

■期中進度報告

6

新型雷射二極體之封裝技術

A novel packaging technology for laser diode

計畫編號：NSC 91-2212-E-002-091

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：陳炳輝 國立台灣大學機械工程學系

計畫參與人員：簡欣堂、蔡建瑩、張志偉 國立台灣大學機械工程學系

一、摘要

原本的雷射二極體的封裝基板是以無氧銅作為材料，主要的作用是作為散熱模組 (heat sink)，其原因是無氧銅的熱傳導係數 (thermal conductivity) 大，約 386 W/m-K，同時不易氧化，因此可以提供相當大的散熱效率。而雷射二極體本身因為有電流通過時，在共振腔部分會有升溫現象，對於高功率的雷射二極體情形更趨明顯，因此要以無氧銅作為好的散熱基材，才不會讓高溫使雷射二極體的半導體材料有激變的衰退現象 (catastrophic failure) 產生。雖然無氧銅的散熱效果好，但卻無法有效的維持熱源的溫度，若有些微環境溫度的改變即會造成雷射二極體工作溫度的改變，常造成輸出波長不穩定 (每攝氏 1°C 會偏移約 0.2nm) 的現象，所以對於 DVD 讀取頭或光通訊用的 LD 是相當嚴重的問題。同時若能將傳統的基座溫度進一步降低，對於 980nm 等激發雷射二極體的輸出功率，將可再提高。另外，無氧銅的純化製程幾乎被日商所壟斷，且成本較高。針對以上的問題我們率先提出新型以小型熱管散熱基板的封裝技術，企圖改善傳統的設計效能，並且減少散熱模組的封裝成本。

關鍵詞：雷射二極體封裝、微型熱管、微溝槽、電子元件散熱、熱擴散元件

二、緣由與目的

隨著網際網路時代的來臨，大量且快速的傳輸需求日增，利用光訊作為傳輸工具已成為最佳的解決方案。LD 是光通訊產業的光主動元件，是將電轉換為光，以及光訊號放大，主要應用於光儲存、醫學治

療、通訊、條碼閱讀等。又因其有體積小、消耗功率低、以及可直接高速調制的優點，所以 LD 的市場除國內已有多家廠商加入 LD 封裝生產行列，並與國外大廠策略聯盟，取得技術支援，對未來景氣回春時將有無窮的爆發潛力。

目前產品發展的狀況，就以雷射二極體封裝為例，就有相當廣泛的用途例如：光波通信、資訊系統、家用電器、精密測量、或是光纖通信。由於隨著網路的蓬勃發展，光通訊產業伴隨而來的商機不斷 (請見表一)。因此光通訊元件，如：雷射二極體。LD 的市場產值也因此日以遽增。目前現階段的研發以微加工、熱流及封裝為技術，開發新型的雷射二極體的封裝技術，此封裝技術包含了改善雷射二極體的散熱效率，降低雷射二極體的工作溫度，增強雷射二極體恆溫能力，及降低封裝成本等優點，極具有市場競爭力，可望取代原本傳統用無氧銅材料做的封裝效能。

表一、全球 LD 市場規模

單位：百萬美元

年度	1998	1999	2000	2003
銷售值	2149	2760	3257	5351

資料來源：Laser Focus World

近幾年來，電子元件產品都朝小型化、高功率、高密度、高效能發展，同時，隨著半導體製程技術的精進，高度積體化的電子元件陸續被發展出來，單位面積或體積所消耗功率與熱通量遽增，因此如何避免熱量的集中是目前必須積極探討的一個重要課題。雷射二極體的封裝技術，若能提高保持恆溫的能力及散熱的效率，將延長雷射二極體的壽命及發光效率，便能提昇產品的競爭力。

原本的雷射二極體的基板是以無氧銅

作為材料，如圖 1，主要的作用是作為散熱模組 (heat sink)，其原因是無氧銅的熱傳導係數 (thermal conductivity) 大，約 386 W/m-K。因此可以提供相當大的散熱效率。而雷射二極體本身因為有電流通過，在共振腔部分會有升溫現象，對於高功率的雷射二極體情形升溫現象更趨明顯，因此要以無氧銅作為好的散熱基材，才不會讓高溫使雷射二極體的半導體材料有激變的衰退現象 (catastrophic failure) 產生。雖然無氧銅的散熱效果好，但是對於維持 LD 在恆溫下的效果並不佳，若有一些環境溫度的改變即會造成雷射二極體工作溫度的改變，常造成輸出波長不穩定 (每攝氏 1 °C 會偏移約 0.2nm) 和頻率不同的現象，所以對於 DVD 讀取頭或光通訊用的 LD 是相當嚴重的問題。因此雷射二極體若沒有好的散熱及均溫控制，將造成二極體壽命降低、輸出功率降低、輸出頻率和波長的位移 (wavelength shift) 等嚴重問題[1]、[2]。目前幾乎是以熱電冷卻系統來做控溫系統，如此自然增加了成本。另外，無氧銅的純化製程幾乎被日商所壟斷，且成本較高，在後段製程還要塗佈一層金膜，更增加了製造成本。

