

## 一. 導論

### 1.1 電子構裝

近年來由於電子工業的蓬勃發展，伴隨電子工業共同成長的電腦及通訊等相關產業也有顯著的進步。由於電子工業成長的幅度相當可觀，推陳出新的產品及日新月異的技術對各家廠商形成不小的壓力，如何在產品功能提高與價格降低的前提下，推出迎合市場需求的產品以確保本身的競爭力，是各廠商最關切的問題。

電子工業中除了最受矚目的半導體工業外，電子構裝工業也因電子產品逐漸朝向輕、薄、短、小的趨勢發展因而提昇構裝技術的需求。電子產品的構裝過程不再如同以往僅需於產品完成後再進行構裝即可，取而代之的是在產品設計時就必須考慮構裝的需求，因此促成當前電子構裝工業的興盛。今日構裝技術的重要性甚致不亞於半導體技術，構裝過程中衍生的各項難題也都仍待解決，必須有效地克服這些難題而發展出先進的構裝技術，方可支援功能日益強大的 IC 元件。

電子構裝技術是指從半導體積體電路(IC)製作完成後，因 IC 元件尺寸相當微小且結構極其脆弱，因此需藉由”構裝(package)”將其包覆起來以避免受到外力或環境因素所造成的破壞。此外，IC 元件仍需結合電阻、電容等被動元件方可形成一完整系統以發揮既定的功能。因此電子構裝的功能除了保護 IC 元件外，尚包括 IC 晶片的黏結固定、電路連線、結構密封、與電路板之接合、系統組裝等目的，最終成為完整的電子產品。因此電子構裝對元件而言，最主要的作用即為傳遞電力與電路訊號(輸入與輸出積體電路)、提供散熱途徑、承載與保護結構等項[1]。

電子構裝的產能將隨八吋、十二吋晶圓廠的成長而快速擴充。廣義來說電子構裝依其製造流程、分工與系統結構可區分為四個不同的

層次，如圖 1.1。第零階層(level 0)定義為在晶圓上的製程、如 IC 製造、錫料凸塊(solder bump)長成等。第一階層(level 1)則為今日電子構裝研究領域之主體，此階層著重於如何將積體電路封裝起來。第二階層(level 2)則屬組裝廠與主機板廠之範疇，這個階層以表面黏著技術及基板(印刷電路版)製造技術為主體。除了印刷電路版的製造外，如何將電子構裝元件與印刷電路版以迴焊(reflow)方式黏著在一起是其重點，其相關產品如主機板、PCMCIA 卡、音效卡、網路卡等。最後一個階層(level 3)則是將如音效卡、網路卡與 I/O 卡等插到主機板上，這個階層以連接器(connector)的製造為主[2]。

半導體晶片的向外連接主要有打線接合(wire bonding)、捲帶式自動接合(tape automatic bonding, TAB)與覆晶(flip chip)等三種常見的技術，如圖 1.2。打線接合是最常被使用的方法，晶片先以適當的材料，如 Au-Si、Au-Sn 的共晶(eutectic)或填充式的環氧樹脂(epoxy)黏著劑，將晶片固著於金屬導線架上(Lead Frame)；再以超音波接合(ultrasonic bonding)、熱壓接合(thermal compression bonding)或兩者方法共用，將細金屬線依序與晶片及導線架完成接合。但在覆晶構裝中，晶片與基板的接合則仰賴錫料(凸塊)。錫料依其使用的製程會有不同的成份選擇外，其使用的形態也並非一致，常見的有錫棒(solder bar)、錫塊(solder ingot)、錫線(solder wire)與錫膏(solder paste)等。

覆晶接合技術的優點包括：單位面積上可有更多、更密的 I/O、訊號傳遞的速度更快、更低的消耗功率及更輕薄短小的構裝結構。在覆晶接合的製程中，晶片上錫料凸塊的長成及凸塊下金屬層(under bump metallization, UBM)的電鍍在整個製程裡佔有極重要的地位。

