

新型態光通訊模組用 封裝技術

◆吳文進* 朱慕道**

工研院光電工業研究所

光通訊模組部 *工程師 **經理

摘要

隨著網路頻寬需求日益增加，光通訊亦日趨重要，而減少封裝成本為光通訊模組發展之重要方向。本文介紹一種新型態的光通訊模組被動對準技術，此技術不同於以往光通訊模組封裝所使用的主動對準方式。藉由其中各關鍵技術的開發，包括光學載具製程、元件製程、焊錫製程以及光纖接合等技術，發展模組中元件與光纖被動對準技術，減少光通訊模組的封裝時間，並可以大量生產以降低製造成本。

關鍵詞

光通訊模組封裝(optoelectronic communication module package)；矽光學承載基板(Si optical bench)；覆晶(Flip Chip)

隨著用戶對於網際網路、多媒體傳輸需求日增，傳輸容量愈來愈大，傳輸速率的要求亦愈來愈高，因此傳輸的品質必須提升。光纖通訊具容量大、速率快，且光傳輸不受干擾等優點，能夠滿足未來寬頻傳輸之需求，光纖傳輸亦將取代部分傳統銅線傳輸，數據網路與有線電視也大量使用光纖傳輸。而光通訊的發展，亦隨著幾項重要的元件技術之提升，使得光通訊產業成為目前最被看

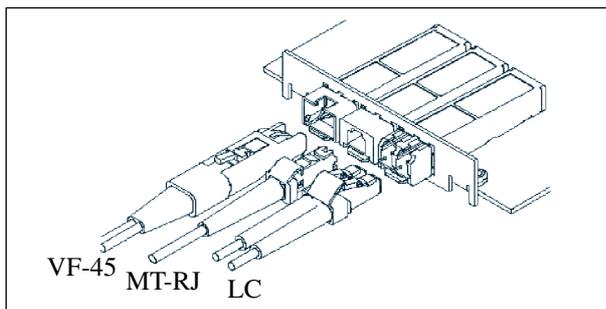
好的產業之一，例如光纖由早期之塑膠光纖發展至玻璃光纖，同時使用單模光纖，光元件由短波長發展至長波長元件，面射型雷射之發展讓陣列模組製作更容易，使得光通訊的頻寬、傳輸距離大幅提昇，加上模組封裝愈來愈小型化，加速光纖到家(Fiber to the Home)之發展。

在光通訊模組的發展上除元件特性要求外，成本大部分決定於封裝方式。

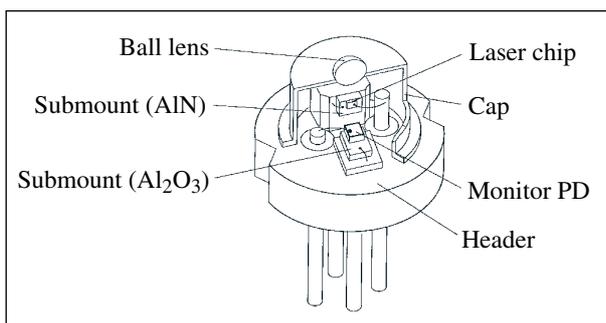
以往光通訊模組製作需先將元件黏合於陶瓷基板(Submount)上，封裝於TO-can中，再經過光耦合對準步驟後，將各個組成黏合而完成整個模組，如傳接模組(Transceiver Module)。其中，在光耦合的過程中，需將主動元件，如雷射二極體(Laser Diode)與光二極體(Photodiode)驅動，再經光耦合機主動對準後進行接合。由整個步驟分析，從主動元件結合至基板到耦光的過程需再經過幾個步驟，包括TO-can封裝，再將TO-can接合至於模組、驅動主動元件再耦光對準最後再進行黏合。主動元件結合於基板後，光纖必須先經套圈(Ferrule)作主動對準，再以雷射焊接(Laser Welding)接合。如此的方式較為耗時，且封裝體積較大。因此，發展被動對準的封裝架構對於光通訊模組量化與縮小封裝體積為光通訊模組量化之重要研發項目。