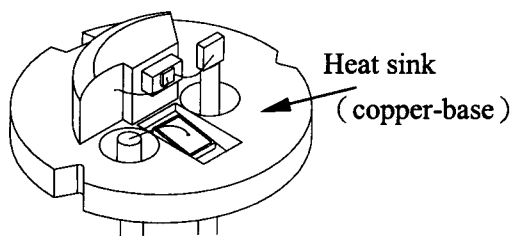


圖 1 雷射二極體

而目前新的設計需求趨勢如下：

1. 雷射二極體的封裝技術達到高溫操作並提昇輸出功率
2. 能穩定輸出波長
3. 為了耦合光纖通訊系統，所以需符合雷射二極體之封裝，如：TO-can 封裝
4. 能降低生產成本

因此本計劃製作一與無氧銅底座大小相同之小型輻射狀熱管，以符合 TO-can 的封裝規格。中心是雷射二極體的發熱端也是本計劃實驗之加熱端，周圍為放射狀微型溝槽提供工作流體返回加熱端之毛細組

織，嘗試利用熱管相變化之高熱傳量和低熱阻的特性來取代原本以無氧銅為底座的雷射二極體，以及以熱傳導係數尚佳的鋁為材料和高優點因素 (Number of Merit) 的去離子水為工作流體，改善因無氧銅均溫性不佳及增加其熱傳效率。並以沖壓、射出或微機電製程的製作方式企圖去降低製造生產成本。

三、完成結果與實驗討論

實驗設備架設

小型輻射狀熱管的充填過程為先進行封裝，再由渦輪真空幫浦抽氣並充填工作流體，測試設備如圖 2 所示。封裝方法將利用矽樹脂墊片 (Silicone rubber coated Teflon) 緊貼於微熱管上，作為上蓋，因為矽樹脂墊片有強力的可塑性和緊縮密閉性，可避免抽氣與充填時發生洩漏，於墊片與微熱管接觸邊緣塗覆一層高真空潤滑脂 (High Vacuum Grease)。針頭可供抽氣時之通路。待抽真空後，平行移動抽取真空管路之針頭通道，即可開始充填工作流體。工作流體充填器將採用注射器 (dispenser syringe)，利用注射器的刻度控制充填量[3]

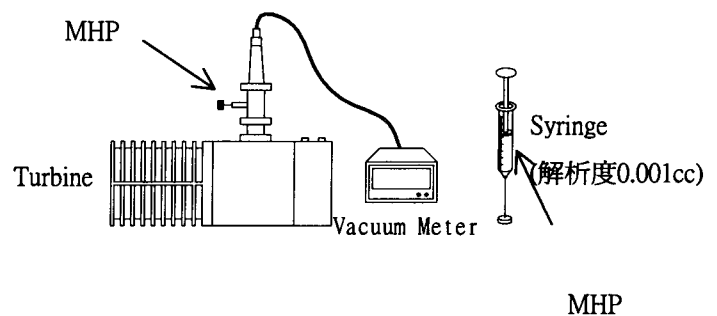


圖 2 抽真空及充填系統

將利用 DI-Water 為工作流體進行實驗，針對微型散熱器之鋁板上表面相對應於流道中心與流道底部邊之個別溫度做量測，以熱電耦 (T type) 量測溫度，以導熱膏及矽膠墊片固定熱電耦。將經過一個熱電耦擷取溫度計來觀察其溫度變化的情形，並可以做溫度數據的紀錄，及輸送到電腦做數據的處理。而流道中心將為微型散熱

器之蒸發端溫度，底部邊的溫度微冷凝端的溫度，並討論其表面之相關溫度變化。加熱方式將以雷射二極體做加熱，為了使微型散熱器底部表面中心能有完全的吸熱效率，將塗上一層黑漆（吸收率 $\varepsilon=0.95$ ），以增加吸熱效率，而以雷射功率計量測雷射輸出的功率，此為實驗之加熱熱傳量 Q ，系統量測系統和雷射光路，如圖3 所示。