UBM 為錫料凸塊與晶片金屬處理(chip metallization)之間的相容層(compatible layer)。最常使用的晶片金屬處理為 Al，在 GaAs 的應

用上則常使用金(gold)，為了獲得更好的電性效能也常會使用 Cu。UBM 的組成包括覆於晶片金屬處理上的黏著層(adhesion layer)、阻障層(barrier layer)、潤溼層(wetting layer)和抗氧化層(anti-oxidation layer barrier)，如圖 1.3。黏著層可促進錒料凸塊、晶片金屬處理、晶片鈍層(chip passivation)和介電鈍層(dielectric passivation)相互之間的黏著力。由於黏著層需將各相異之表面黏著在一起，因此材料的選取格外重要，常用的黏著層材料包括 Cr、Ti、Ni、W、TiW、Zn 等。阻障層的功能為防止金屬及離子汙染物擴散至晶片金屬處理和黏著層裡。倘若阻障層阻礙擴散的能力不佳，則易於界面生成脆性的金屬間化合物(intermetallic compound, IMC)而降低整個互連系統(interconnection system)的可靠度。常用的阻障層材料為 Cr、W、Ti、TiW、Ni、Cr-Cu 等。潤溼層的功能為提供錒料凸塊能與 UBM 相互潤溼，此外也做為形成界面 IMC 時所需之消耗層(consumable layer)，常見的潤溼層材料包括 Cu、Ni、Pd 和 Pt。抗氧化層的選用則視需要而定，通常為一層甚薄的 Au。Au 層在迴焊後將會溶解至錒料內部並造成錒點的脆化，因此過厚的 Au 將不利於錒點的可靠度。晶片鈍層可保護 Si 表面元件免受外在環境危害並與外界絕緣，且還可扮演降低應力的緩衝層(buffer layer)，例如 polyimide 和 BCB 等[3]。商用的錒料凸塊長成如圖 1.4。

## 1.2 印刷電路板組裝(PCB Assembly, PCBA)--BGA 構裝技術

一般來說 IC 元件的組裝流程如圖 1.5 所示。當 IC 元件密封完成後，將其接著至 PCB 的方法主要可分為兩大類：引腳插入式(pin through hole, PTH)和表面黏著技術(surface mount technology, SMT)，如圖 1.6 和圖 1.7。表面黏著式的電子元件可藉由引腳或是利用錫球

與 PCB 完成接著。

電子構裝技術進步得相當迅速，常見的構裝方式如球柵陣列構裝 (Ball Grid Array Package, BGA)、針柵陣列構裝 (pin grid array package, PGA)、TQFP (thin quad flat package)、TSOP (thin small outline package) 等。BGA 構裝技術的優點包括更高的 I/O 密度、更好的電/熱效能、橋連 (solder bridge) 的問題較少、具有自我對準 (self-alignment) 的性質、引腳無共平面 (co-planarity) 的問題、可與 SMT 相容甚至擴展到 MCM (multi-chip module)、更高的良率和可靠度，因此 BGA 構裝技術勢必為表面黏著技術的主流。

BGA 構裝技術約於 1990 年初由美國 Motorola 與日本 Citizen 公司所共同開發，其開發的動機來自於構裝多腳化的需求。QFP 為目前第一階層高腳數構裝的主要技術，欲提高 QFP 構裝的腳數唯有以減少腳距 (pitch) 的方式來進行，但卻衍生出許多困難，雖然捲帶承載構裝 (tape carrier package, TCP) 及 PGA 均被提出用以解決 QFP 構裝的困難，但 TCP 構裝目前成本偏高而且有微細腳距 (fine pitch) 焊接與捲帶變形的困難；PGA 構裝則有構裝體積較大、高針腳數焊接與檢測的困難，因此藉由開發出 BGA 構裝技術用以解決各項問題。BGA 構裝底部的引腳為面陣列式 (area array) 的錫球，此種面陣列式錫球的優點包括[1]：

