

通信用半導體雷射模組構裝技術

Packaging of Laser Diode Module for Telecommunication Applications

鄭木海、沈茂田

Wood-Hi Cheng, Maw-Tyan Sheen

光傳輸 / 接受模組 (module) 可將信號作光電轉換，以便信號在光纖內傳輸，為光纖通信系統必要關鍵元組件。本文將介紹通信用半導體雷射模組構裝之種類、應用及方法。

One of the key components used in fiber-optic communication system is the transceiver module. The transceiver module can be used the exchange between optical and electrical signals. This report will cover the type, application, and method for packaging of laser diode module for fiber-optic communications.

一、前言

構裝 (package) 或有人稱為封裝，就是將脆弱且極微小的半導體元晶粒加上適當的封裝，使其成為可方便使用的模組化元件。依據這個方便使用原則，我們可以知道光電元件的構裝，至少應提供其中半導體晶粒對外界環境變化與外力的保護、電信號輸出入接腳、光信號輸出入的介面等三種基本功能，如圖 1 所示。

由於半導體雷射為二極體的特性，如發射光波長及起振電流等，均是溫度的函數。其隨溫度而改變的效能十分顯著，因此在較高功率的應用，或是在對光波長特性較敏感的系統中，雷射的構裝還必須特別考慮散熱問題，甚至必須加入致冷器 (thermal electric cooler) 來進行主動冷卻及溫控。綜合上述，我們可以用圖 1 來表達一個常見的通信用

半導體雷射模組的構裝外表，它包括光信號、電信號、環境保護及溫度等介面的功能。

通信用的雷射模組，為了配合系統的需求，一般在其構裝之內，除了雷射二極體之外，還包含有半導體檢光器、前面提到的致冷器、檢溫器及微透光學系統等零件，所以「構裝」一辭也涵蓋了零件組合這一過程。

二、模組構裝的種類

常見通信用雷射之構裝，依外觀形式可以簡單分類為同軸封裝 (coaxial package)、雙排線式封裝 (dual-in line package) 及蝶式封裝 (butterfly package) 等類型⁽⁴⁾，見圖 2。基本上，這些不同形式的封裝，在功能上主要的區別係接受調變信號速率的快慢不同而定，一般的情形下，同軸雷射是使用在 1

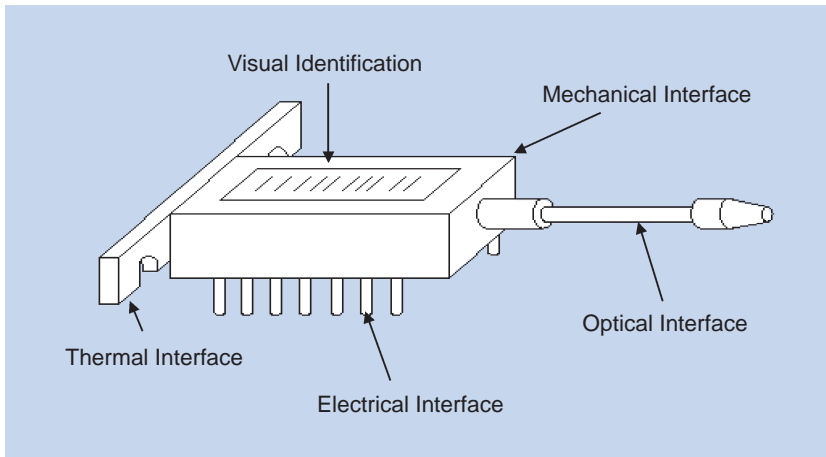


圖 1. 通信用半導體雷射構裝外表示意圖。

Gb/s 以下的系統中，雙排線式雷射隨著插腳長度及內部結構設計，可傳輸 1 - 2 Gb/s 之速率，而大於 2 Gb/s 的通信系統，則多是採用蝶式封裝雷射。造成這些差異的主因，是電的調變信號經由雷射模組接腳輸入時，接腳的長度及包裝內部接腳與雷射二極體的接線距離會造成一定的電感及阻抗，從而限制了輸入電信號的傳輸速率。此外，由於同軸包裝的內部容積較小，沒有足夠的空間放置致冷器，使雷射保持一定溫度操作，因此，通常較適用於較低速率、低功率等低成本的光收發信號機內。不過，隨著半導體元件製作技術的進步，雷射晶粒本身的高溫特性也有可能被應用於更高功能的光通信系統中。