光通訊模組

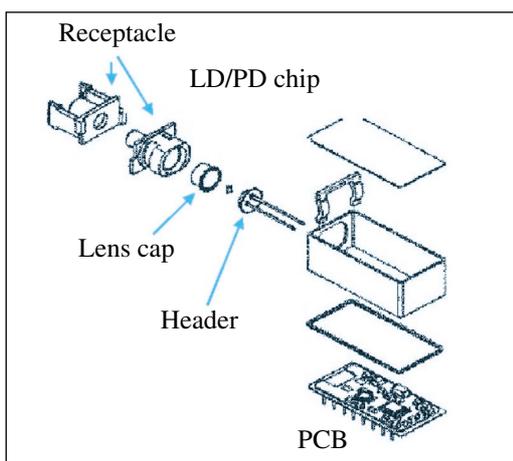
一般光通訊模組包括有光發射器(Transmitter)、光接收器(Receiver)以及傳接模組(Transceiver)。一般有雙排線型封裝(Dual-in-Line Package)、蝶型封裝(Butterfly Package)以及圓柱型封裝(Cylindrical Package)方式。傳接模組則有傳統之1×9接腳(pin)之SC傳接模組，至現今發展的小型化傳接模組(Small Form Factor Transceiver Module)，如MT-RJ型式、VF-45型式以及LC型式等傳接模組，如圖一所示，其中光元件之封裝方式並不相同。傳統的TO封裝架構如圖二所示，其封裝流程首先將光元件黏合於基板上，再黏著於底座上，最後經封蓋過程即成為TO-can。圖三為將光元件以TO封裝後再接合於模組上，經主動對準後固定於模組上。圖四為氣密式(Hermetic)模組架構，將光元件黏著於陶瓷基板上，其下具熱電致冷裝置(TE



▲圖一 小型化光傳接模組



▲圖二
TO封裝



◀圖三
模組封裝

Cooler)，再經主動對準後以雷射焊接接合。上述兩種模組之組裝皆須經過主動對準之過程，而主動對準為耗時之封裝方式，不利於大量生產。

本文所介紹之封裝技術則有別於傳統的封裝方法，為一新型態之封裝方式，係製作一種光學承載基板(Optical Bench)，其上具焊錫、光纖置放凹槽，光元件之封裝方式以被動對準的方法將光元件與光纖接合在同一基板上，如圖五所示，雷射元件與受光元件以覆晶

(Flip Chip)封裝的方式接合於矽光學承載基板(Si Optical Bench)上，在矽光學承載基板上同時製作V-型槽(V-groove)或U-型槽(U-groove)用以承載光纖。以此設計可以利用覆晶接合時焊錫於熔融溫度下，由於表面張力使光元件之結合誤差減小，而矽晶體之結晶結構以及材料特性有利於製作誤差極小的V-型槽。因此，以此架構，可以發展出被動對準的封裝方式。以下將介紹此被動對準技術。

元件被動對準

光通訊元件封裝之對準主要在於光元件與光纖間的對準方法。主動對準方式需在組裝過程中驅動光元件，改變與光纖之相對位置且即時偵測光功率再加以黏合。被動對準方式則無須在組裝過程中驅動光元件，以半導體之微影蝕刻製程直接在基板做定位點與光纖置放凹槽，最後以覆晶接合方式組裝。

被動對準方式主要利用焊錫之自我對位(Self Alignment)機構，當光元件接合於基板後，將焊錫加溫至熔融溫度以上(如錫鉛合金，37%Pb/63%Sn為183°C；金錫合金，80%Au/20%Sn為280°C)，熔

融之焊錫開始沾濕(Wetting)在金屬焊墊(Pad)上且光元件將移動。晶片移動的動力為熔融焊錫之表面張力趨於達到能量最小之狀態。因此，最後之組裝將具有最小的總能量，光元件的位置也將固定於設計之定位點。利用此方式，可以在一次迴焊(Reflow)過程中達成所有焊錫自我定位，光元件接合於基板之定位即可全部達成，完成光元件耦光基本要件。

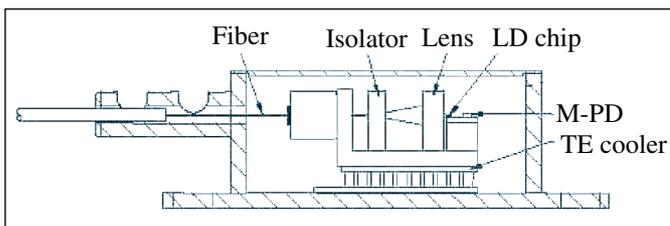
光纖置放之部分，則是在同一基板上蝕刻出V-型槽，可以利用基板之晶體結構設計需求之V-型槽之寬度與深度，以及其與光元件之相對位置。最後將光纖置放於V-型槽及可以達成光纖與光元件間之被動對準。在此過程中無須進行光元件驅動量測。

