

國立交通大學  
光電工程研究所

碩士論文

用於雷射二極體之無繞射之光學元件的研製

Design and fabrication of a nondiffractively  
optical element for laser diode

The logo is a circular emblem with a blue border. Inside the circle, there is a stylized representation of a book and a gear, with the letters 'ESEA' and the year '1956' integrated into the design.

研究生：陳慶勳

指導教授：陸懋宏 教授

中華民國九十四年六月

用於雷射二極體之無繞射之光學元件的研製  
Design and fabrication of a nondiffractively  
optical element for laser diode

研究生：陳慶勳

Student : Qing-Xun Chen

指導教授：陸懋宏

Advisor : Mao-Hong Lu



A Thesis  
Submitted to Institute of Electro-Optical Engineering  
College of Electrical Engineering and Computer Science  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in  
Electro-Optical Engineering  
June 2005  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 用於雷射二極體之無繞射之光學元件的研製

研究生：陳慶勳

指導教授：陸懋宏

國立交通大學

光電工程研究所

## 摘要

以繞射理論為基礎所發展出來的繞射元件，具有可積體化、體積小、重量輕、可複製等優點，可設計出許多不同功能的光學元件。致使其在各領域都有逐漸受到重視的應用。



本論文研究以繞射理論為基礎，以最佳化演算法進行純相位光學繞射元件的設計。並利用繞射光學元件強大的光束整型功能，對半導體雷射中的雷射二極體做無繞射光束設計。以標準波長 0.65 $\mu\text{m}$ 、發散角 8 度、28 度為光源，進行整型。

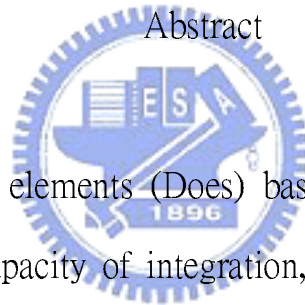
# Design and fabrication of a nondiffractively optical element for laser diode

Student: Qing-Xun Chen

Advisor: Prof. Mao-Hong Lu

Institute of Electro-Optical Engineering  
National Chiao Tung University

Abstract



The diffractive optical elements (DOEs) based on diffraction theory have the advantage of small size, capacity of integration, light weight, ease of duplication, which become more and more attractive in many fields.

In this thesis, we use the iterative algorithm to optimize the design of phase-only diffractive optical elements (DOEs). Employing the strongly beam-shaping ability of the (DOEs), we make a non-diffraction beam for the semiconductor laser of 0.65 $\mu$ m wavelength laser diode with  $8^\circ$  and  $28^\circ$  semi-diverging angle.

## 誌謝

在碩班的求學過程中，由於身受車禍後的復原所苦，在期間所感受的人情冷暖，實在是無法以筆墨形容。冷漠雖不容易遺忘，但在我身邊陪伴的卻是讓我感謝萬分。

最讓我感謝的是三年來 **陸懋宏** 老師 對我的教導、耐心和容忍。其教導讓我受益良多、耐心及容忍讓我得以在跌跌撞撞中完成碩士學業。陸懋宏 老師 對我而言人師大於教師。

其次是 **林暉雄** 學長對我在設計經驗上的傳授、資源上的供給、把我當成小學弟般的愛護、犯錯的容忍。萬分感謝。

在這一段時間裡，讓我學會了將來如果遇到需要和值得幫助的人，在自己的能力裡會盡力去幫。

在此最要感謝家人在我身體不適時的照顧，與我在碩班即使延畢也無限的支持與鼓勵，特別是獻給我心中最堅毅的母親，與默默對我付出愛心的父親。

此論文承接自國科會精密儀器中心林暉雄先生與華上光電合作之子計畫。

2005 年 9 月於新竹交通大學

# 目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表 目 錄	vi
圖 目 錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 引言	1
1.2 微光學繞射元件的應用與優點	1
1.3 關於本論文	3
第二章 基本理論與模擬分析	4
2.1 引言	4
2.2 繞射基本理論與描述	4
2.2.1 光的繞射現象	4
2.2.2 繞射元件的設計與分析	5
2.2.3 選用之純量理論繞射公式	5
2.2.4 向量繞射理論和純量繞射理論的比較	8
2.3 G-S 法原理[2]	8
2.3.1 二維繞射傳播	8
2.3.2 二維 G-S 演算法簡介	9
2.4 繞射效率的計算，及整形評估項	9
2.4.1 繞射效率	10
2.4.2 整形效果評估	10
2.5 無繞射光束簡介[7][8]	10
2.6 雙片式繞射元件設計	11
第三章 雷射二極體無繞射光束整形元件之設計	12
3.1 前言	12
3.2 設計架構	12
3.3 雷射二極體(LD)之輸出光場分析：[3][4][5]	13
3.3.1 公式及場型分布圖形	14
3.3.2 Lorentz-Gaussian mode 光場參數計算方式	16
3.3.2.1 計算 p(由 x 方向決定)	16
3.3.2.2 計算 q(由 y 方向決定)	17
3.3.2.3 已所使用的光源做實例計算	17
3.4 無繞射光束整形結果	18
3.4.1 光場傳播的驗證	18
3.4.2 無繞射光束模擬結果	20

3.4.2.1	模擬參數說明及圖示	20
3.5	誤差分析結果	22
3.6	以楊氏雙狹縫來說明雷射二極體空間同調度不佳	26
第四章	繞射元件的製作及元件蝕刻品質量測	28
4.1	引言	28
4.2	製程步驟及相位分階量化	28
4.3	光罩繪製及對準鍵設計技巧	31
4.4	半導體製作流程	34
4.5	元件表面量測	35
4.6	電鑄及壓模	37
4.6.1	電鑄簡介	37
4.6.2	模壓簡介	39
第五章	量測分析	41
5.1	引言	41
5.2	雷射二極體晶粒在封裝時的空間架構圖	41
5.3	雷射二極體發散角量測	42
5.4	電鑄、壓模完成之元件圖示與品質示意	45
5.5	元件品質光學量測	46
第六章	結論與展望	53
Reference		54
附錄		55
[1]	雷射二極體規格	55



## 圖目錄

圖 1.1	折射、反射與繞射元件的區別	2
圖 2.1	光經孔徑的情形	4
圖 2.2	惠更司次波源原理示意圖	6
圖 2.3	繞射的幾何示意圖	7
圖 2.4	繞射傳播圖示	8
圖 2.5	G-S 演算法流程圖	9
圖 2.6	雙片式繞射元件圖示	11
圖 3.1	設計想法圖	13
圖 3.2	LD 的空間座標圖示	14
圖 3.3	Lorentz-Gaussian mode 分佈圖示	15
圖 3.4	非對稱 gaussian mode 分佈圖示	16
圖 3.5	P1 做光場重建圖示	18
圖 3.6	P2 面後重建結果	19
圖 3.7	LD 在輸入面的振幅分佈	21
圖 3.8	LD 在輸入面之相位分佈	21
圖 3.9	目標面振幅分佈	21
圖 3.10	目標面優化結果(未分階)	21
圖 3.11	目標面優化結果(分八階)	21
圖 3.12	P2 後一公尺之光場重建(分 8 階後), 光場大小為 3mm	22
圖 3.13	P2 後二公尺之光場重建(分 8 階後)第二片至 z=2 公尺, 光場大小為 3mm	22
圖 3.14	P2 後三公尺之光場重建, (分 8 階後之元件) z=3 公尺	22
圖 3.15	折射率量測誤差對於能量的影響	23
圖 3.16	LD 延光軸移動之誤差模擬圖示	24
圖 3.17	雷射二極體相對於元件在平行光軸的誤差分析	24
圖 3.18	偏離光軸的誤差分析模擬圖示	25
圖 3.19	元件在偏離光軸的誤差分析	25
圖 3.20	楊氏雙狹縫實驗示意圖	27
圖 3.21	雷射二極體維度示意圖	27
圖 4.1	光罩使用順序與蝕刻完圖形之關係	29
圖 4.2	八階元件蝕刻流程	29
圖 4.3	連續相位八階量化示意圖	30
圖 4.4	第一片繞射元件之圖檔, 由上而下依序為第一道 ，第二道, 第三道	32
圖 4.5	第二片繞射元件之圖檔, 由上而下依序為第一道 ，第二道, 第三道	33
圖 4.6	十字型對準鍵, 邊長 100um	33



圖 4.7	製程流程圖.....	34
圖 4.8	第一片繞射元件，Wyko，表面量測圖 .....	36
圖 4.9	第二片繞射元件，Wyko，表面量測圖 .....	36
圖 4.10	第一片繞射元件，AFM，量測圖.....	36
圖 4.11	電鑄系統架構與陰、陽極作用示意圖.....	37
圖 4.12	電鑄過程圖示.....	38
圖 4.13	模壓過程圖示.....	39
圖 5.1	雷射二極體晶粒在封裝時的空間架構圖.....	41
圖 5.2	量測發散角方式.....	42
圖 5.2	發散角量測裝置.....	42
圖 5.3	發散角量測參數意義.....	43
圖 5.4	LD 光斑.....	43
圖 5.5	LD 簡單驅動電路電路示意圖.....	44
圖 5.6	LD 簡單驅動電路電路.....	44
圖 5.7	電鑄後的 Ni 模.....	45
圖 5.8	壓模後的 PC 片.....	45
圖 5.9	量測裝置圖.....	46
圖 5.10	第一片結果量測.....	47
圖 5.11	加入第二片後量測結果.....	47
圖 5.12	零度入射.....	48
圖 5.13	正一度入射.....	48
圖 5.14	正二度入射.....	49
圖 5.15	負一度入射.....	49
圖 5.16	負二度入射.....	50
圖 5.17	(短/長)軸比與入射角度的關係.....	50
圖 5.18	綠光氦氖通過繞射元件之繞射圖~1.....	51
圖 5.18	綠光氦氖通過繞射元件之繞射圖~2.....	51