三、模組構裝的應用

通信用半導體雷射及其模組構裝的應用，大概可區分為四種⁽¹⁾。

1. 長距離光纖通信系統

目前發光波長 1.3 μm 與 1.55 μm 半導體雷射普遍使用在單模光纖通信系統，而佈放長距離光纖系統已逐漸飽和，因此將半導體雷射應用到長距離通信系統需求不大，將來市場上的需求可能也不大。長距離光纖傳輸速率一般在 1 - 3 Gb/s，將來傳輸速率可能高達 10 Gb/s，高速率傳輸系統上的構裝必須考慮到雷射由光纖或其他元件組合的反射問題，此問題可以加上光隔離器 (isolator) 來減少

反射，因此半導體雷射應用到長距離通信系統的構裝是高性能的，包括有光隔離器蝶型構裝 (butterfly) 的雷射模組，如圖 3(c) 所示。

2. 光纖用戶迴路系統

光纖用戶迴路系統包括光纖到路邊 (FTTC)、光纖到大樓及辦公室 (FTTO) 以及光纖到家 (FTTH)。光纖網路系統已逐漸開始設置光纖到路邊、光纖到大樓，以及光纖到家，以準備提供商業客戶及一般家庭客戶各式各樣高品質的寬頻資訊服務。目前光纖用戶迴路系統的光源是採取發光波長在 1.3 μm 的半導體雷射，光纖用戶迴路市場遲遲未起步，主要原因是受限於半導體雷射價格過高，而半導體雷射價格居高不下的原因是由於它封裝價格高。最近 CD 式半導體雷射封裝技術的模式，已直接被應用到光纖用戶迴路系統所需要半導體雷射的封裝，CD 式雷射的封裝是同軸的型態，由於它簡單的機械結構，因此容易利用雷射銲接的技術或塑膠封裝技術來達到自動化量產的目的。目前半導體雷射利用光纖用戶迴路系統有兩種同軸封裝型態，插座式 (receptacle) 與引線式 (pigtail)，如圖 2(a) 所示。插座式封裝完全採 CD 式的封裝，大量生產技術非常成熟，因此價格便宜，插座式封裝跟光纖的接合是利用連接器 (connector)，使用上很方便。