隨著光通訊品質提升，單模光纖使用愈趨重要，而單模光纖之纖心僅約9μm，遠小於多模光纖之50μm或62.5μm。因此，若要求單模光纖規格之架構則需具有較小的對準誤差(Misalignment)，對於被動對準之製程上將有較大之挑戰，單純以焊錫自我定位方式將不易達成單模光纖架構需求。製程方式可再加上機械定位(Mechanical Stop)方式，製作光元件與基板之垂直與水平定位點，使其在接合時，焊錫之自我對位過程可以達到更精確的位置。

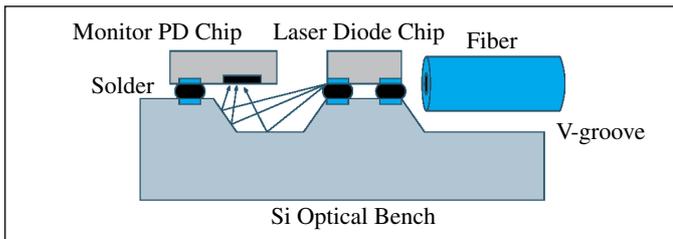
封裝技術

光通訊元件之被動對準技術包含幾項關鍵技術，矽光學承載基板製程技術、光元件製程技術、焊錫製作技術(Solder Bumping)、覆晶接合技術光纖黏合技術等。

矽光學承載基板是整個主體的承載基座，其上包含雷射元件放置之錫墊製作、電路設計製作及光纖放置之V-型槽製作。分別利用鍍膜方式成長金屬膜與絕緣膜，並利用微影蝕刻技術製作導線



▲圖四 氣密式光通訊模組封裝



▲圖五 矽V-型槽封裝

表一 焊錫材料熔點

Solder alloy	T _m (°C)	E	α	γ	F	C
37%Pb-63%Sn	183	30	21	0.4	10	2
90%Pb-10%Sn	268	20	29	0.4	1	1
95%Pb-5%Sn	310	24	26	0.37	1	0.5
80%Au-20%Sn	281	68	14	0.4	Poor	NA
100%In	157	7	31	0.46	20	Soft
97%Sn-3%Cu	227	41	19	0.33	5	0.01

T_m: Melting point(°C), E: Young's modulus(GPa), α : CTE(ppm/°C), γ : Poisson ratio, F: Relative fatigue life, C: Relative creep rate

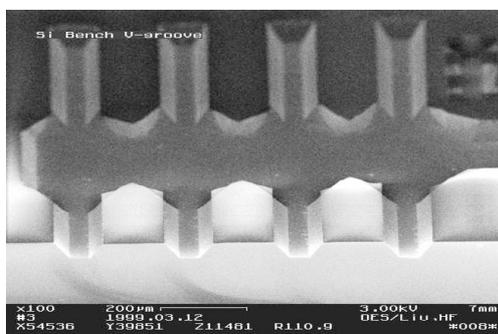
線路圖形與金屬錫墊。V-型槽之製作，則在Si晶圓上利用製程方法製作圖案(Pattern)，利用蝕刻液以濕式蝕刻的方式製作成V-形槽或U-形槽。一般文獻上所使用的蝕刻液包括KOH、KOH+IPA以及EDP等，蝕刻溶液對不同晶面與不同雜質摻雜(Doping)晶圓的蝕刻速率並不相同，必須對蝕刻速率加以研究。圖六為異向性蝕刻法在Si(100)平面製作V-型槽之結果，圖中Si基板上四通道V-型槽可用以置放四蕊束光纖(Fiber Ribbon)。

光元件與矽光學承載基板之接合技術係將焊錫球成長在矽光學承載基板上，再將二者接合。焊錫球製作在此有幾個目的，一為當作導電用途，另一目的為利用焊錫合金在熔融狀態時，因表面張力產生光耦合的自我對準效應。