## 表目錄

表3.1 發散角對能量的誤差.....	23
表3.2 各種參數的誤差分析.....	26



# 第一章 序論

## 1.1 引言

就如大家所知的，科技的進步是一日千里的，任何時刻，任何理論都可能隨著人類的努力或突發奇想，而有了新的進步。近年來半導體製程、鑽石切削等工具的快速進步，以及電腦效能不斷的加快，提高，使的早期認為困難的程序到現在一一得到了解決、其中光學微元件的發展，就是一個需要計算及製程相互配合，才能高度發展的實用性成品。



## 1.2 微光學繞射元件的應用與優點

微光學繞射元件大部分是利用半導體製程來完成，其線寬大約在幾個微米之間（看是用哪一種理論來設計，各有其明顯的限制與規範）。其輕型化、微型化及可積體化的功能，使其應用的範圍很廣，例如光束整形（beam-shaping），影像顯示器（image-display）等，在消費性產品如 CD-ROM，DVD 等讀取頭，更是不可或缺的元件，且還有其可應用性待開發。

一般而言光學系統需要兩種基本功能：成像（imaging）及偏光（beam-deflection）。成像又有聚焦（focusing）和準直(collimating)等；偏光又有分光（beam-splitting）或多光束分光(N beam splitting)等。成像可以用透鏡，而偏光可以用稜鏡、鏡面或光柵。而要達成這兩種功能都可

以藉由折射(Refractin)、反射(Reflection)及繞射(Diffraction)來完成。如圖 1.1 所示。

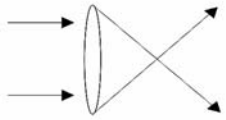
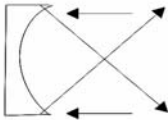
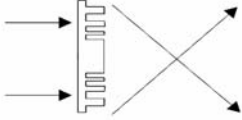
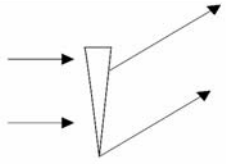
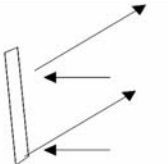
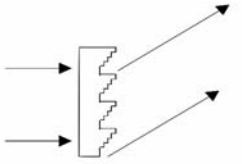
	折射	反射	繞射
聚焦			
偏光			

圖 1.1 折射、反射與繞射元件的區別

關於繞射元件的優點實在是多不勝數，其對於成像面波面的控制實在是非常靈活及直接的，其不同於折射元件的色散特性，也是常用到的特性，下面列舉出幾點。

1. 具高繞射效率：

由二進階光學可知其繞射效率在八階以上即有 90%以上的效率。

2. 具獨特色散特性：

折射元件 Abbe 指數  $V_r = \frac{n_d - 1}{n_f - n_c} > 0$  ( $V_r=80\sim 20$ )，繞射元件

Abbe 指數  $V_d = \frac{\lambda_d - 1}{\lambda_f - \lambda_c} < 0$ ，故兩者色散特性相反。可以在折射光

學系統中由折射元件提供大部分的聚焦功能，而在其表面上浮

離繞射元件之波帶結構來校正色差。

3. 具縱向調制功能：

繞射元件相對於折射元件，最大的優勝在於縱向依然具強大調制功能，例如著名的圓對稱磨無繞射光束、空心光管．．等。在二維繞射元件的發展後，將注入更多的應用及調制功能。

4. 材料的選擇性大：

二進階光學元件是將  $2^N$  階的浮雕表面蝕刻在對其設計波長透光率較高的玻璃、電介質或金屬基底上，所以材料的選擇範圍大。

5. 配合塑膠射出成型技術,可量產且成本低。

6. 可積體化：

這是其中最重要的一個特點，在 MEMS 技術的不斷進步成長，具有對於繞射元件之站立，傾斜．．．等的完備製程，繞射元件會有更多的利用方式。



### 1.3 關於本論文

本論文主要是利用二維繞射元件的計算，尋找適合雷射二極體 (laser diode) 的出光模態，利用兩片繞射元件調制 LD 光源為無繞射光束，內容包括設計、製作及量測。製作是利用半導體製程蝕刻在矽晶圓上，再電鑄、模壓到高分子材料(PC)片上。

## 第二章 基本理論與模擬分析方法

### 2.1 引言

在此章描述的是設計繞射元件的理論，包括所選用光源模態的特性、模態參數的計算，選用演算法的特性。

### 2.2 繞射基本理論與描述

#### 2.2.1 光的繞射現象

當我們用一束光束，照射一不透明物件時，在他之後的一投影屏幕上，如果仔細觀察陰影的輪廓，不但光線會進入物體成像的陰影裡，也有可能觀察到一些明帶及暗帶的產生，如右圖 2.1 所示，索墨非

(Sommerfeld) 將此種無法以光線直進現象解釋的現象稱為『繞射 (Diffraction)』。

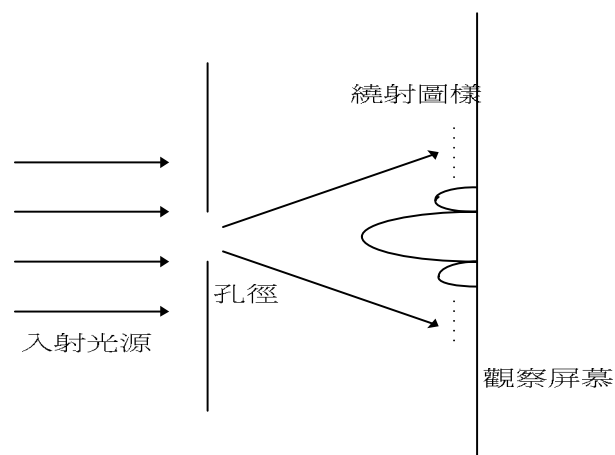


圖 2.1 光經孔徑的情形

## 2.2.2 繞射元件的設計與分析

一般設計及分析繞射元件可依不同的需求及適合性採用幾何光學、純量繞射理論(Scalar Diffraction)、向量繞射理論 ( Vector Diffraction)。其中幾何光學理論可利用光柵方程式及光線追跡來預測光線經由繞射元件作用後的行進方向，但其理論不夠完備，所以無法用來計算繞射效率，通常會搭配純量或向量繞射理論做光場重建來計算其繞射效率。而純量繞射理論純粹以波面型式，來描述各級繞射光光場變化之傳播情形。但其製作繞射元件中的兩項假設，『元件厚度為無限薄』，在我的認知裡面，認為其假設對於大發散型的光源具不完備性，因此越偏離此假設的光源，雜光就越多及明顯。『光學傳播函數及入射光場的可分離』對於取樣不夠小，或取樣太小而受限於製程線寬十倍波長的限制，同樣對於發散型光源是有瑕疵的。至於向量繞射理論，是以 Maxwell 方程式做為分析的基礎，當然計算及數學也較純量理論複雜很多，其可用來彌補純量繞射理論在偏極化描述的不完備。在此工作中採用純量繞射理論來分析並計算之。

## 2.2.3 純量理論繞射公式

純量繞射理論是以光的波動現象為基礎，符合惠更司次波源原理，其是在特殊的物理狀況下，用較簡單的數學運算方式描述光的繞射現象，詳細狀況請參考 [1]一書。

1678 年惠更司(Huygens)首先提出了“光的波動理論”，他認為在光波的前進方向上，波前（wave front）上的每個點都可看成是一個次級球面擾動的新波源，產生二次子波(second wavelet)，而隨後任一時刻的波前，皆可由二次子波的“包絡(envelop)”所構成。這就是惠更司次波源原理的基本內容。此原理可成功的解釋光波的直進、反射及折射。

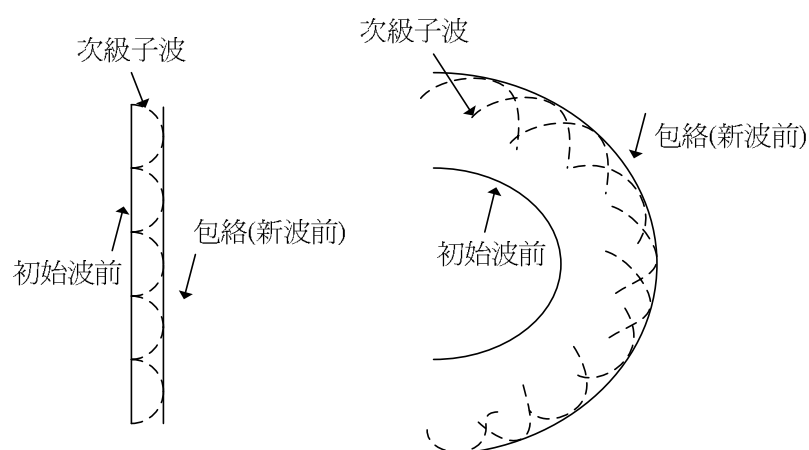


圖 2.2 惠更司次波源原理示意圖

在 1818 年菲涅耳 (Fresnel) 以惠更司原理為基礎，利用楊氏干涉原理，且引進一個傾斜因子，用積分式說明了繞射現象。如圖 2.3 所示，假設有一繞射孔徑平放在  $(\eta, \xi)$  平面上，一光束穿透過  $(\eta, \xi)$  平面並朝  $+z$  方向傳播。利用此積分式可計算傳播到  $(x, y)$  平面上的光波形式，如下圖 2.3 所示。



