傳統波銲更為少量的銲錫，可降低鄰近元件受熱影響的機率。選擇性波銲技術依形式可分為單點式波銲（Single Drag Wave Soldering 或 Drag Soldering）及多點式波銲（Multidip Wave Soldering 或 Dip Soldering），如圖 2-4 所示[6]。單點式波銲係利用機械手臂精準地移動或轉動電路板使待銲區位於單一噴嘴與單一助銲劑噴灑口的上方，以點對點的銲接方式完成接合，因此可精準地銲接任何獨特銲點，耗時為此一方法之缺點。多點式波銲係依電路板設計的不同訂作噴嘴板（Custom Nozzle Plate），板上含許多噴嘴，僅需將電路板上所有的待銲區精準地接觸對應的噴嘴即可一次完成所有銲接，故較省時間。若能善用兩種方式的優點可使成本花費最小。

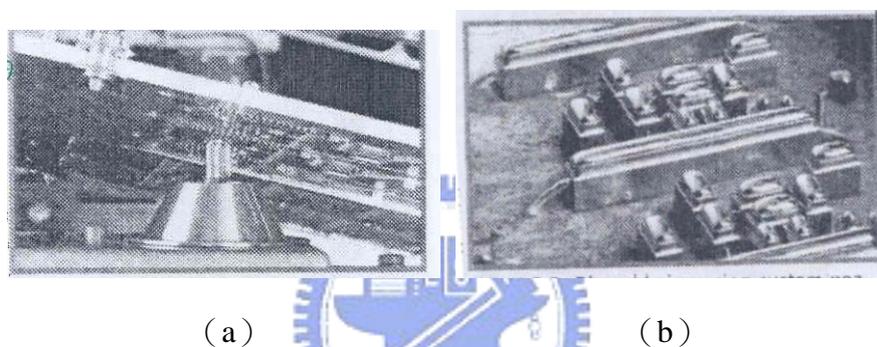


圖 2-4. 單點式波銲及多點式波銲：(a) 單點式波銲之單一噴嘴及 (b) 多點式波銲特製噴嘴板[6]。

在微間距銲接應用上，早期係採用自動化烙鐵（Robotic Soldering Iron）法 [7]，其利用機械手臂握持烙鐵精準地移動至每一個銲點加熱錫絲或錫膏完成銲接。此方法雖行之有年，但有無法有效地控制熱能輸入及銲點品質不一等缺點。之開發的感應式加熱法（Induction Heating Method）則是將元件與電路板置入導線線圈內，藉由高頻電壓使線圈內磁場發生改變，封裝體內部金屬為因應磁場的變化產生電子流，藉由焦爾效應（Joule Effect）所產生的熱能對銲點加熱完成銲接，如圖 2-5 所示。此法係非接觸式接熱且可大量迴銲，然而受限於引腳形式、元件放置之位置、元件內部金屬成分等因素，技術層次極高。

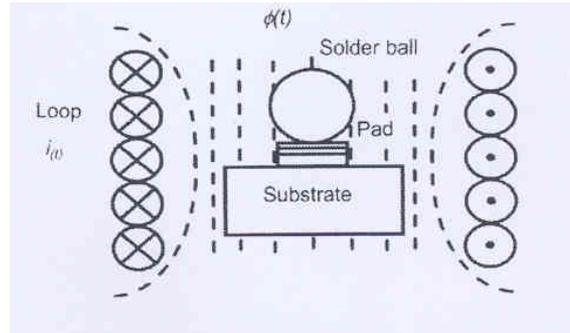


圖 2-5. 感應式加熱法示意圖 [7]。

隨著光學技術、半導體技術能力日益精進，將光束聚焦成加熱源應用在銲接上的自動光束銲接法亦被開發出來。自動光束銲接法係一種之點對點、非接觸式銲接方式，其銲接步驟為：光束移到銲點位置  $\Rightarrow$  錫絲定位準備供給  $\Rightarrow$  光束加熱銲點完成銲接  $\Rightarrow$  錫絲離開  $\Rightarrow$  關閉光線或移到下一個銲點進行接合。此法也適用於迴銲，但因其能量密度較高，須選低揮發性和低濺錫特性的助銲劑才能有效地完成銲接。由於其具有光束聚焦點小及高能量密度的特點，可在短時間內形成高質量、低缺陷的銲點，又可輕鬆地應用於傳統迴銲所無法進行的高複雜度電路板組裝上，為具高複雜性之微間距組裝技術提供一個解決方案，目前常見的光束迴銲技術有雷射迴銲[7]及聚束白光迴銲（Focused White Light Soldering）[8]。