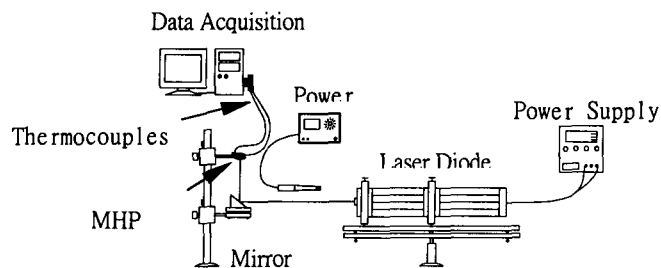


圖3 微型熱管性能量測設備

探討熱傳極限的機制及計算

經由公式的理論計算，推知本研究之放射狀小型熱管主要受沸騰極限所限制，計算可得最大熱傳量為 590 mW。但由圖4 的趨勢看來，加熱功率在 550 至 640 mW 下，並未發現突然升高之熱阻值，推論本實驗尚未有明顯的乾涸（dry out）現象發生，其原因可歸為以下兩點：

1. 以沸騰極限理論公式計算[4]，若將 Dunn 和 Reay (1982) 提出之氣泡成核半徑最大值 2.54×10^{-5} m 和最小值 2.54×10^{-7} m 分別代入，得到之最大熱傳量為 0.59 W 和 64 W。而本研究理論計算所代入的值是最大核氣泡半徑 2.54×10^{-5} m，因此可能低估了最大熱傳極限值。
2. 在理論計算之填充量假設為填滿溝槽的量，約為 35% 之填充量；若填充量小於假設值，則其最大熱傳量理論上應小於 0.59W，填充量少易在較低的加熱功率下，就產生沸騰，大量的氣泡阻塞了回流的工作流體，而發生乾涸現象。但本實驗 18% 的填充量下，仍未發生明顯乾涸現象，可能原因和表面粗糙度有關；反之，若填充量大於假設值，其最大熱傳量會大於 0.59W，則本實驗在 37%、55%、74% 及 92% 填充量下，未達乾涸現象頗為合理。

實驗結果

另外，從圖 4 不同填充量的加熱功率、蒸發端和冷凝端溫差關係圖所示，可知在 55% 填充量下可以明顯看出溫差較為平緩，具有較佳的均溫效果。在圖 5 不同填充量的總熱阻比較圖中，得知其最佳填充量為 55%，具有最低的平均熱阻，其值為 1.7°C/W