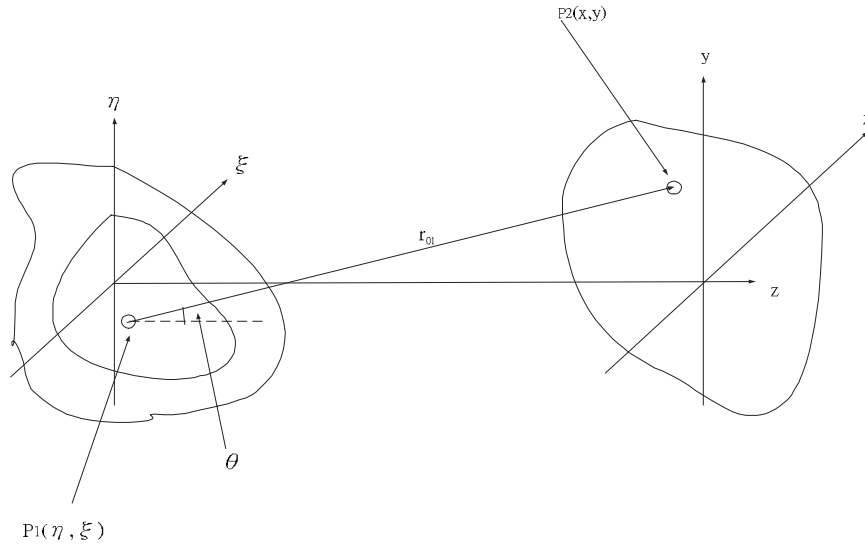


圖 2.3 繞射的幾何示意圖

省略了繁複的數學推導，選擇一最原始之惠更司公式，Rayleigh-Sommerfeld first solution：

$$U_2(x, y) = \frac{1}{j\lambda} \iint_{\Sigma} U_1(\xi, \eta) \frac{\exp(jkr_{01})}{r_{01}} \cos(\theta) d\xi d\eta, \quad \theta \text{ 為傾斜因子} \quad (2.2.3.1)$$

其中  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， $\cos \theta = \frac{z}{r_{01}}$  則可進一步改寫為

$$U_2(x, y) = \frac{z}{j\lambda} \iint_{\Sigma} U_1(\xi, \eta) \frac{\exp(jkr_{01})}{r_{01}^2} d\xi d\eta \quad (2.2.3.2)$$

以圖 2.3 來解釋參數意義： $U_1(\xi, \eta)$  是在  $(\xi, \eta)$  上的光場分布、 $r_{01}$  是輸入面到輸出面點與點的距離。

這是最原始的純量理論繞射公式，同時也是程式裡所選用的積分式，所以自他以後的推導就不在贅述。

## 2.2.4 向量繞射理論和純量繞射理論的比較

- (1) 向量繞射理論可以完整分析極化現象；而純量理論無法分析極化現象。
- (2) 在計算的過程中，光柵的厚度在向量繞射理論是有限的；在純量繞射理論裡是光柵厚度趨近零。
- (3) 以數值計算的過程而言，向量繞射理論的計算過程較為複雜。
- (4) 在純量繞射理論裡，許多階的繞射效率階為零；而向量繞射理論裡，所有階都具有繞射效率。

## 2.3 G-S 法原理[2]

由於我所使用的 G-S 演算法非圓對稱，為改變後的二維演算法，所以先在此說明一下，但兩者演算方法相同。

### 2.3.1 二維繞射傳播

二維傳播只是所選用的傳播式是二維的如此而已。傳播圖示如圖 2.4

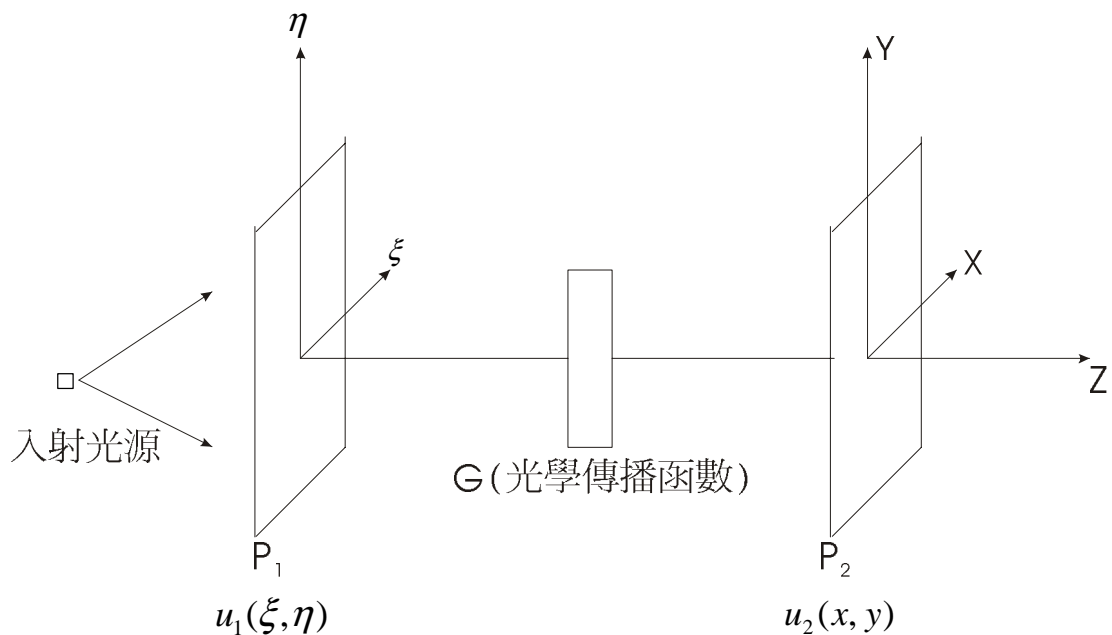


圖 2.4 繞射傳播圖示

入射光源爲何種波型皆可， $P_1$ 是一片相位光學元件， $U_1(\xi, \eta)$  是描述  $P_1$ 中的一點包括相位及振幅。其繞射公式取用的是(2.2.3. 2)式。即可求出在成像面的光場分佈。

### 2.3.2 二維 G-S 演算法簡介

GS 演算法是設計繞射元件最簡單的演算法，其流程如圖 2.5。

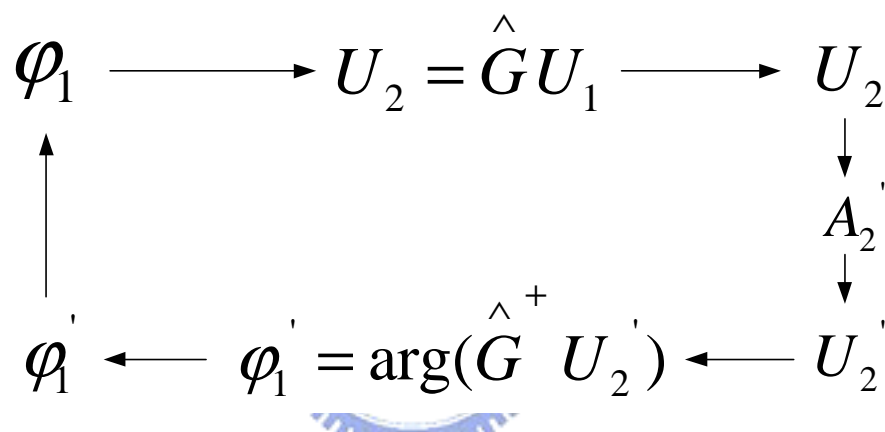


圖 2.5 G-S 演算法流程圖

1. 先假定一亂數相位  $\varphi_1$ 。
2. 藉由光學傳播函數計算在成像面的光場分佈。
3. 將目標振幅  $A_2'$  代替成像面  $U_2$  中振幅，得新光場分佈  $U_2'$ 。
4.  $\hat{G}^+$  爲  $\hat{G}$  之共軛轉置，與  $U_2'$  做矩陣相乘後，取其相位項，得  $\varphi_1'$ 。
5. 令此相位項爲新的相位帶入迭帶式。
6. 不斷迭帶至迭帶停滯後則可得出優化後的區域解。

### 2.4 繞射效率的計算，及整形評估項

對於整形光學元件，繞射效率與整形成效是一樣重要的。

### 2.4.1 繞射效率

一般對於繞射效率的計算是採用成像面訊號區能量除以總入射光波的能量。

$$\text{繞射效率} = \frac{\text{輸出光場中訊號區內之光通量}}{\text{總輸入光波的光通量}} \times 100\% \quad (2.4.1. 1)$$

但在量測時真正的繞射效率，卻需考慮元件本身品質的影響。例如需考慮元件本身之透射光譜，及透射率等的影響。

### 2.4.2 整形效果評估

一般是利用均方根誤差值來評估。

$$SSE = \frac{\sum(\rho_2' - \rho_2)^2}{\sum(\rho_2')^2}, \quad \rho_2': \text{目標振幅}, \rho_2: \text{目前振幅} \quad (2.4.1. 2)$$