半導體雷射應用到光纖用戶迴路系統要求價格便宜，因此在構裝過程不需要有致冷器。最近高溫 (100 °C) 運作不需要有致冷器半導體雷射的生產技

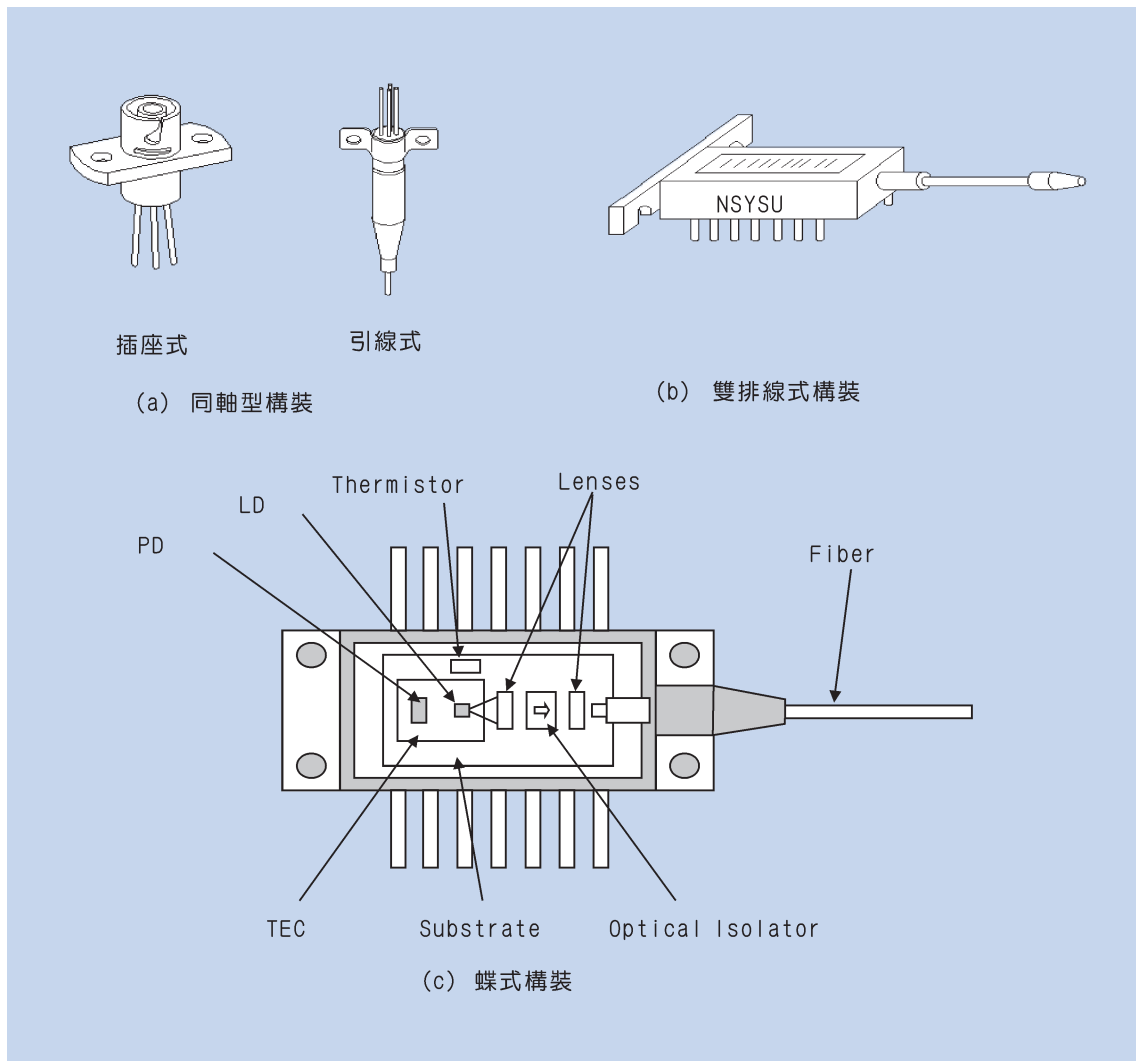


圖 2. 不同構裝形式之半導體雷射構裝。

術已成熟，使得半導體雷射應用到光纖用戶迴路系統未來市場相當看好。

3. 光纖有線電視系統

光纖有線電視系統包括類比與數位。類比系統需要高性能低雜音的分佈回授半導體雷射 (DFB) 當光源，應用到類比系統 DFB 生產率相當低，目前價格相當高，因此半導體雷射應用到類比有線電視系統目前與未來市場需求不大。類比系統所需要 DFB 的構裝與長距離光纖通信一樣要有光隔離器的蝶型，如圖 2(c) 所示，而數位有線電視系統僅用普通不需高線性的 DFB 雷射當光源，其封裝採用一般 DIP 形態，如圖 2(b) 所示。由於數位有線