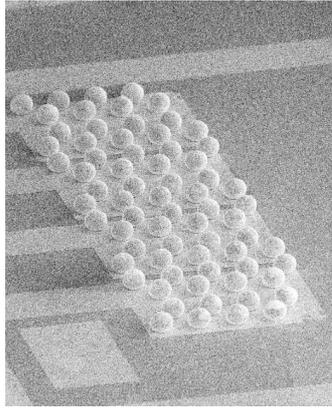
在焊錫製作方面，一般焊錫合金的種類有很多種，如錫鉛合金、金錫合金以及錫銀銅合金等，各有不同特性，其分類如表一所示。所選用的材料須能夠在使用的環境下通過各種測試，所要求的性質如熔點高低、抗潛變與耐疲勞等特性。成長錫錫也有許多種方式，如電鍍法、濺鍍法、蒸鍍法與印刷法等。應用上述幾種方式製作焊錫合金後，經迴焊過程使焊錫凸塊經熔融而成球狀形成焊錫球。圖七為經過迴焊後的焊錫球，

焊錫球直徑的大小需配合自我對準功能及光纖放置於V-型槽上的設計，而利用製程參數來控制。近年來為因應幾年後歐美及日本等國對產品之含鉛量限制，焊錫合金之發展朝向研究無鉛焊錫合金。因此，在目前光通訊元件封裝上亦開始朝向無鉛焊錫合金之研究。

由於焊錫上具氧化層，利用焊錫迴焊過程中通常需使用助焊劑(Flux)。然而，在光通訊元件封裝，由於光元件與基板之間隙(Gap)微小，最後不易將助焊劑去除，而殘留助焊劑將影響光元件特性，對後續之模組穩定性造成影響。因此、無助焊劑(Fluxless)之製程對於光通訊元件封裝愈顯重要。一般無助焊劑製程有二種方式，一為經前處理去除焊錫合金表面之氧化物，例如PADS(Plasma Assisted Dry Soldering)法，先在真空中利

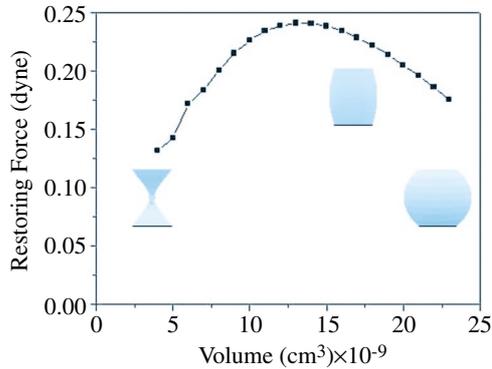


▲圖六 四通道V-型槽



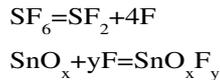
◀圖七 矽承載基板上之焊錫

▼圖八 焊錫回復力模擬

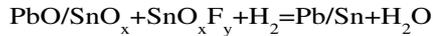


用SF₆電漿轟擊焊錫表面，使焊錫表面的氧化物經反應轉化成氟氧化物，並可防止內部合金氧化，再經保護氣氛下之迴焊過程，即可達到無助焊劑之迴焊，此過程如下式所示：

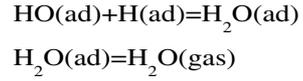
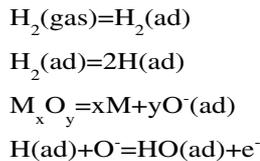
(1) PADS



(2) Hydrogen Reflow



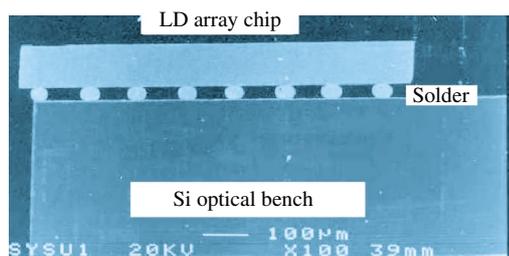
另一方式為在迴焊過程中加入反應性氣氛，例如加入Forming Gas (H₂ + N₂ 或Ar)，其反應機構如下所示：



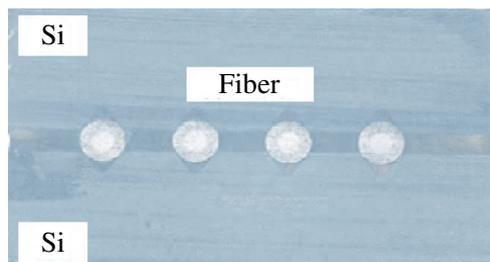
至於焊錫之設計，必須瞭解其大小與體積對回復力(Restoring Force)的關係，對於固定間距的組裝方式，圖八顯示焊錫球之垂直回復力與體積大小之關係，其間存在一適當體積具最大的回復力之焊錫球。