當然 SSE 越小整形效果就越好。

## 2.5 無繞射光束簡介[7][8]

無繞射光束之形成必須符合波動方程，為波動方程之一解，以第零階之貝索光束應用最為廣泛，其本身具有之能量集中不發散以及高方向性之特性。下為推導出來的其中一種光場公式。

$$E(r, t) = e^{i(\beta z - \omega t)} \int_0^{2\pi} e^{i[\alpha(x \cos \phi + y \sin \phi)]} \frac{d\phi}{2\pi} = e^{i(\beta z - \omega t)} J_0(\alpha \rho) \quad (2.5. 1)$$

其中  $\alpha^2 + \beta^2 = k^2$ ， $\rho^2 = x^2 + y^2$ ，當  $\alpha = 0$  此解為一平面波。而當  $0 < \alpha \leq \frac{\omega}{c}$  時即

有無繞射光束之解。

仔細觀察  $e^{i(\beta z - \omega t)} J_0(\alpha \rho)$  項，其振幅項是  $J_0(\alpha \rho)$ ，為一 Bessel 函數，其在空間之平方和為無限大，所以是不可能達成的。在這裡是採用 Bessel-like beam 的方式，只取其 Bessel 函數的主瓣，或主辦加上幾個對稱之旁瓣的方式，如此也可維持一長距離的小發散傳播。

## 2.6 雙片式繞射元件設計

在此是利用兩片繞射相位元件來達到調制光場振幅及出射相位的功能，如下圖 2.6 所示。

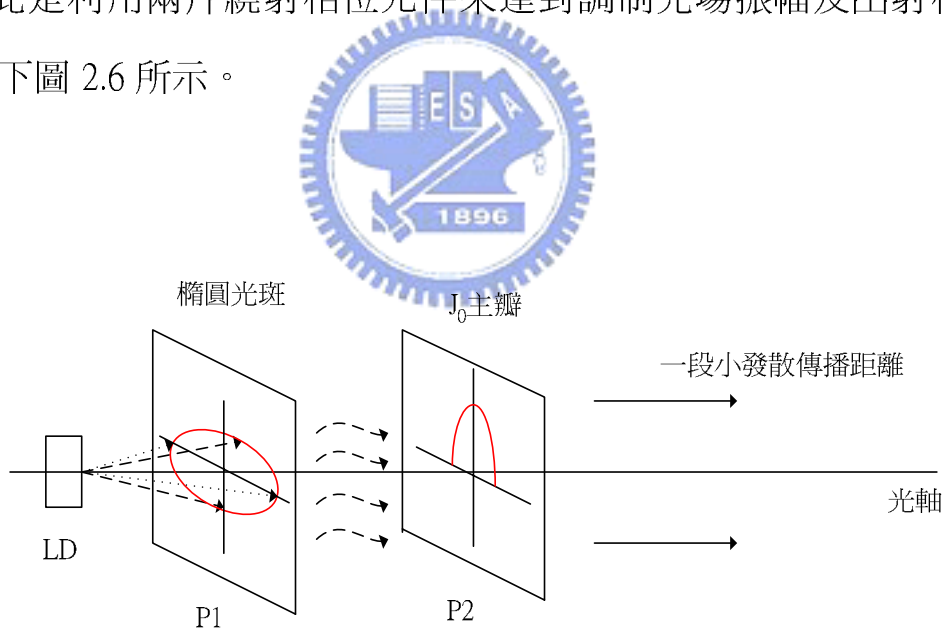


圖 2.6 雙片式繞射元件圖示

第一片 P1 之功能為將輸入光場振幅整型為第 0 階 Bessel 之主瓣分布(主要為調制振幅分布)。

第二片是將其相位調為平面波之相位分布，使其傳播至遠處而不擴散。

## 第三章 雷射二極體無繞射光束整形元件之設計

### 3.1 前言

在此章是撰寫關於設計此元件的一些概念及驗證，包括了光源的分析、光場傳播程式的驗證、模擬參數、結果及誤差分析，同時由誤差分析可知此類型繞射元件的對準是非常嚴格的。

### 3.2 設計架構

在此論文中的無繞射光束，目標是利用兩片繞射元件將一雷射二極體(LD)的大像散光源轉為貝索函數的主瓣分布，且傳播一段沒有明顯發散的距離。繞射元件是利用二維G-S演算法來設計。

繞射光學元件是一種相位元件，其在入射光源的行進路線中提供一相位截面改變入射光源的相位，使得傳播光源在繞射元件的成像面轉為所設計的振幅分佈。所以對於入射光源光場分佈的正確性及演算法光場傳播程式撰寫的正確性，是非常重要的因素。

設計的想法如圖 3.1，已在 2.6 節敘述過。

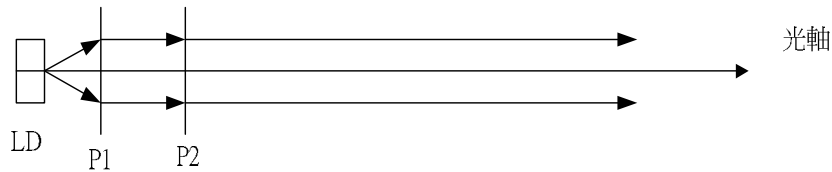


圖 3.1 設計想法圖

接下來敘述光源到元件 P1、元件 P1 到元件 P2，元件 P2 出射以後的分析。

### 3.3 雷射二極體(LD)之輸出光場分析：[3][4][5]

繞射元件是一種相位光學元件，對入射光場相位調制。雖然可以接受各種入射光場，但入射光場的正確性是非常重要的。入射光源的穩定性也是繞射元件所需考慮的主因之一，光場條件的不穩定性，決定了繞射元件適不適用於此種光源，而跟繞射元件所能承受的誤差範圍沒有關係。在這裡的分析雷射二極體的光場分佈是根據相關論文，有一定的可信度。

在許多論文中，對於雷射二極體光場分佈是以”非對稱高斯分佈模態”（Anisotropic-Gaussian mode）來描述。在很多應用上也確實得到了不錯的結果，在本文中所選用的光場模態是來自 “Far-field distribution of double-heterostructure diode laser beams.” [5]。用惠更斯公式將雷射二極體發光端面視為繞射孔徑，所推導出來的”勞倫茲-高斯模態” (Lorentz-Gaussian mode)來作為雷射二極體的光場分佈公式。根據該論文指出，Lorentz-Gaussian 模光場在LD之封裝前與後，其準確度均

較非對稱高斯模(A nisotropic- Gaussian mode)為高。以下列出兩者之公式及場型分布圖形，及光場參數計算方式。

### 3.3.1 公式及場型分布圖形

#### (1) 關於 Lorentz-Gaussian 模

圖 3.2 是 LD 的空間座標圖。

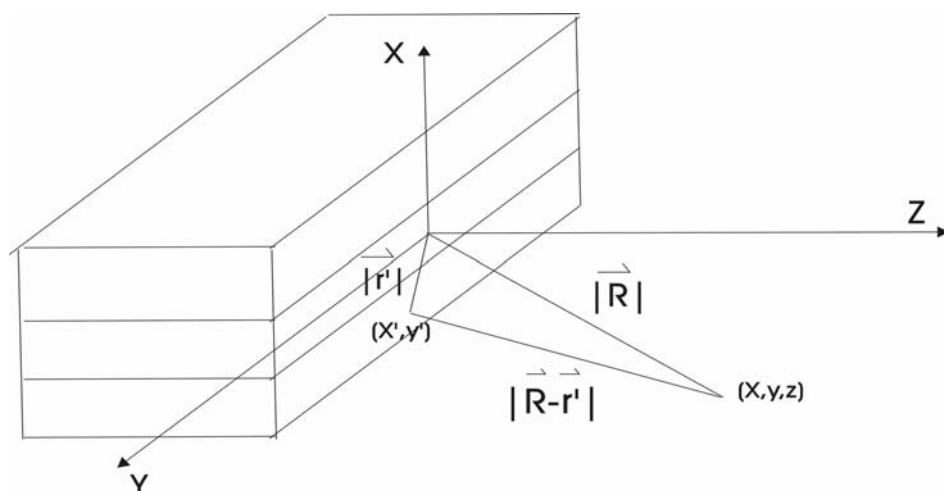


圖 3.2 LD 的空間座標圖示

在空間中點(x,y,z)之光場分佈公式如下

$$u(x, y, z) = A \frac{z \exp(ikr)}{r} \frac{\Gamma^2}{\Gamma^2 + x^2} \exp\left(-\frac{y^2}{\Omega^2}\right) \quad (3.3.1. 1)$$

$$A = -u_0 \frac{2i}{\lambda p} \left(\frac{\pi}{q}\right)^{\frac{1}{2}}, \Gamma^2 = (p^2 / k^2) r^2, \Omega^2 = (4q / k^2) r^2$$

