

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

新型雷射二極體之封裝技術(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-002-032-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：陳炳輝

計畫參與人員：簡欣堂、張志偉

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 7 月 28 日



# 新型雷射二極體之封裝技術(2/2)

## A novel packaging technology for laser diode (2/2)

計畫編號：NSC 92-2212-E-002-032

執行期限：92年8月1日至93年10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、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。

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據增，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。

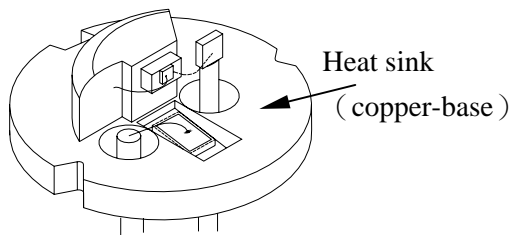


圖 1 雷射二極體

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。設計如下：

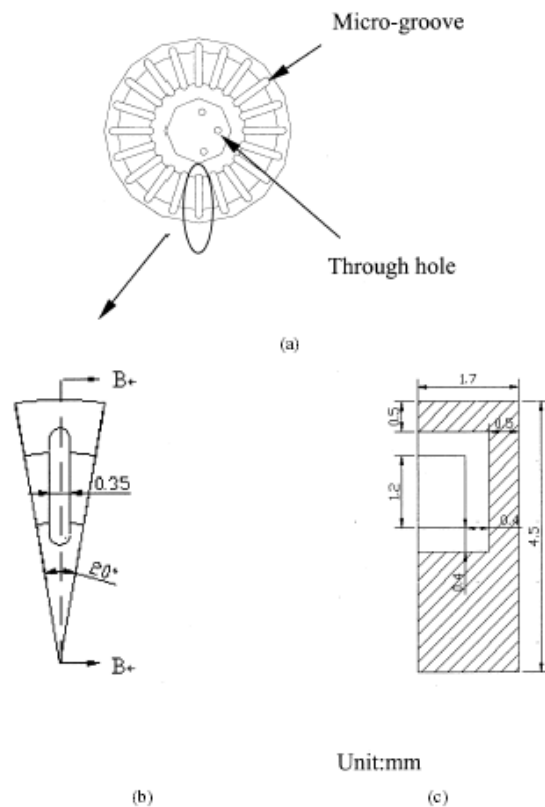


圖 2 新型封裝基材之設計圖  
(a) 二十條微溝槽之設計圖 (b) 單一溝槽圖  
(c) B-B 之剖面圖

### 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 3 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]

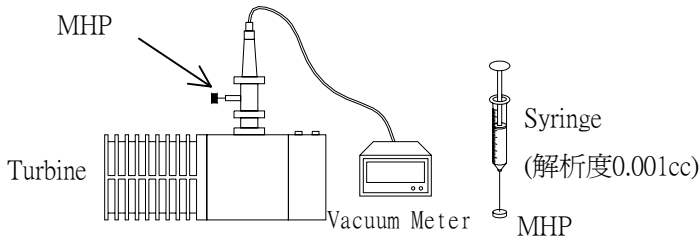


圖3 抽真空圖

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，底部邊的溫度為冷凝端的溫度，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較佳的吸熱效率，將塗上一層黑漆(吸收率  $\epsilon = 0.95$ )，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4 所示。

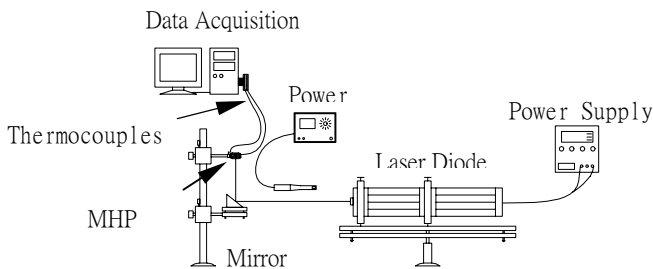


圖4 微型熱管性能量測設備

### 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  $2.54 \times 10^{-5}$  m和最小值

$2.54 \times 10^{-7}$  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  $2.54 \times 10^{-5}$  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。
3. 各極限計算結果如下表：(計算軟體為 Mathcad)

極 限	熱 傳 量 (W)
毛 細 極 限	600
沸 騰 極 限	0.59
飛 濺 極 限	$We = 2.71 \times 10^{-5}$ , $We < 1$ $Q \rightarrow \infty$

4. 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。

### 實驗與模擬結果

另外，從圖 6 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  $1.76^\circ\text{C}/\text{W}$