聚束白光迴銲類似於將太陽光通過凸透鏡聚焦產生熱能，其中以 Panasonic Factory Automation（Franklin，IL）所設計的 Panasonic Soft-Beam 系統最為成功 [9]，如圖 2-6 所示。Panasonic Soft-Beam 係將 1500 W 氙氣燈（Xeon Lamp）的光束經聚焦後經光纖傳送以進行銲接，可藉由調整光纖與透鏡的相對位置改變光點的大小及焦距，其最小焦點直徑約 1 mm。因其光束波長範圍大可應用在多種材料上的加熱，且設備成本較為低廉。

雷射迴銲系統架構如圖 2-7 所示。相較於聚束白光迴銲，雷射迴銲提供更高的能量密度及更小的光束直徑，因此更適用於微間距的組裝接合。至今，綜觀所有自動光束銲接技術中，以雷射系統具獨特的優點，如加熱點小及優良的銲點品質等，加上二極體雷射的發展，雷射迴銲已迅速地取代其他光學銲接組裝技術。

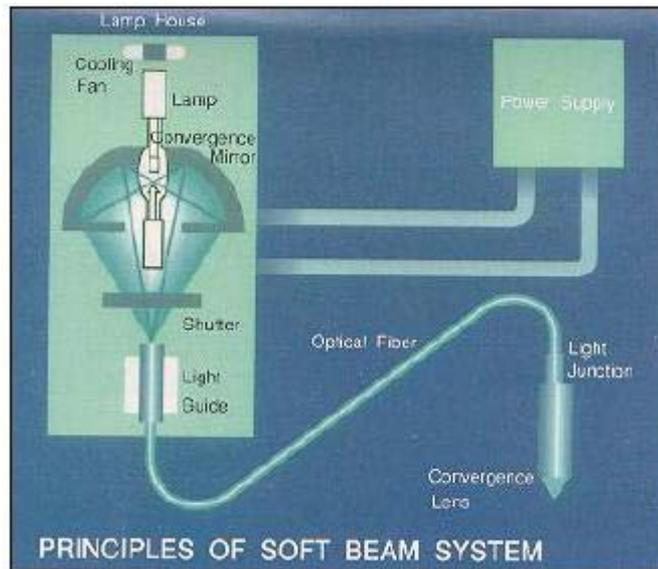


圖 2-6. Panasonic Soft Beam系統示意圖[9]。

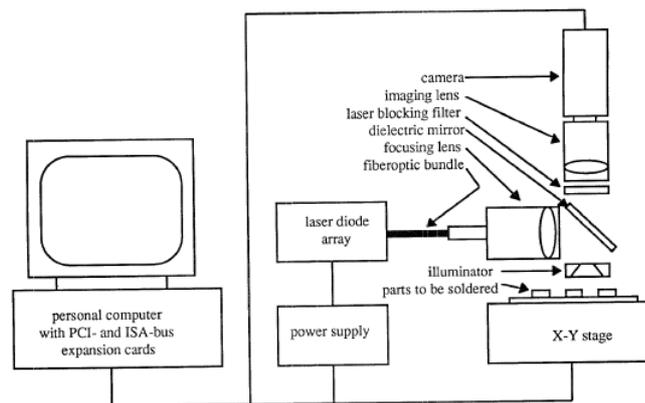


圖 2-7. 可程式控制之雷射迴錫系統[10]。

### 2.3. 雷射選擇性迴錫

1974 年，C.F. Bohman提出將雷射應用在錫接上的可行性[11]，並於 1977 年利用二氧化碳雷射（CO<sub>2</sub> Laser）對SMD進行錫接，而YAG雷射則於 1982 年首次被使用於錫接上。雷射在錫接技術上的應用依其用途可細分為雷射迴錫（Laser Reflow Soldering）、雷射錫錫接合（Laser Solder Bonding）、雷射錫球植入（Laser Solder Bumping）等，其基本原理皆為使用雷射光加熱錫錫使之熔融及加熱錫墊，達到潤濕效果完成錫接。

相對於傳統迴錫，雷射迴錫具有下列優點：

- (1) 局部加熱，對鄰近的元件及電路板沒有直接的熱影響；
- (2) 加熱速度和冷卻速度快，接點組織細密，可靠度高；
- (3) 非接觸式加熱；
- (4) 可根據元件接點的種類不同，實行不同的加熱模式，適用性高；
- (5) 自動化程式控制操作，可獲得較為一致的接點品質；
- (6) 雷射點極小，可做微錫點處理；
- (7) 可不用助錫劑。