其中 p、q 參數是 LD 發射端面前之光場分佈參數，求出 p、q 兩參數，就可知全體場型。



圖 3.3 是 Lorentz-Gaussian mode 的分佈形狀。

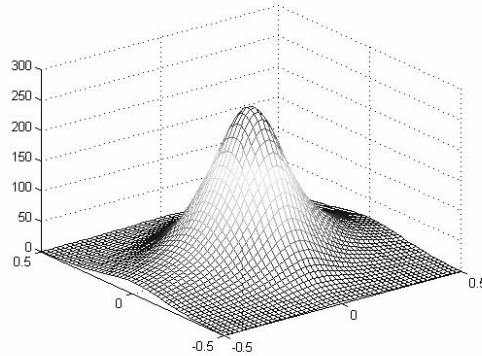


圖 3.3 Lorentz-Gaussian mode 分佈圖示

(2) 關於 非對稱 Gaussian 模

空間座標圖示如圖 3.2，在空間中點(x,y,z)之光場分佈公式如下

$$\Phi(x, y, z) = \left[ \frac{ab}{W_{1(z)} W_{2(z)}} \right]^{1/2} \exp \left\{ j\phi(z) - \left( \frac{x^2}{W_{1(z)}^2} + \frac{y^2}{W_{2(z)}^2} \right) - \frac{jk}{2} \left( \frac{x^2}{R_{1(z)}} + \frac{y^2}{R_{2(z)}} \right) \right\} \quad (3.3.1.2)$$

$$W_{1(z)}^2 = a^2 [1 + (\lambda z / \pi a^2)^2], W_{2(z)}^2 = b^2 [1 + (\lambda z / \pi b^2)^2]$$

$$R_{1(z)} = z [1 + (\pi a^2 / \lambda z)^2], R_{2(z)} = z [1 + (\pi b^2 / \lambda z)^2]$$

其中 z=0 為高斯光腰，根據發散角求出 a、b 兩參數，就可知全體場型。

圖 3.4 是非對稱 Gaussian 模的分佈形狀。

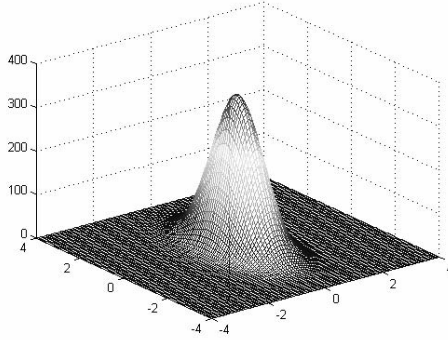


圖 3.4 非對稱 Gaussian 模 分佈圖示

由圖 3.3、3.4 可看出兩分佈情形的不同，在雷射二極體光場的長軸部分，Lorentz-Gaussian 模 顯示出較緩慢的下降趨勢。

### 3.3.2 Lorentz-Gaussian 模 光場參數計算方式

由 Lorentz-Gaussian 模 光場公式(3.3.1. 1)，及 LD 之發散角，可求出參數  $p$ 、 $q$ ，推導及描述如下。

平方(3.3.1. 1)式求出其強度分佈公式

$$I(x, y, z) = |A|^2 \frac{z^2}{r^4} \left( \frac{\Gamma^2}{\Gamma^2 + x^2} \right)^2 \exp\left(-\frac{2y^2}{\Omega^2}\right) \quad (3.3.2. 3)$$

在量測時通常是量測  $\frac{1}{e^2}$  強度之發散角，所以可以計算光場發散至  $\frac{1}{e^2}$  強度位置，利用  $\tan \theta_1 = \frac{y}{z}$ 、 $\tan \theta_2 = \frac{x}{z}$  ( $\theta_1$  為短發散半角、 $\theta_2$  為長發散半角； $y$  方向為小發散方向、 $x$  方向為長發散方向)。

#### 3.3.2.1 計算 $p$ (由 $x$ 方向決定)


將光場分佈  $u(x,y,z)$  平方得強度分佈  $I(x,y,z)$ ，利用  $\frac{1}{e^2}$  強度之位置得

$$I(x,0,z)=I(0,0,z)/e^2, \quad |A|^2 \frac{z^2}{(x^2+z^2)^2} \left[ \frac{\frac{p^2}{k^2}(x^2+z^2)}{\frac{p^2}{k^2}(x^2+z^2)+x^2} \right]^2 = \frac{1}{e^2} |A^2| \frac{1}{z^2} \text{ 得}$$

$$p = \frac{k \left(\frac{x}{z}\right)}{\sqrt{e-1-\left(\frac{x}{z}\right)^2}} \quad (3.3.2.1. 4)$$

3.3.2.2 計算  $q$ (由  $y$  方向決定)

$$I(0,y,z)=I(0,0,z)/e^2, \quad |A|^2 \frac{z^2}{(y^2+z^2)^2} \exp \left[ \frac{-2y^2}{\frac{4q}{k^2}(y^2+z^2)} \right]^2 = \frac{1}{e^2} |A^2| \frac{1}{z^2}$$

$$q = k^2 \frac{\left(\frac{y}{z}\right)^2}{4\left[\left(\frac{y}{z}\right)^2+1\right] \ln \left[ \frac{e}{\left(\frac{y}{z}\right)^2+1} \right]} \quad (3.3.2.1. 5)$$


3.3.2.3 以所使用的光源做實例計算

LD 波長  $0.65\mu\text{m}$  之大發散半角  $28^\circ$ 、小發散半角  $8^\circ$ 。

計算波常數  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = 9.6664$ ， $\tan 28^\circ = \frac{x}{z} = 0.53171$ 、 $\tan 8^\circ = \frac{y}{z} = 0.14054$

得  $p=4.289683237$ 、 $q=0.461459$ 。

### 3.4 無繞射光束整型結果

在此節是說明貝索主瓣模擬結果，及出射情形，同時藉由驗證光場傳播程式的驗證來加強模擬的可信度。

#### 3.4.1 光場傳播的驗證

光場傳播程式的撰寫是繞射元件的根本，所選用的光場傳播公式已在(2.2.3)節敘述過所以不在敘述，在這裡就驗證程式撰寫的正確性。證明自己所寫的程式對不對是一個重要的課題，由於繞射的基本假設是惠更斯次波元原理，所以就以光場重建來做驗證。

首先利用LD光場公式求入射到P1面(假想面)之振幅、相位，再利用P1面之振幅、相位在P2面做光場重建，看P2面後之光場分布為何？其圖示如圖3.5。

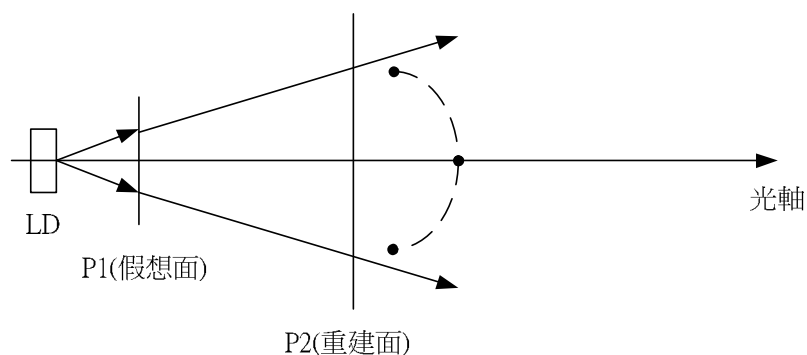
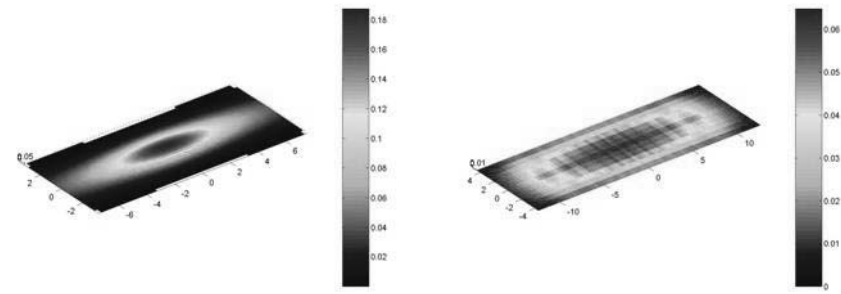


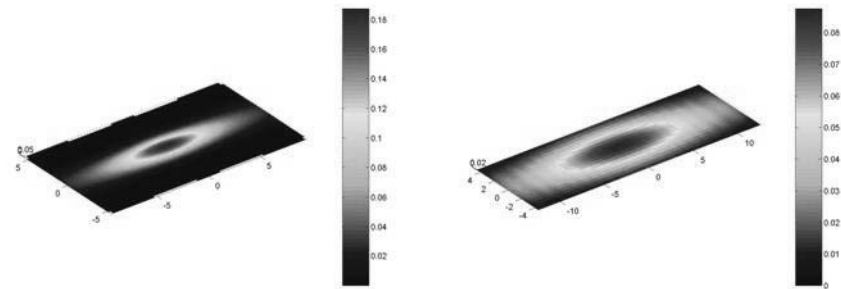
圖 3.5 P1 做光場重建圖示

LD光場入射至P1，以下皆是利用P1面之振幅相位做光場重建將P1面視為假想面，看此假想面後之光場分布為何??