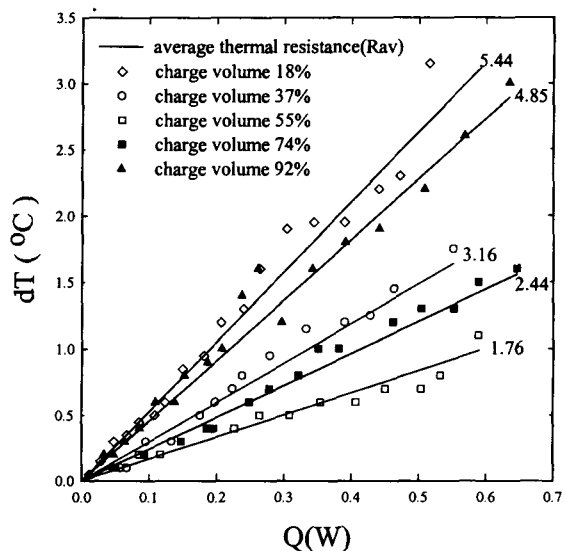


圖4 不同填充量之蒸發端和冷凝端之溫差和加熱功率關係圖

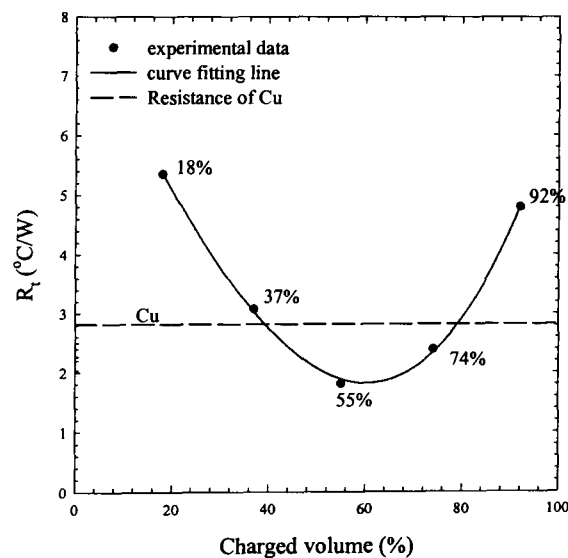


圖5 不同填充量和工業無氧銅之平均熱阻比較圖

實驗將加熱源置於不同填充量之放射狀小型熱管底部直徑 4 mm 的黑漆區上加熱，在不同加熱功率下量測蒸發端和冷凝端的溫度，發現溫差皆隨加熱功率的增加

而增大。在填充量為 55 % 時，比工業無氧銅和其他填充量具有較低的熱阻，並且具較佳的均溫效果，在加熱功率約 600 mW 時，溫差約只有 1℃。在如此小尺寸的熱管構型，640 mW 內尚未有乾涸現象發生，已符合光通訊摻鐳放大器的 980 nm 雷射二極體的激發功率 250 mW 需求。加上此尺寸的小型熱管，在 55% 填充量下之熱阻比工業無氧銅低 40%，另外，製造又成本低廉，將來若以此新的封裝基材來取代無氧銅，可提高雷射二極體的效率和壽命，更可提高輸出功率達到光通訊訊號能量加強的需求。

四、計畫期中成果自評

1. 先已完成新型雷射二極體封裝基材之設計，如圖 6；實驗測試平台已架設完整；並實驗測試完整的數據，已作數據之探討與分析；另以理論計算推估 dry-out 的加熱量做比較，因此已完成本年度計畫之 80% 的進度。並已經製作好流場觀測之模型樣本(如圖 7、8)，樣本材料為壓克力材料，將於未來幾週內進行測試。



圖 6 實體模型



圖 7 樣本上視圖



圖 8 樣本側視圖

2. 未來小型熱管製作上，希望將來用射出成形或微放電加工之加工方式，可以讓表面粗糙度降低，並縮小溝槽尺寸，以達更大的熱效率，已尋求奇臻微機電股份有限公司合作。
3. 在封裝技術上，能不用矽膠墊片配合真空膠供填充用，而以其他金屬材質以焊接方式加工完成，主要目的是讓小型熱管體積最小化，次者因矽膠墊片可能親水性高，當熱管作動時，工作流體會吸附上去，會影響熱傳效率。
4. 測試實驗上，抽真空和注入工作流體量是否確實很重要。經由多次實驗經驗，抽真空時，時間不能太短，最好拔起觀察真空計的讀數，是否有壓力上升的情形，並至少比工作條件在抽真空時，要高一個級數，並須判斷真空管路是否有堵塞的現象。因抽孔非常的小，很容易就被堵塞，常誤以為熱管內已達到真空度，其實是管路堵塞。注入工作流體確實與否，也是實驗成敗之關鍵步驟。
5. 在用注入器汲水時，注意一定要把針管裡的氣泡排乾淨，以保持熱管裡的真空度。為確保在注入工作流體時，不會有空氣洩漏，所以小型熱管上蓋用約 3 mm 厚之矽膠樹脂片，在注入工作流體時，一定要確實把針頭插入熱管裡，若發現再拔起針頭時，有水珠滲出，則表示未完全注入熱管裡，其在作動時熱阻就有明顯差異。
6. 本實驗因加熱功率未達最大熱傳量，因此並沒有乾涸現象。希望未來能以

較高功率之雷射給予加熱，找到乾涸點能與理論公式相比較分析。

五、參考文獻

- [1] D. Lewis, S. Dilhaire, T. Phan, V. Quintard, V. Hornung and W. Claeys, "Modelling and experimental study of heat deposition and transport in a semiconductor laser diode," Microelectronics Journal, 1998, Vol. 29. pp.171-179
- [2] Mark R. Bachhuber and Robert D. Lorenz, "Compact laser-diode sources for optical inspection probes," IEEE transactions on industry applications, 1989, Vol. 25, No. 4, pp.652-657.
- [3] Y. Cao, M. Gao, and E. Pinilla, Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97, Proceedings of the 32nd Intersociety, 1997, Vol.2. pp. 1509-1513
- [4] G. P. Peterson, "An introduction to Heat Pipes modeling, testing, and applications"
- [5] 邱琇苓, "創新雷射二極體之封裝基材", 國立臺灣大學碩士論文, 民國九十一年六月。