電視不需要價格高的半導體雷射當光源，同時數位有線電視可能是未來系統發展之趨勢，因此半導體雷射應用到數位有線電視系統的市場將會有穩定的成長。

4. 數據通信系統

由於光纖可以提供商業客戶以及一般家庭高品質的寬頻資訊服務，未來的數據通信將跟電話與電視一樣，納入光纖通信的領域。發光二極體與半導體雷射普遍被使用於數據通信，最近數據通信有趨向於 Gb/s 的傳輸速率，因此半導體雷射較適合用於高速率數據通信。高生產量以及低價格是數據通信的基本要求，因此關鍵性半導體雷射的構裝必須

簡單，CD 式封裝技術跟應用到光纖用戶迴路系統一樣在數據通信上會被採用，如圖 2(a) 所示。目前電腦數據光纖通信也在成長中，它利用垂直面射型的半導體雷射與多模態光纖來傳輸數據。由於這種構裝可使數據通信成本大幅下降，因此未來半導體雷射應用到數據通信的市場相當大。

四、模組構裝的方法

通信用半導體雷射的構裝製程，可以分成兩個部分：零件組合 (assembly) 及光纖對準 (alignment)。⁽²⁾

1. 零件組合

零件組合的工作，就是要將各種零件黏著固定於封裝盒內。以常見的 14-pin 雙排線式構裝為例子加以說明。首先，將致冷器下層板銲接在雙排線式包裝盒內，同時，將檢溫器、雷射載具及檢光器載具依序銲接於一塊鍍金的 invar 基板之上。由於銲錫在融化之後，就會開始和介面上的金屬反應而形成間金屬化合物 (intermetallic compounds)，這種間金屬化合物通常都有較硬和較脆的性質，不利於模組的長期可靠度，因此在組合銲接的時候，每一個零件的錫銲均最好使用一種不同熔點的錫銲材料，在被銲零件沾錫完全之後立即降溫冷卻使之凝固，以期使間金屬化合物的形成量減至最低。

若企圖僅用單一種銲錫即將全部零件一次銲接完成，則很可能遇到銲接處品質不良的問題。接下來，將和零件組合後的 invar 板銲接至致冷器的上板層，就完成了模組的初步組裝程序。在依序銲接各零件的時候，為了不影響到已銲好的部分，設計者必須謹慎地選擇錫銲，使它們的熔點相互有足夠的差距。同時，為了配合各種不同熔點溫度的銲錫材料，對於適用於該溫度操作範圍的助銲劑 (flux)，也需有適當的選擇，才能讓模組的可靠度達到最佳化。上面曾提到的雷射和檢光器載具，在進行組裝之前有一個重要的工作，即需先將半導體雷射晶粒和半導體檢光器晶粒錫銲到它們的載具之上，這是整個模組構裝過程中一個重要的基礎，尤其是對雷射晶粒而言，第一層的銲接界面決定了雷

射操作時散熱的好壞程度，如果這個地方銲接不良，有假銲或是銲接分佈不均勻等情形，那麼用它來製作構裝的模組必然不能保持連續穩定的輸出，輕則其特性不佳，重則雷射晶粒可能因過熱而燒壞。

完成組合的工作後，整個模組內部沾染了許多助銲劑，為了不影響到雷射光的傳輸，這些助銲劑必須徹底的清洗。以往工業界常用的清洗溶劑，多含有會破壞臭氧層的氟氯碳化合物，目前均已禁止使用。如何尋找新的清洗劑，並且兼顧到環保、洗淨效果及成本等考量，也是半導體雷射構裝中一個重要的課題。此外，在傳統的觀念中，通信用半導體雷射模組內的零件組合較不採用環氧樹脂 (epoxy) 材料來當黏著劑，因為這類材料的耐久性較錫銲差，且會持續地放氣 (out-gasing)，污染雷射晶粒，降低整個雷射模組的可靠度；不過由於材料科技的進步，樹脂的特性近來已有很大的改善，現在已經有許多世界知名的半導體雷射製造廠商在產品中使用樹脂材料了。