圖3.6是重建結果。



P1假想面，距LD10um 距P1 10um重建



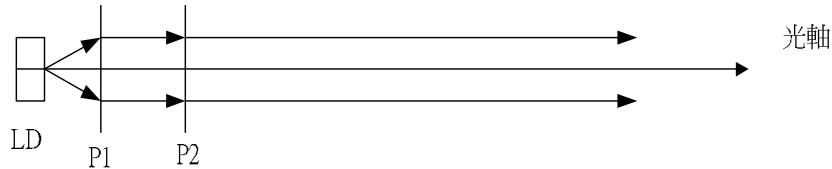
P1假想面，距LD10um (加大面積) 距P1 10um重建

圖3.6 P2面後重建結果

由圖 3.6 可知其光場分佈符合惠更斯原理，所以光場傳播程式是可信的，其光場重建波紋狀是因為假想面取樣資訊的關係，越完整的假想面資訊，重建面會更好。

### 3.4.2 無繞射光束模擬結果

#### 3.4.2.1 模擬參數說明及圖示



LD光場參數：勞倫茲-高斯模態參數 $P= 4.2897$ 、 $Q=0.15834$ 。LD至P1距離：1.586mm。P1大小： $x=1.700\text{mm}$ 、 $y=0.455\text{mm}$ 。P1至P2距離：2.5cm。P2大小： $x=1.09\text{mm}$ 、 $y=1.09\text{mm}$ ，其取樣面積符合取樣定理，第0階Bessel ( $J_0(\alpha\rho)$ )： $\alpha = 0.004466$ 。

效率評斷：SSE(均方根誤差值) = 
$$\frac{\sum_{k=1}^N (|U_{(k)}|^2 - A_{(k)}^2)}{\sum_{k=1}^N A_{(k)}^2}$$
，U:計算振幅、A:目標振幅；PER=輸出面訊號區能量/輸入面能量。

P1至P2未分階時：SSE=0.0855、PER=0.93377。

分八階後：SSE= 0.13121、PER= 0.89115(分階概念在4.2節)。

貝索主瓣整型結果：

LD 在P1之振幅分佈圖3.7、相位分佈圖3.8及演算目標振幅如圖3.9分佈。

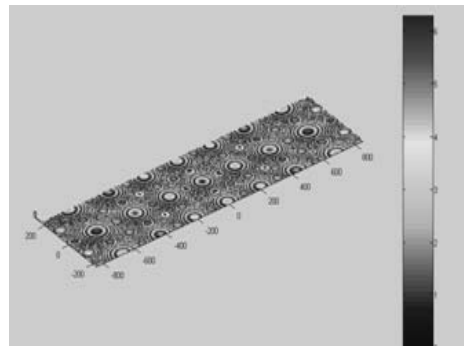
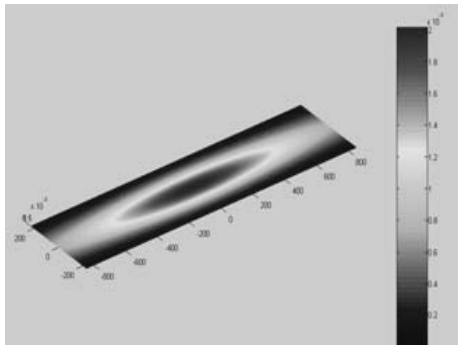


圖 3.7 LD 在輸入面的振幅分佈

圖 3.8 LD 在輸入面之相位分佈

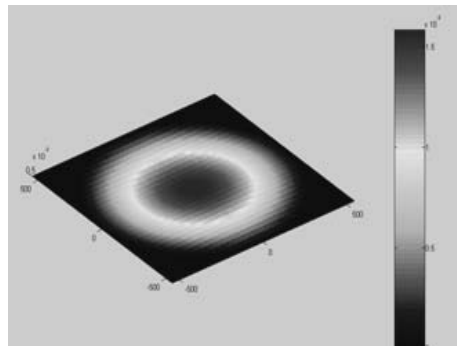


圖3.9 目標面振幅分佈

P1輸出面計算結果振幅分佈圖示，分八階前圖3.10、分八階後圖3.11。

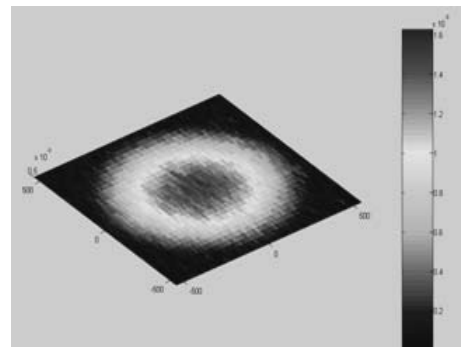
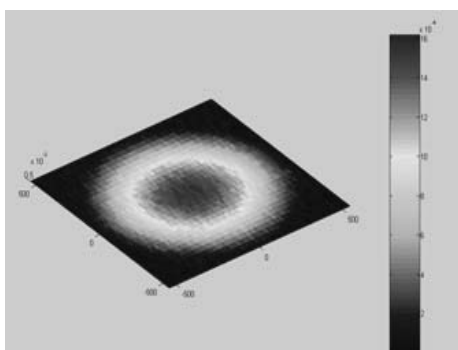


圖 3.10 目標面優化結果(未分階)

圖 3.11 目標面優化結果(分八階)

經第二片元件(P2)調制後圖示，圖 3.12、圖 3.13、圖 3.14

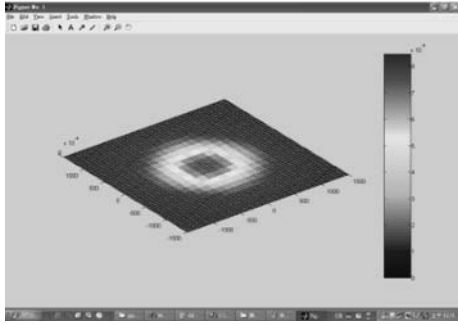


圖 3.12 P2 後一公尺之光場重建  
(分8階後)，光場大小為3mm

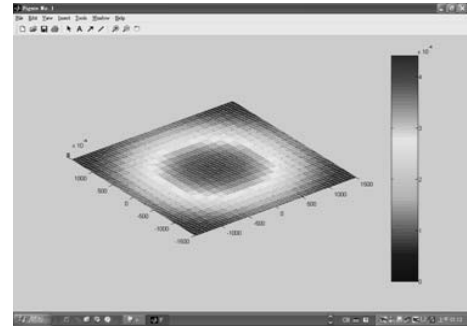


圖 3.13 P2 後二公尺之光場重建  
(分8階後)第二片至 $z=2$ 公尺，光場  
大小為3mm

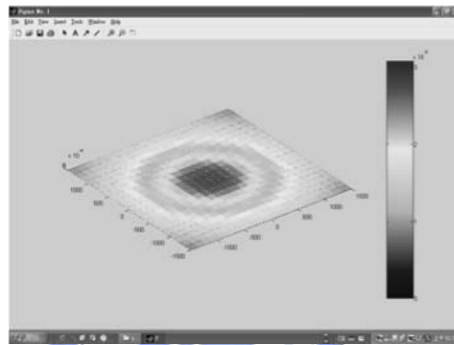


圖 3.14 P2 後三公尺之光場重建，  
(分8階後之元件)  $z=3$ 公尺

### 3.5 誤差分析結果

誤差分析是製程前一個相當重要的步驟，容忍誤差太嚴格的元件雖然在實驗上有它的價值，但在商用上的封裝卻會因為超過儀器容忍度，良率不夠而無法被接受。以下是此二維繞射元件的誤差分析。這裡所做的誤差分析是以第一片元件訊號區能量與元件上的出射能量比值對誤差量做圖，其元件與聚焦面的相對位置是固定的，不對第二片再做誤差分析，因為其誤差概念是同理可推的。所做的誤差分析符合



繞射元件的特性，對於折射率改變的容忍誤差是很大的，但對於相對位置的對準容忍誤差是很小的，且由於雷射二極體光源對於環境會有發散角及波長的飄移，在這裡也做了誤差分析。

表3.1 是發散角誤差與能量的關係，在此的能量比值是考慮相同大小的入射平面，與相同的出射平面，所以入射能量是不一樣大的，但能量比值仍是有意義的，如表3.1所示發散角對能量的改變不大。