1. 面陣列錫球的引腳排列方式能應用於高密度、高腳數的構裝。
2. 面陣列式的錫球可提供足夠的散熱途徑，因此熱阻得以降低。
3. 錫球數目足以供給接地電路的設計，因此 BGA 構裝的電性更優良。
4. 錫球高度比針腳低，可達成薄型化構裝的目的。
5. 錫球不易變形，故 BGA 構裝沒有類似 QFP 構裝元件在輸送與取置過程中引腳強度不足引發的困擾；



6.QFP 構裝的元件對位必須極為準確，引腳也不能扭曲變形，而 BGA 構裝則可藉熔融錫料的表面張力修正元件的對位偏差(自我對準性質)，故 BGA 構裝不需要高精度的放置設備，製程成本比 QFP 低。

7. BGA 構裝的引腳接合失敗率比其他的構裝低。

陶瓷材料具有優良的熱傳導與電絕緣性質，且緻密性高，對水分子滲透具有優良的阻絕能力，因此成為氣密性構裝(hermetic package)的主要材料。但陶瓷材料本身較脆，易受應力破壞，與塑膠構裝(plastic package)相較下，它的製程溫度較高，成本亦較高，因此陶瓷構裝僅見於高可靠度需求的 IC 構裝中，取而代之的是塑膠構裝，如圖 1.8。塑膠構裝的散熱性、耐熱性、密封性與可靠度雖不如陶瓷構裝及金屬構裝，但卻有薄型化構裝、低成本、製程簡單、適合自動化生產等優點，而且隨著材料與製程技術的進步，塑膠構裝的可靠度已大幅提升並成為今日構裝技術的主流，其應用性從一般的消費性電子產品到精密的超高速電腦中隨處可見[1]。

輕、薄、短、小已蔚為當今電子產品的一股風潮，唯有高密度的電子構裝元件才足以符合市場的需求，如圖 1.9 及 1.10，傳統的引腳插入型構裝技術已不易再有所突破，因此 BGA 構裝技術的興起勢必可達到表面黏著技術的另一波高峰。在構裝技術世代交替的驅使下，如何在 BGA 構裝技術上取得領先以在市場上佔有一席之地是成敗的關鍵。BGA 構裝技術的生產良率、早期失效率及長期可靠度方面皆仍有不完備處，如何整合材料特性(無鉛/含鉛錫料)並發展出快速的可靠度評估法則是相當重要的，如此才可縮短開發時程與提高產品品質，且面對即將到來的無鉛環境也能夠提供適時的支援。

### 1.3 綠色環保構裝技術(Green Packaging)---無鉛錒料

長期以來 Sn-Pb 錒料由於成本低，再加上有不錯的物理性質與可靠度，因此廣泛地做為電子元件間的互連。然而電子產品中的鉛成份為具毒性之重金屬，將會造成環境汙染與危害人體健康。與鉛有關的健康危害包括身體發育遲緩、神經和生育系統紊亂。鉛中毒特別會對年幼兒童的神經發育造成危害，加上近年來因環保意識逐漸抬頭，因此為解決錒料中含鉛的問題，歐洲與日本各大電子廠商均已制定出無鉛錒料的發展時程，如表 1.1、1.2。

除了 Pb 具毒性的環境壓力外，無鉛錒料發展的其他動機還包括有害廢物的處理、工作場所的安全性、設備可靠度的問題、市場競爭性、以及環保形象的維護，因此歐洲與日本非常致力於電子業"禁鉛令"(Lead Ban)的立法，主要的推手是 WEEE(Waste from Electrical and Electronic Equipment)對電子業鉛廢料所明訂"回收/再利用"(reclaim/recycle)的強制性法條。歐盟已提案立法，預計 2006 年 7 月 1 日起，所有的電子產品都必須是無鉛，唯有符合歐盟規定的無鉛產品才得以進入歐洲市場。日本電子大廠如日立(Hitachi)、松下(Panasonic)也已經在 2001 年推出無鉛產品。在美國雖無科學證據直接指出 Sn-Pb 合金用於電子產品會對環境造成明顯的污染，但屈服於環保團體的遊說壓力以及歐、亞市場的考量，對於無鉛錒料的開發、接合特性及錒點相關性質的研究正積極進行。此外，無鉛錒料的高熔點將會造成製程上的困擾，且其性質也不同於 Sn-Pb 錒料，所以必須針對無鉛錒料的製程條件及材料特性進行測試研究，以確保其品質及可靠度能達到一定的標準，也避免法令政策的突然改變而導致措手不及。表 1.3 顯示鉛在各種產品中的使用量，蓄電池占鉛用量的 80%，電子錒料約占有鉛用量的 0.5%，雖然鉛於電子錒料的使用僅佔