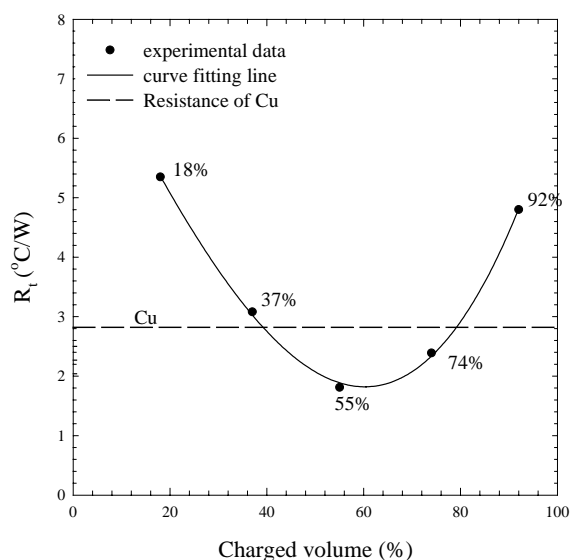


圖 5 不同填充量和工業無氧銅之平均熱阻比較圖

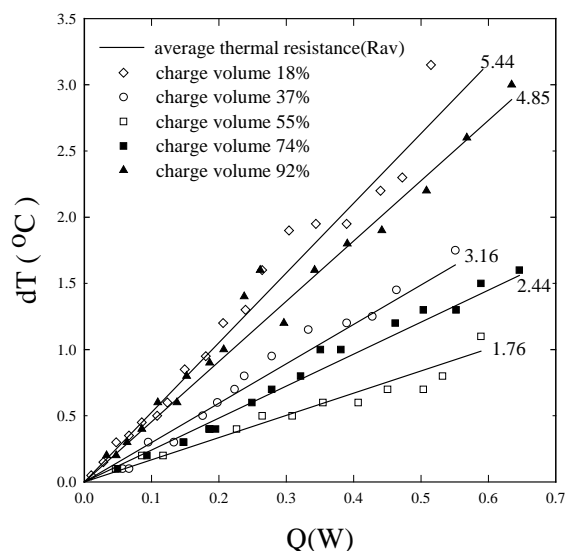


圖 6 不同填充量之蒸發端和冷凝端之溫差和加熱功率關係圖

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°C。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。

在流場觀測方面，在放射型小型熱管方面，設計放大基材之製造方式

另外，在放射型小型熱管基板上，製作一個可視化壓克力板，除了可作為充填工作流體的封蓋外，還可以俯視流體之沸騰狀況及流動狀態。下圖是沸騰的情形，左邊是蒸發端，由於上蓋有冷凝液珠，所以沸騰氣泡的形成不易觀測，微溝槽中可大致看出冷凝流體的流動狀態。不過為了要更清楚觀測到沸騰現象的產生，將來會設計以微攝影機台來做影像擷取及觀測。