標準發散半角(8,28)	0.89
最小發散半角(6,25)	0.8915
最大發散半角(10,32)	0.88401

表3.1 發散角對能量的誤差

圖3.15 是折射率量測誤差對於能量的影響。可以看出折射率量測誤差在0.2之內還有60%以上的能量。

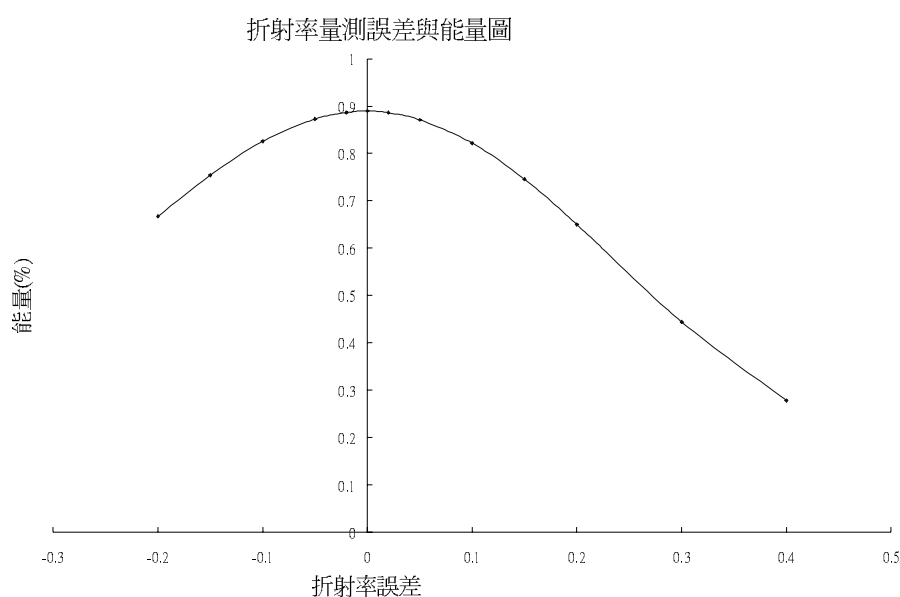


圖3.15 折射率量測誤差對於能量的影響

圖3.16 是雷射二極體相對於元件在平行光軸的誤差分析圖，其誤差模擬結果如圖3.17。光源與元件位移誤差不超過0.2mm以上時還有50%的能量。

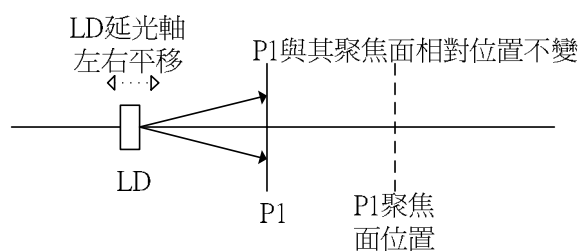


圖3.16 LD延光軸移動之誤差模擬圖示

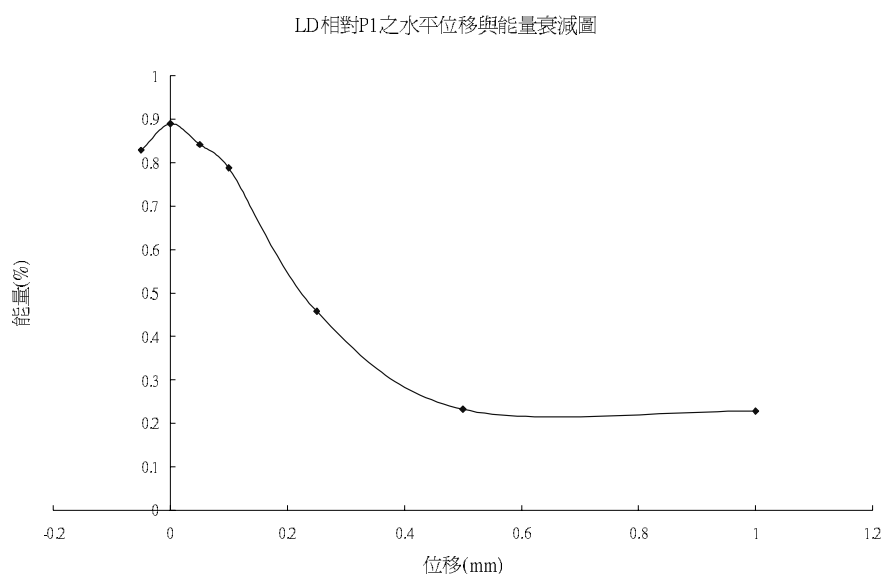


圖3.17 雷射二極體相對於元件在平行光軸的誤差分析

圖3.19為元件在偏離光軸的誤差分析，微米( $\mu\text{m}$ )為單位，以圖上標號( $10\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$ )為例，代表元件向x軸位移 $10\mu\text{m}$ 、向y軸位移 $10\mu\text{m}$ 。其誤差模擬圖示如圖3.18。由圖3.19可知在x與y軸各不偏離 $20\mu\text{m}$ 以上，還有50%以上的能量。

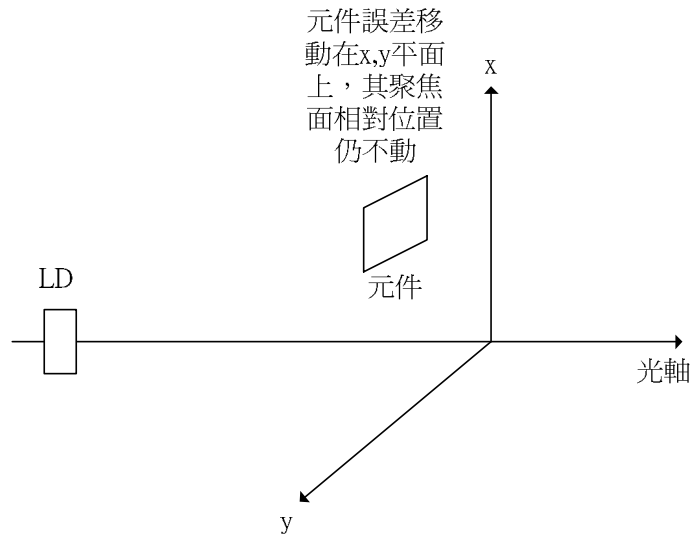


圖 3.18 偏離光軸的誤差分析模擬圖示

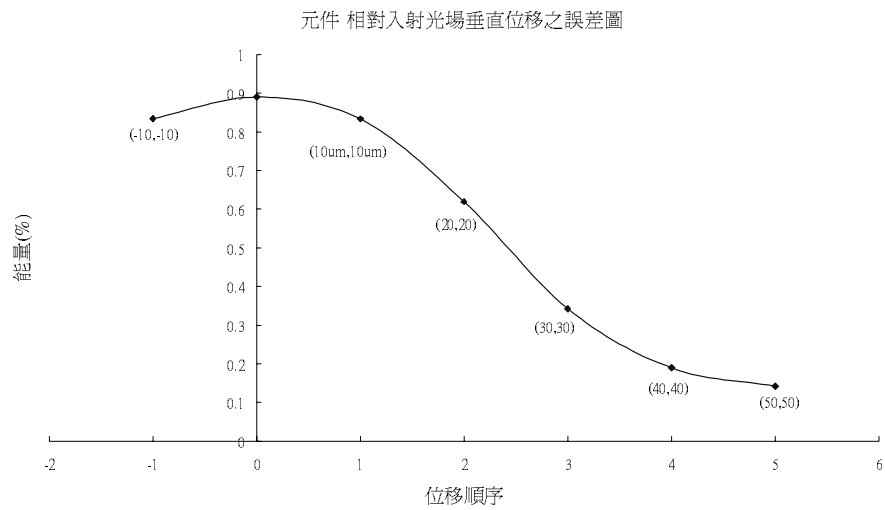


圖3.19 元件在偏離光軸的誤差分析

對於考慮各種參數的誤差分析列於下表3.2。

誤差參數		能量
元件往x方向位移	10 $\mu$ m	63%
元件往y方向位移	10 $\mu$ m	
光源與元件水平誤差	0.1mm	
第1道蝕刻誤差	5%	
第2道蝕刻誤差	-5%	
第3道蝕刻誤差	5%	
折射率量測誤差	0.1	
元件往x方向位移	10 $\mu$ m	56%
元件往y方向位移	-10 $\mu$ m	
光源與元件水平誤差	-0.1mm	
第1道蝕刻誤差	10%	
第2道蝕刻誤差	-5%	
第3道蝕刻誤差	6%	
折射率量測誤差	0.05	

表3.2 各種參數的誤差分析

### 3.6 以楊氏雙狹縫來說明雷射二極體空間同調度不佳

利用楊氏雙狹縫討論有限發光體的可相干光源極限寬度公式及概念，來探討 LD 光源的有限共振腔端面出光所發出之擴散光源在雙狹縫實驗中可相干限度的數量級。

圖 3.20 為楊氏雙狹縫實驗的示意圖，b 為有限面積發光體光源的， $S_1$ 、 $S_2$  視為可干涉狹縫的極限位置，超過  $S_1$ 、 $S_2$  的狹縫就是為不可干涉。 $\Delta \theta$  為狹縫距光源距離所張的角度。其極限狹縫寬度公式為式(3.6. 1)，帶入雷射二極體共振腔端面的發光面積，其大約維度如圖 3.21 所示[9]，長為 10  $\mu$  m、寬為 0.3  $\mu$  m。假設 R 取 1.5mm,波長取 0.65  $\mu$  m，帶入計算得  $d=3.25$ mm 及