0.5%，但每年全球共消耗約 500 萬噸的鉛，因此 0.5%的鉛在數量上仍是相當可觀的。

綜觀當前電子構裝所用的眾多錒料中仍以63Sn-37Pb錒料最為普及，因為純錒的熔點達232℃，在迴焊時一般的PCB並無法承受，所以可藉由添加鉛來降低其熔點。此外，鉛也可提升抗腐蝕的能力和降低純錒的表面張力而使得錒料更易潤溼(由於表面張力的作用使得水等液體有呈球特性，而抵抗這種呈球性的作用而與固體物表面產生親和力的現象稱之為潤濕。潤濕程度由液體與固體接觸時的接觸角來表示，接觸角越小，潤濕越好。)。雖然在純錒內加入鉛可提升許多優良的性質，但其最大的致命傷即為鉛本身具毒性，因此在環保法令的限制下迫使其在不久的未來將會逐漸退出市場。目前市面上可見的無鉛錒料相當多，其組成成份也略有不同，見表1.4。探討無鉛錒料的內部組成即可知均以Sn為最主要的成份，主要因為Sn的成本較低、容易取得、導電/導熱性質與潤溼性也都不錯，因此對於常見的錒料均以錒為主要成份。

理想的無鉛錒料需提供製造商良好的電性、機械特性、潤濕能力、可接受的價格和可獲得性(available)。表 1.5 為具潛力的無鉛錒料組成。無鉛錒料的發展是指日可待的，但無鉛錒料的製程及特性仍有許多值得探討改進之處，包括潤溼性、IMC 的成長、助焊劑的影響及表面處理(surface finish)等問題。在眾多問題中又以無鉛錒料的熔點最受重視，無鉛錒料的熔點平均高出 Sn-Pb 錒料 30℃~40℃，高熔點的錒料將與現在廣泛使用的基板材料，如 FR-4，並不相融合，若改用玻璃轉換溫度(glass transition temperature,  $T_g$ )較高的BT基板將會大幅提高成本，此外，返工(rework)不得不採用高溫，也會大大增加基板損壞的可能性。無鉛錒料的高熔點仍可提供一些優勢，例如，可提升

高溫時的機械性質，使其適合用於需耐高溫之產品。無鉛錒料的使用已成為必然的趨勢，因此無鉛錒料的深入研究是刻不容緩的事宜。

無鉛錒料與異向性導電膠(anisotropic conductive film, ACF)兩者均是取代 Sn-Pb 錒料的主要材料，也都能夠做為電子元件間的電訊傳遞。而無鉛錒料在技術上優於 ACF 的優點在於錒料與基板表面處理間形成的是冶金連接，而 ACF 則是形成基板表面的機械與化學黏接，一般而言冶金連接的導電性與強度均高於機械與化學黏接，且導電膠需憑藉金屬填充物的有效擴散以提供良好的電訊特性，但是填充顆粒易於氧化，易隨時間的增加而降低膠的導電性，因此錒料的導電性質優於 ACF。但在軟性电路板的應用上則以 ACF 較具優勢，因為錒料受到高應力後容易發生開裂，並且也較無法承受外來的衝擊，對於間距極小的電子元件，錒料還有自我對準的問題。然而就材料成本而言，無鉛錒料與 ACF 均比傳統的 Sn-Pb 錒料來得貴，而 ACF 又比無鉛錒料貴上許多，可是 ACF 的處理成本卻較無鉛錒料便宜，因此兩種材料的選擇取捨端看使用者的應用層面而定。