圖 7 流場觀測

利用建立 CFD 的模型，來建構微型熱管內的兩相熱傳之模擬，使用的軟體為 Fluent，以下是模擬的結果。

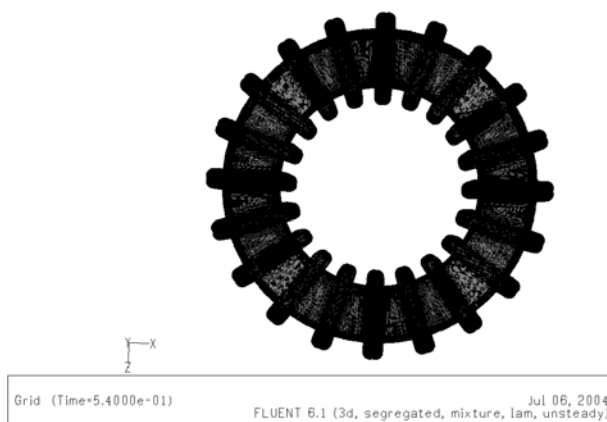


圖 8 環形網格 mesh 圖

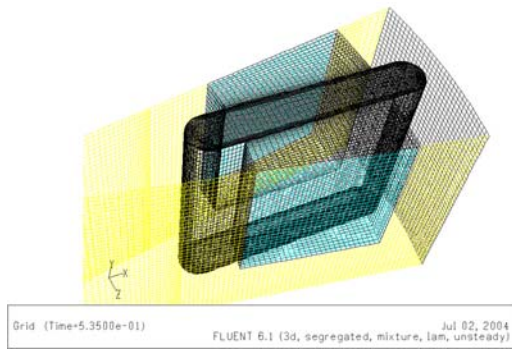


圖 9 溝槽網格 mesh 圖

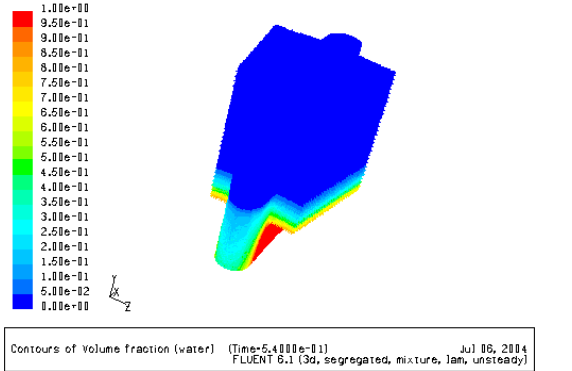


圖 10 單一溝槽塊在 0.54 秒的結果圖

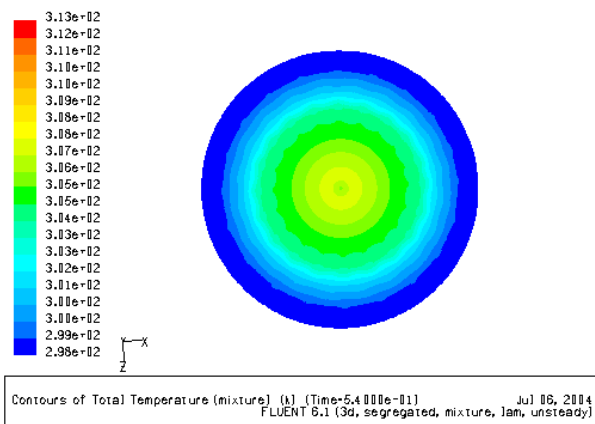


圖 11 微熱管底部在 0.54 秒的結果圖

圖 8 和 9 為微溝槽與環形溝槽設計之建網格圖。在模擬的數據圖來看，若軟體跑到穩態時，實際上模擬的結果與測試的結果有相當的差距，可能在邊界條件的設定上與實際的測試狀況有差異所致。而在 0.54 秒所得出的結果，我們可以看出中間溝槽底部的溫度已經變的較高，但是並沒有較明顯的沸騰現象發生。而圖 11 顯示在基材底部的溫度分佈。因為中間是熱源，因此溫度較高，而側邊是冷凝端所以溫度較低。

#### 四、計畫期末成果自評

成果列表：

預期完成之工作項目	執行情形	差異性
1. 實驗量測設備之校正、設計修正與改良	已能有效控制量測設備參數，實驗量測重複性佳。	無
2. 微型散熱器之理論計算	經由熱傳極限計算出微型熱管的最大熱傳量為 0.59W，和實驗量測結果大致符合。	無
3. 設計製作流程與製程參數	已規劃出完整製作流程並能有效控制製程參數，良率大幅提高。	無
4. 做流譜及流場觀測	以壓克力材質製作微型熱管來進行流場觀測，但由於冷凝液珠干擾觀測，效果不佳。	製作出可視化微型熱管，但未能有效觀測流場。
5. 設計微機電製程的流程並做出試件	已進行微機電製程之光罩設計，不過需要使用厚膜製程與電鑄的方式製造，製程複雜，成功率較低，需要再規劃新的製程和測試。	完成製程設計，但仍改善空間。

1. 先已完成新型雷射二極體封裝基材之設計，如圖 12；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，並完成各項極限現象的計算與分析。已經製作好流場觀測之模型樣本(如圖 13、14)，樣本材料為壓克力材料。
2. 使用 Fluent 軟體，模擬整個微型熱管之溫度分佈。另外以 CFD 建立模型來作兩相熱流分析，並與實驗作比較並

探討其差異性。並試圖作最佳化之設計與製程規劃。此部分的計畫完成度達 95% 以上

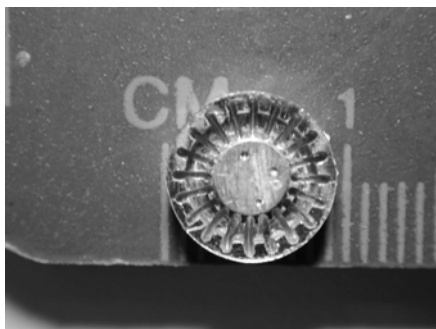


圖 12 實體



圖 13 樣本上視圖



圖 14 樣本側視圖

3. 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。
4. 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。

5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 目前已進行微機電製程之光罩設計，圖 15 與圖 16，將分成兩部分蝕刻及曝光，完成厚膜光阻之模仁後，之後將做電鑄製程，完成以銅為基材的放射狀小型熱管。光罩設計圖如下：不過需要使用厚膜製程與電鑄的方式製造，並且必須有兩道的塗佈和去光阻製程，目前成功率較低，必須要再進一步規劃新的製程和測試。
9. 在流場觀測的部分，由於樣本元件過小，作了拋光處理後，雖然透光性變佳，不過由於蒸汽凝結所造成的液膜，阻礙了觀測的視線，因此在觀測上是十分的困難的。為了完成觀測，



也利用過 PIV 作量測，不過事實上在量測點的捕捉與判斷直點與流場分析也有一定的困難，在光路與鏡頭的架設上便有相當難度。因此完成度較低

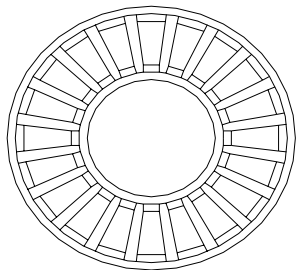


圖 15 第一層光罩圖

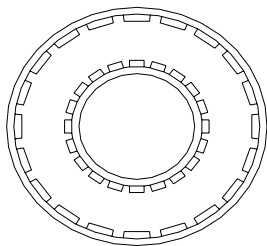


圖 16 第二層光罩圖

## 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。