但雷射迴錫亦有下列缺點：

- (1) 加熱系統設備昂貴；
- (2) 耗時，僅能逐點加熱故無法同時大量生產；
- (3) 雷射無法應用於金 (Au) 表面的錫接，因為金的對雷射光反射率過高，加熱效率不佳。

由於傳統迴錫技術進行 SMD 接合時，須先利用網印 (Screen Printing) 或鋼板印刷 (Stencil Printing) 技術將錫膏塗佈到電路板錫墊上，但在引腳間距小於 0.02 英吋後錫膏印刷技術將因錫膏坍塌而無法使用，此外在微間距錫接中由於 SMD 錫墊尺寸較小，對應的接合強度亦較弱，且腳距小相鄰錫點的熱影響將變得更為重要。雷射迴錫與傳統迴錫最大的差異為其係可聚焦至微米尺寸的非接觸式加熱源，電路板上元件毋需承受相同的升溫速度及高溫環境，因此迴錫溫度不受元件安全溫度之限制，且可避免對元件或電路板造成直接的傷害及降低鄰近的元件或電路板所承受的熱損害，再者雷射能量密度高，可使錫錫快速升溫且急速冷卻，致使錫點的微結構組織更為細小緻密，因此機械性質佳。自動化程控操作使得錫點品質一致，且雷射加熱條件可因應錫點強度需求或錫錫不同隨時更動。

此外，環保意識高漲導致蒙特婁議定書 (Montreal Protocol) 及京都協議書 (Kyoto Protocol) 之訂定，其中對氟碳化合物電路板清洗技術之禁止及對導致全球溫室效應的揮發性有機物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 使用之限制，使電子封裝產業亦發生許多變革。為因應此一限制，市面上已售有免洗式 (No-clean) 助錫劑及水洗式 (Water-soluble) 助錫劑，無助錫劑錫接技術 (Fluxless Reflow) 亦是大家努力的目標之一，而雷射迴錫技術即為無助錫劑錫接技術之重要選擇[12-14]。

雷射迴錫技術雖已發展數十年，但由於設備昂貴、體積龐大、產能低等缺點

遲遲未能被廣泛地採用，近年來二極體雷射技術之發展迅速，體積小且設備費用較低廉，才又再度引起業界的注目。雷射迴錫有 Nd:YAG 固態雷射、二氧化碳氣體雷射及二極體雷射。二氧化碳雷射、YAG 雷射與二極體雷射波長分別為 10.6  $\mu\text{m}$ 、1.064  $\mu\text{m}$  及 810 nm。理論[15]及實驗[16]證明，波長越長，金屬表面反射率越低，二氧化碳波長最長，能量被鉛錫吸收之效率愈高。然而由於其能量密度過高，常使鉛錫升溫過高而汽化[17]，且其雷射能量分佈呈近高斯分佈（Close-to-Gaussian Distribution）未能均勻地加熱鉛錫，故二氧化碳雷射未被組裝業者廣泛地使用。YAG 雷射則有價格昂貴、體積龐大笨重、波長較長及燈絲生命期（Lifetime of Flashlamp）短等缺點，現今已有新技術 DPSS（Diode-pumped Solid State）雷射[18]可改善 YAG 固態雷射燈源生命期短的缺點，但整體經濟價值沒有二極體雷射效率來得好。目前市面上有 YAG 雷射迴錫機台及二極體雷射迴錫機台二種。

#### 2.4. 雷射迴錫技術研究之回顧

早期雷射系統曾用來輔助迴錫，藉雷射激發  $\text{CF}_4$ 、 $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  及  $\text{SF}_6$  等氣體，氣體受激發後與錫點表面產生化學變化，清除錫點表面的氧化物，因此稱為雷射輔助迴錫（Laser-Assisted Soldering, LAS）；相對於市面上助錫劑，又稱為雷射輔助乾式迴錫（Laser-assisted Dry Process Soldering）[19-20]。Jong-Hyun Lee[12-13] 等人提出在氮氣氛圍下，雷射錫點因溫度梯度過大導致液相鉛錫流動，有助於錫點氧化物的清除（Marangoni Effect）。Wang 等人[14]發現真空狀態下進行無助錫劑迴錫時，需在高溫才能降低鉛錫表面張力，因此錫球表面必須過熱（Overheating）才能達到潤濕效果，恰好符合雷射加熱的特性。以下為雷射迴錫相關研究的扼要回顧：