光元件與矽光學承載基板之覆晶接合，在製程製作即設計對準記號(Alignment Mark)，利用覆晶接合機(Flip Chip Bonder)作初步對準，控制光元件與矽光學承載基板之相對位置，然後將光元件貼合於矽光學承載基板，作第一次對位。經覆晶接合後經過一次迴焊，藉由熔融態的焊錫合金之表面張力，造成自我對位效應。圖九為雷射陣列利用覆晶方式接合於矽光學載具之截面圖形。待光元件與矽光學承載基板經覆晶方式接合後，將束光纖黏合於矽光學承載基板之V-型槽上。因為雷射元件的輸出光必須精準地耦合到束光纖中，在黏合束光纖之前，必須先經過幾何與光學設計，計算出其間之相對位置。如圖十所示，光纖置放於V-型槽之高度d與V-型槽寬度W有一定關係。相關之位置與距離設計好之後，經由控制矽濕式蝕刻參數，蝕刻出所要求之V-型槽尺寸。圖十一為以V-型槽黏合光纖之截面圖形，可見光纖之間距可以精確控制。

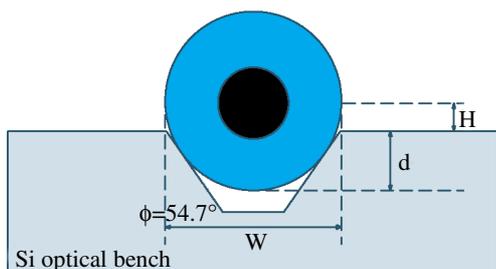
以被動對準製程方式可製作光傳接模組，如新型態之小型化(Small Form Factor) MT-RJ傳接模組，以及多通道平行傳接模組(Parallel Optical Link Module)，對於1Gb/s甚至10 Gb/s以上之模組封裝更為有利。以多通道傳輸模組為例，圖十二為四通道光傳輸模組(4-channel Transmitter)，圖中顯示在矽承載基板最左側為以薄膜沉積法成長之金屬



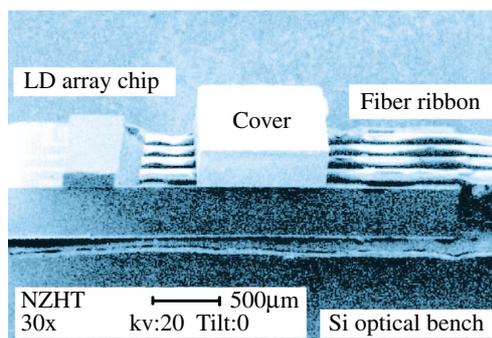
▲圖九 光學組合截面分析



▲圖十一 光纖在V-型槽上之截面圖



▲圖十 V-型槽上光纖黏合



▲圖十二 四通道並列式光傳輸器

導線圖形，其右為雷射陣列，利用覆晶結合方式，接合於矽光學承載基板上，其右側為四蕊束光纖置放於V-型槽上，在光纖上有一上蓋用以固定光纖。利用覆晶技術在迴焊時之自動對準，使雷射陣列與矽光學承載基板可以精確對位，並與光纖對準。

結語

本文介紹一新型態光通訊模組之封裝技術，不同於以往的模組封裝方式，本技術利用一般半導體製程方式製作矽光學承載基板，並以覆晶方式將光元件與矽光學承載基板接合，與光纖達成被動對準之架構。此架構可以減少光通訊模組的封裝時間，大量生產的方式可以降低製造成本。如此，更有利於光通訊模組的發展，早日達成光纖到家(Fiber to the Home, FTTH)的目標。工研院光電所發展此項技術已有多年經驗，可與廠商技術合作發展相關應用技術。

參考文獻

1. Qing Tan and Y.C. Lee, "Soldering Technology for Optoelectronic Packaging", Proceeding of the 46th ECTC, 26-36 (1996)
2. S.H. Lee, G.C. Joo, K.S. Park, H.K. Kim, D.G. Kin and H.M. Park, "Optical Device Module Packages for Subscriber Incorporating Passive Alignment Techniques", Proceeding of the 45th ECTC, 841-844 (1995)
3. K.A. Cooper, R. Yang, J.S. Mottet and G. Leearpentier, "Flip Chip Equipment for High End Electro-Optical Modules", Proceeding of the 48th ECTC, 176-180 (1998)
4. W.K.Hogan, D.P.Gaio, & S.M. Branch, "SMT Connectors for Removable Small-Form-Factor Transceiver Modules", 50th ECTC, (2000)