2. 光纖對準

如圖 2(a) 中所示，同軸雷射模組有時候並無光纖引出，而以光纖轉接頭取代光纖，即插座式，但是具轉接頭的光軸和雷射晶粒之間仍須對準並加以固定。不同形式構裝的光電元件，執行對準程式的設備和方法均有所差異，以下，我們仍以雙排線式構裝雷射作為例子來說明，如圖 2(b) 所示。由於光纖本身是容易斷裂破損的玻璃材質，所以在進行對準前，光纖通常需固定在一個可提供保護的套管之內。方法之一，是以錫銲方式將外表鍍金的光纖銲接在一個金屬套管之內。接下來，以精密的移動平台，解析度通常需達 0.1 微米，來執行光纖頭端和雷射晶粒發光區域之對準工作。此一步驟可能需要 X、Y、Z 及旋轉等方向的調整，以達到由光纖讀出最大功率的位置。確定了最佳化的位置後，則進行固定，使得雷射模組在離開精密移動平台之後，仍可維持相當的輸出功率。在這個過程中，固定光纖位置的方法是整個雷射構裝的關鍵步驟。在前文曾介紹過，我們可以用錫銲或環氧樹脂來作模組內零件的黏著劑。但是一個長距離通信用的雷射

模組，以使用單模光纖為主，其中心核直徑只有 10 微米，而雷射晶粒的發光區域也非常小，因此在我們尋得了最高輸出光功率的位置之後，若是因熱脹冷縮或震動等原因，造成光纖的位移，即使該位移小於 1 微米，都可能使輸出光功率大幅衰減。因此可推知，利用錫鉛及樹脂來固定光纖位置可能無法維持雷射模組長期的穩定輸出。

日前對於維持雷射模組長期的穩定輸出問題，普遍認為最可靠的技術為雷射熔接式構裝，即利用一高功率的 Nd:YAG 雷射，將其輸出光聚焦於需要熔接的位置，以脈衝式輸出雷射光，將光纖固接在模組內的基板上。雷射熔接的過程中，並不外加填充錫料，僅利用高溫將光纖外套管及固定座熔化，再待其冷卻後凝固而形成錫接點，前文介紹過的 invar 就是一種適合熔接的金屬。雷射熔接錫點的堅固程度遠比錫鉛及環氧樹脂為佳，而且適合進行微小區域的加工，用這個方式進行光纖對準和固定的雷射模組，才能通過通信用光電元件的可靠度測試。

最後，將完成的雷射模組加上上蓋，利用通電流加熱的方式把上蓋和封裝盒本體熔接起來，就完成了一個半導體雷射模組構裝的主要工作。

五、結論

最近人類將科技與工程技術，大量應用在提升生活品質與工作效率上面，從而使得通信、電腦、

網路及聲光娛樂等科技功能溶入每一個人的日常生活中，同時也帶動了光電元件的大量需求。未來光纖到家 (fiber to the home) 的架構，人人在家裡皆可使用高速與寬頻網路傳遞各種資訊，以及實現一個更美好的未來世界，因此從事光電元件及其構裝方法的研發，創造更價廉物美之光電產品，將是不可或缺的要素。

參考文獻

1. 鄭木海, 光訊, 第六期, 12 (1998).
2. 章鴻倫, 王中庸, 電子月刊, 3 (7), 83 (1997).

鄭木海先生為美國奧克拉荷馬州立大學物理博士，現任國立中山大學光電工程研究所教授。

沈茂田先生為國立中山大學機械博士，現任國立中山大學光電工程研究所博士後研究員。

Wood-Hi Cheng received his Ph.D. in physics from Oklahoma State University, USA. He is currently a professor in the institute of electro-optical engineering at National Sun Yat-Sen University.

Maw-Tyan Sheen received his Ph.D. in mechanical engineering from National Sun Yat-Sen University. He is currently a research associate in the institute of electro-optical engineering at National Sun Yat-Sen University.