- （1）Elke Zakel 等人利用脈衝式雷射加熱共晶金錫鉛錫，藉由調整功率成功地完成 TAB 內引腳的接合[21]；
- （2）Wenge Yang 等人以連續式（Continuous Wave, CW）YAG 雷射加熱錫銀（Sn-Ag）發現，因為雷射具  $10^4\text{C}/\text{sec}$  的冷卻速率，相對於紅外光迴錫  $10\text{C}/\text{sec}$  的冷卻速率使得晶粒沒有足夠時間成長，故雷射迴錫所得的  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  晶粒較紅外光迴錫所得的小。同時雷射迴錫溫度介於  $400\text{C}$  至  $600\text{C}$ ，可在錫球內部與界面以樹枝狀型態呈現的  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相，經過 72 小時

- 時效 (Aging) 始發現一薄層 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相[22]；
- (3) Paul Wesling 等人將連續式 YAG 雷射應用在 TAB 內引腳銲接 (Inner Lead Bonding, ILB) 上，探討雷射功率、加熱時間對接點強度的影響[23]；
  - (4) Noriyuki Kubota 等人以連續式 YAG 雷射對 TAB 的外引腳 (Out Lead Bonding, OLB) 銲接，發現 YAG 雷射本身輸出能量不穩定，需回饋控制才能使能量穩定以及聚焦於引腳上避免電路板燒焦，達到上述兩點要求可得到一致銲點品質[24]；
  - (5) Jong-Hyun Lee 等人嘗試在氮氣氛圍中使用連續式 $\text{CO}_2$ 雷射對共晶錫鉛錫膏迴銲，其銲點剪力強度約 15 Nt，僅略低於傳統迴銲。他們也觀察到離焦 (Defocus) 入射可使錫球升溫速率減緩，更為均勻的受熱且在破斷面未觀察到缺陷。在數十微秒的加熱時間，其顯微金相皆可觀察到層狀 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相與條狀 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相的生成，其中 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相隨時間加長而明顯增厚[13]；
  - (6) Wang 等人的研究顯示助銲劑揮發會吸收部份的雷射光，且助銲劑使得熔融的錫鉛液相表面光亮，減少銲錫對雷射光的吸收，故錫鉛僅吸收部分能量，因此加熱曲線較為緩和[14]；
  - (7) Jong-Hyun Lee 等人嘗試將 UV 雷射光從玻璃背面加熱錫球，如圖 2-8 所示。其可獲得 IMC 厚度不及  $0.5 \mu\text{m}$  且強度佳的銲點，並能應用在面板業盛行的封裝技術如 COG (Chip-on-Glass) 接合上[25]；
  - (8) Yanhong Tian 等人觀察以連續式 YAG 雷射迴銲將錫鉛球接合於金/鎳/銅/BT 基板上，並觀察 IMC 形貌及種類。由於雷射能量密度大與加熱時間短的特性，其 $\text{AuSn}_4$ 相型態異於傳統迴銲所得，且最終迴銲結果深受最後一次迴銲的影響，他們的有限元素模組 (Finite Element Module, FEM) 模擬發現銲點頂部與底部的溫度差將近  $100^\circ\text{C}$ [26]；
  - (9) Soon-Min Hong 等人利用脈衝式 YAG 雷射加熱錫銀錫球，發現由於脈衝寬度過短，錫球僅局部與銅墊發生迴銲接合，其剪力強度僅 3-6 g，且錫球的頂端會出現類似火山口的凹陷 (Crater)，如圖 2-9 所示[27]；
  - (10) Wei Liu 等人使用脈衝式 YAG 雷射迴銲進行錫銀銅 (Sn-Ag-Cu) 與金的接合，其微觀結構觀察發現，高能量才能使銲錫與銲墊潤濕區域增大，利用二次脈衝式雷射加熱始能達到迴銲效果。雷射加熱快速升溫與快速退火的特性使得介金屬呈現異於傳統迴銲的形態，且可觀察到 $\text{Au}_2\text{Sn}$ 介

穩定相 (Metastable Phase) [28]；

- (11) Lei Wang等人使用脈衝式雷射加熱錫墊表面探討錫銀鉛錫與銅墊的潤濕性。以脈衝時間為 8 msec的條件加熱，可於界面見到棒狀 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相及層狀的 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相[29]。

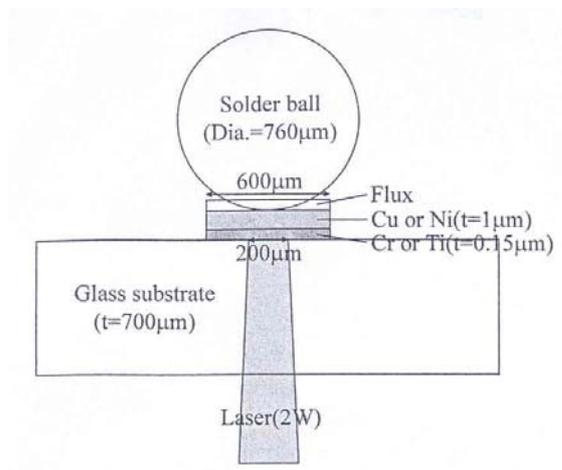


圖 2-8. UV雷射光從玻璃背面加熱錫球示意圖[25]。

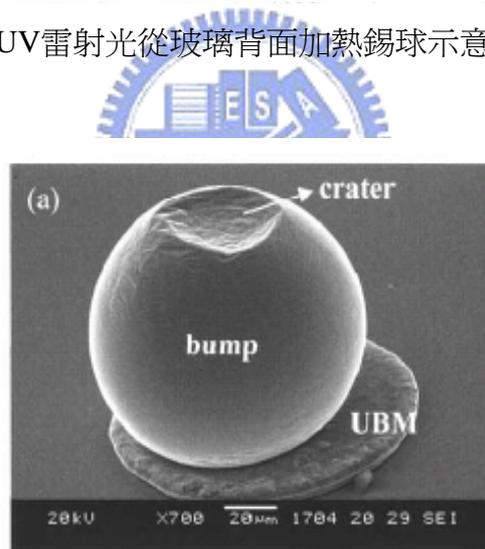


圖 2-9. 脈衝式雷射加熱後之錫球外觀[27]。

## 2.5. 介金屬化合物之形成

由於低熔點錫與被錫底層金屬（銅、鎳、金、銀等）之間在高溫下因擴散效應會快速形成錫合金的薄層介金屬化合物（IMCs），其會隨著時間、溫度、應力及相互擴散程度有不同的形貌。圖 2-10 為錫-銅二元合金相圖，依其所示，共晶錫鉛在迴錫溫度低於  $415^\circ\text{C}$ 時僅會形成 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相，高於  $415^\circ\text{C}$ 始可長成 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相，然而迴錫時錫係在錫鉛相內與銅反應，故錫的活性必受鉛的成分影響，因此

共晶錫鉛銲錫與銅的反應需考慮銅-錫 (Cu-Sn)、銅-鉛 (Cu-Pb) 及錫-鉛 (Sn-Pb) 等二元系統的熱力學反應若能描繪出錫-鉛-銅 (Sn-Pb-Cu) 三元相圖，則更能預測於各溫度下不同成分錫鉛銲錫與銅的IMC相之長成[30]。

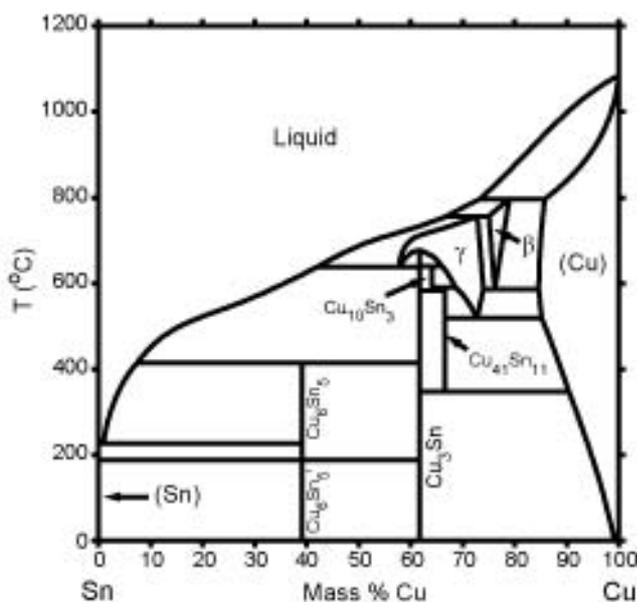


圖 2.10. 錫-銅相圖[31]。

### 2.5.1. 傳統迴銲技術

一般情況下，共晶錫鉛與銅膜（數 $\mu\text{m}$ 厚）於  $200^{\circ}\text{C}$  至  $220^{\circ}\text{C}$  進行迴銲時可得貝殼狀 (Scallop) 的  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相，透過時效處理可得到一層介於  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  與銅之間的  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相，若經  $415^{\circ}\text{C}$  以上的熱處理則界面上亦可見層狀  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相。

### 2.5.2. 雷射迴銲技術

雷射銲點因銲點表面溫度過高，界面溫度梯度過大，故 IMC 一般以樹枝狀或針狀沿冷卻方向成長[13, 26, 29]。由於界面溫度梯度極大且溫度高，銅原子擴散速率倍增，故雷射銲點內部會有 IMC 析出。在脈衝式雷射銲接中，由於脈衝時間過短、能量密度過大，因此冷卻速率更快，亦可能產生介穩定相 (Meta-stable Phases) [26, 28]。

## 2.6. 推力試驗 (Shear Test)

本實驗依據 JEDEC 固態科技協會所制定的規範 JESD22-B117[32]，『BGA 錫

球剪力測試方法』進行接合強度測試。此一規範如圖 2-11 所示，推刀 (Dam) 與基板呈  $90^\circ \pm 5^\circ$ ，與基板表面可作平行移動。未測試前，推刀不可接觸到錫球。推刀高度約為錫球球心與基板距離的一半，但不可低於  $50\ \mu\text{m}$ ，固定推刀速率且相同條件的錫點須多次量測，避免因數量過少而致數據浮動太大，則數據可靠度不高。本實驗每個條件各做至少 100 個錫點的推力測試。

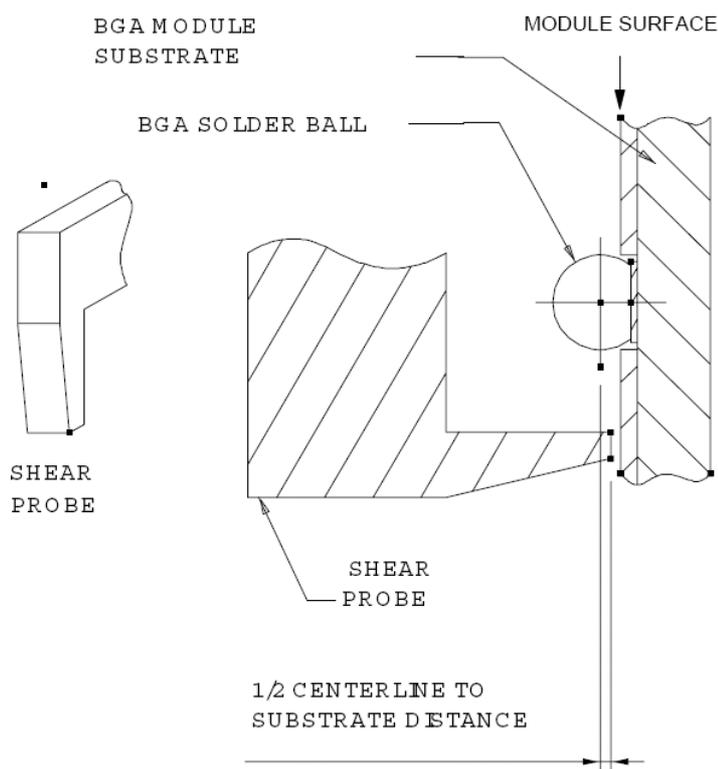


圖 2-11. 錫球推力測試法示意圖[32]。

每一個錫球經推力測試後須紀錄位移速率、最大推力及破裂模式三項數據。破裂模式計有（見如圖 2-12）：

- (1) 模式一：為錫球受剪應力破裂 (Ball Shear)，又稱為韌性破斷；
- (2) 模式二：錫球連同錫墊脫離基板 (Pad Lift)；
- (3) 模式三：錫球脫離 (Ball Lift)，由於錫球與錫墊間缺乏潤濕僅部份鍵結；
- (4) 模式四介金屬處破斷 (Intermetallic Break)，破斷面可見一層薄且光滑的表面；
- (5) 模式五：推刀位置過高超過錫球中心線 (Shear above Ball Centerline)；
- (6) 模式六：推刀受基板或鄰近元件阻擋 (Interference of the Shear Probe by

Surrounding Features)。

其中，模式五與模式六歸因為剪力測驗設計不當。從破斷模式可以判斷銲點強度的優劣，以模式一或模式二破斷的銲點一般具有優良強度；部份以模式四的破斷則需視其銲點強度決定來決定此銲點的優劣；模式三或模式四則為不良銲點之破壞模式。

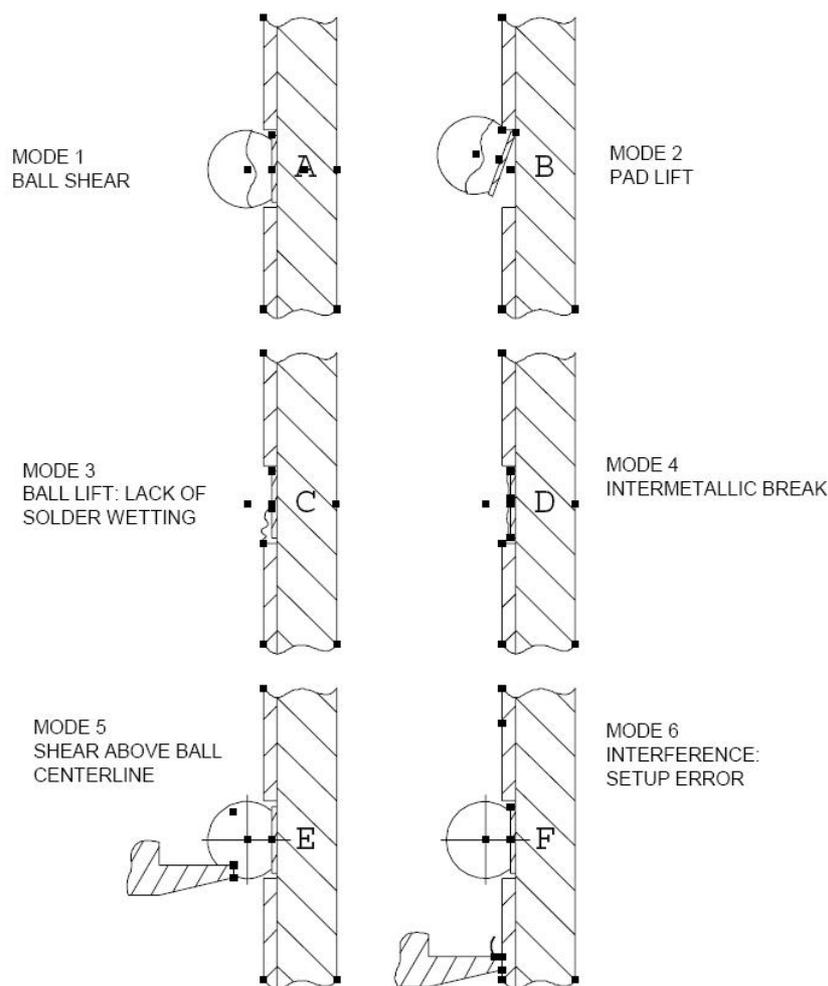


圖 2-12. 推力測試之六種破裂模式[32]。

## 2.7. 研究動機

從研究回顧可發現，雷射加熱模式較為局部，且不同於傳統加熱的持溫模式，銲點各區域受熱程度不一，影響銲點內部微結構形貌亦有所不同甚至可觀察到介穩定相。連續式二氧化碳雷射、連續式 YAG 加熱致銲點快速升溫及急速冷卻，促使雷射銲點具備高銲點強度及縮短迴銲時間（約 2 sec 至數 10  $\mu$ sec 不等）

等優點。然而迴鐸過程中多數仍需輔以助鐸劑，無助鐸劑雷射迴鐸仍需在氮氣氛圍或真空狀態下才能進行，除此之外鐸錫與鐸墊材料對 YAG 雷射光的吸收效率皆未臻理想（見表 2-1），以上兩點皆是相關研究欲克服的問題。

表 2-1. 材料對 YAG 雷射光的吸收效率[15]。

吸收效率（1.064 $\mu\text{m}$ ）（%）			
	粗糙表面	光亮表面	Handbook
銅	7	NA	2
共晶錫鉛錫膏	66		
迴流共晶錫鉛	21		

本實驗以脈衝式 YAG 雷射進行無助鐸劑式選擇性迴鐸，以了解製程條件如雷射功率、脈衝寬度與迴鐸次數等製程條件對鐸點微觀結構與接合強度之影響。選用脈衝式雷射之優點有二：

- （1）可減少助鐸劑的使用更能符合環保需求；
- （2）增加鐸錫對雷射光能量的吸收，可減少能源的浪費及降低加熱時間。

Jong-Hyun Lee 等人指出，在 10 msec 的加熱時間內錫點表面僅會形成約 5 nm 的氧化層[13]，因此 10 msec 的加熱時間，助鐸劑可被捨棄；本實驗初期曾嘗試使用助鐸劑，但發現助鐸劑瞬間吸收高密度能量後會因此濺散（Splattering）導致無法迴鐸。脈衝式雷射之脈衝寬度介於 0.3 msec 至 10 msec 之間，因此脈衝式雷射可進行無助鐸劑迴鐸接合。此外，針對鐸錫及鐸墊材料對雷射光的吸收效率不佳的問題，脈衝雷射波形之特徵可增加鐸接材料對雷射光的吸收率，由於脈衝雷射波形可分為穿孔之脈衝波形及鐸接之脈衝波形兩種（見圖 2-13），其中應用於鐸接的波形之前端部分有 100 至 200  $\mu\text{sec}$  寬的高尖峰脈衝（高功率密度），可克服金屬表面初始的強烈反射，因為表面材料已氣化而使得雷射直接入射到材料內部，同時在此尖峰值功率的雷射光照射下，金屬表面溫度升高而呈現強烈的吸收。反之連續式雷射由於使用較低的功率密度無法克服金屬材料表面對雷射光的高反射率，故僅能延長雷射光加熱時間。而脈衝式雷射波形其後部分強度則呈指數衰減（Exponential Decay），以較長時間且較低功率雷射光照射。

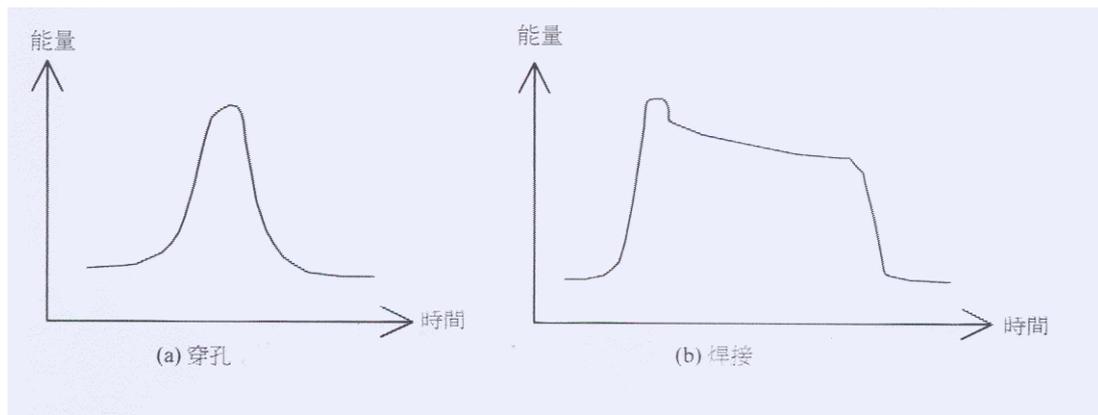


圖 2-13. 脈衝雷射之波形：(a) 穿孔之脈衝波形；(b) 銲接的脈衝波形。

當高能量瞬間被鋁錫所吸收時，其內部受熱較不均勻，故必須考慮鋁錫內部受熱的狀況。依照脈衝式雷射光之能量密度多寡可概分為傳導式銲接 (Conduction Welding) 與鑰孔式銲接 (Keyhole Welding) 兩種，見圖 2-14。傳導式銲接較常發生在較低功率照射或材料熱傳導速率較大的母材，其功率密度一般小於  $10^5 \text{ W/cm}^2$ ；鑰孔式銲接則發生在功率密度大於  $10^5 \text{ W/cm}^2$  或材料熱傳導速率較小的母材。我們期望藉由調整雷射參數，如功率密度或離焦距離等使得鋁錫料內部發生傳導式銲接而非鑰孔式銲接，雖然在鑰孔內之反射雷射光會被孔壁吸收，鋁錫對光之吸收率可達如同黑體 (Black Body) 一般的 98%，但因其熱能分布極不均勻會影響後續相關的銲點可靠度。

由上數之討論可知脈衝 YAG 雷射可增加鋁錫對雷射光的吸收率，又可免使用助銲劑，故此本實驗研究脈衝 YAG 雷射應用於無助銲劑迴銲的可能性，希望能提供日後另一種選擇性迴銲技術的應用參考。

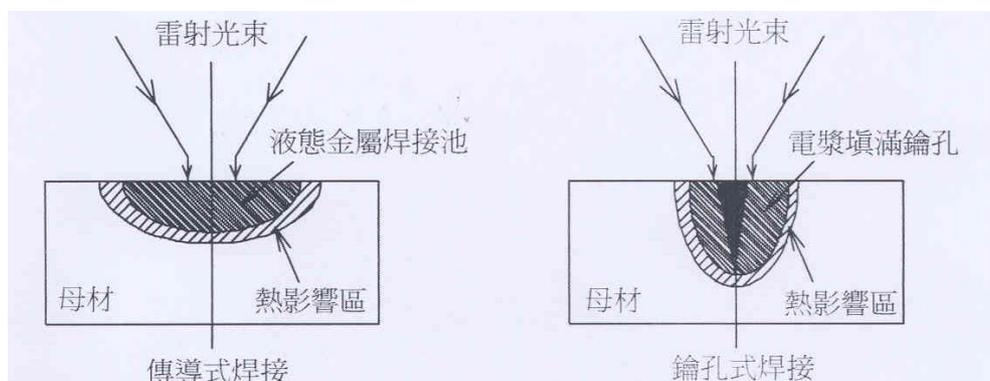


圖 2-14. 脈衝式雷射銲接的兩種型態。