97.5  $\mu\text{m}$  由此可看出狹縫的可干涉面積受限情形是嚴苛的，LD 的空間同調度也是不好的。

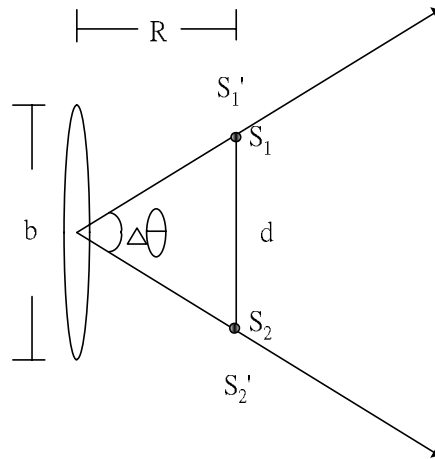


圖 3.20 楊氏雙狹縫實驗示意圖

狹縫極限寬度公式：
$$d = \frac{R\lambda}{b} \tag{3.6.1}$$

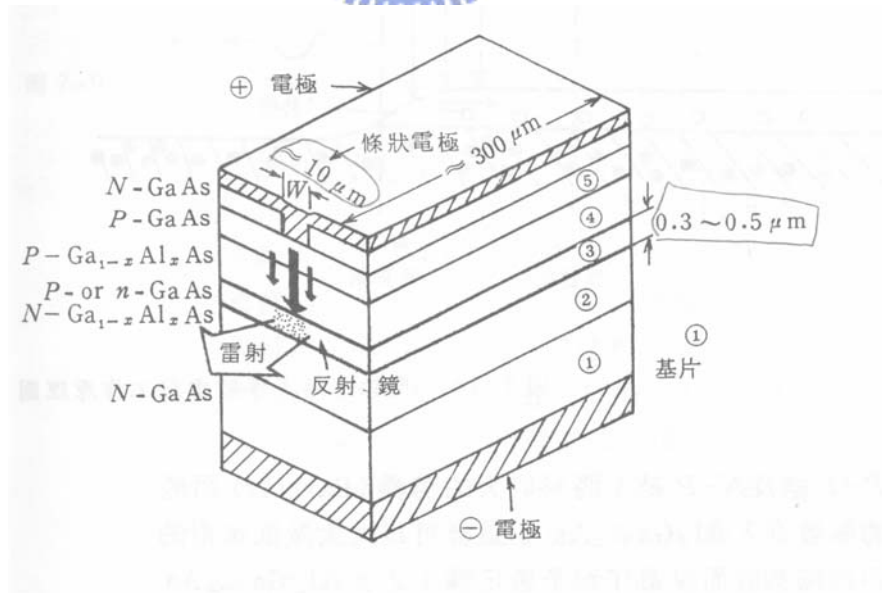


圖 3.21 雷射二極體維度示意圖

## 第四章 繞射元件的製作及元件蝕刻品質量測

### 4.1 引言

繞射元件製作的工藝是一項繁複的過程，伴隨著二進位光學理論的完備與半導體製程的發展、技術的累積使得繞射微元件的製作成爲可能。

二進位光學告訴我們，由演算法計算出來的連續相位面可藉由連續多道光罩對準程序製造分階量化（quantization）的相位來逼近連續相位解。

元件蝕刻品質量測是利用 Wyko 干涉儀做表面量測，及掃描式探針顯微鏡(SPM)中的原子力顯微鏡(AFM)做深度量測。

### 4.2 製程步驟及相位分階量化



相位分階是一個逼近連續相位的方法，爲配合半導體製程，所以其分階階數都是二的次方，例如一道光罩（mask）就是二階（ $2^1$ ），二道光罩對準就是四階（ $2^2$ ），三道光罩就是八階（ $2^3$ ）……依此類推，當然分的階數越多，就越逼近連續相位的解，其八階以上就會有 90%以上的效率，在此就以八階爲例，了解八階後其餘同理可推。

半導體製程蝕刻分階情形：一道光罩可以產生兩個不同深度，也就是兩階，兩道光罩可以產生四個不同深度，也就是四階……依此類推，圖 4.1 描述一些蝕刻順序與光罩的關係，圖形是蝕刻後的結果，數字是所用到的光罩順序。

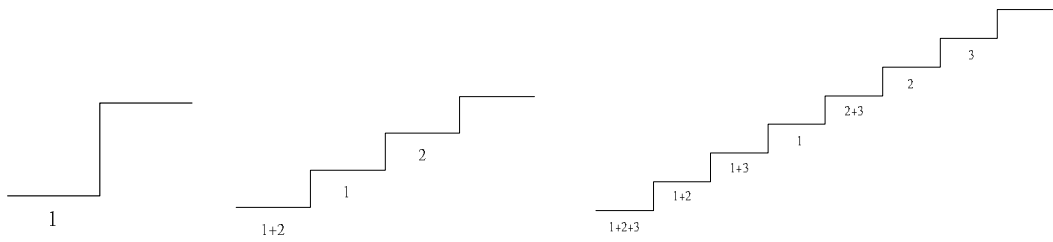


圖 4.1 光罩使用順序與蝕刻完圖形之關係。

接著以八階為例，圖 4.2 描述利用三片光罩，製造八階元件的步驟。

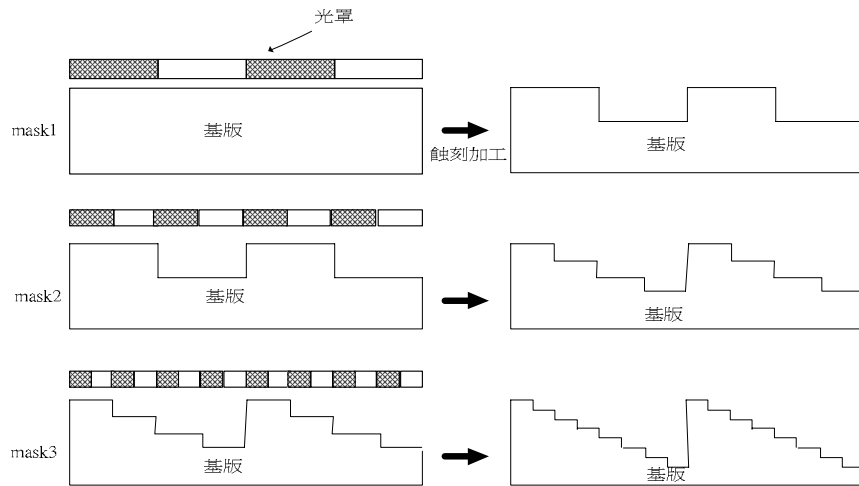


圖 4.2 八階元件蝕刻流程。

第一道光罩蝕刻深度：4。

第二道光罩蝕刻深度：2。

第三道光罩蝕刻深度：1。

如此就可蝕刻出七個相同深度也就是八階的元件。

接著敘述相位分階量化的過程，再利用相位轉蝕刻深度公式  $\phi = k(n-1)d$

( $\phi$  相位， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  波常數， $n$  材料折射率， $d$  蝕刻深度)。計算出半導體蝕

刻深度(d)後，再利用光罩彼此間的對準，蝕刻出  $2^N$  階繞射元件。

相位分階量化：以八階為例，圖 4.3 是示意圖，實點與空點是數學上的包含與不包含符號，橫軸，縱軸各分爲  $\frac{1}{8}, \frac{2}{8} \dots \frac{8}{8}$ （因爲是分  $2^3$  階，如果是  $2^4$  階，就是  $\frac{1}{16}, \frac{2}{16} \dots \frac{16}{16}$ ），相位是  $(\frac{1}{16}, \frac{3}{16})$  分到  $\frac{1}{8}$ ， $(\frac{3}{16}, \frac{5}{16})$  分到  $\frac{2}{8} \dots$ ， $\frac{15}{16}$  之後應該是  $\frac{8}{8}$ ，不過  $2\pi$  相位等於 0，所以降回來 0。所以分階完的相位是  $\frac{1}{8} \times 2\pi, \frac{2}{8} \times 2\pi \dots \frac{7}{8} \times 2\pi$ 。

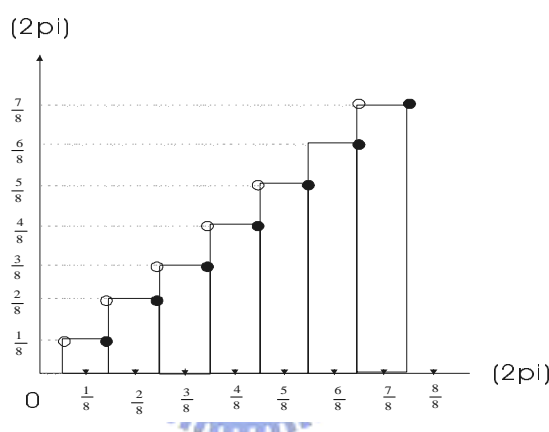


圖 4.3 連續相位八階量化示意圖

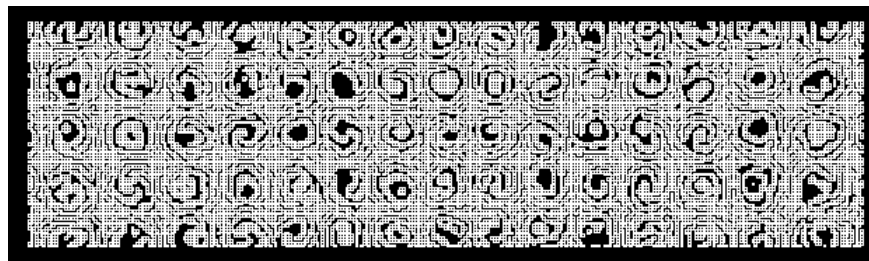
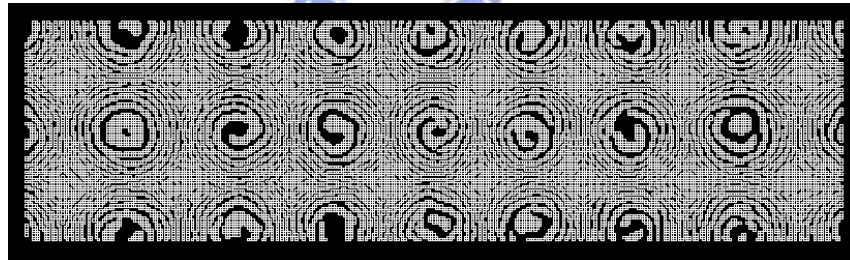
蝕刻深度計算：根據  $\phi = k(n-1)d$  計算蝕刻深度，且八階元件蝕刻深度依次爲 1，2，4 所以相位值是  $\frac{1}{8} \times 2\pi, \frac{2}{8} \times 2\pi, \frac{4}{8} \times 2\pi$ ，所以光罩之蝕刻深度依序爲  $d_1 = \frac{\lambda}{8(n-1)}, d_2 = \frac{2\lambda}{8(n-1)}, d_3 = \frac{4\lambda}{8(n-1)}$ ，帶入 L D 波長  $0.65 \mu\text{m}$ ，P C 折射率 1.572439 所以依序爲  $d_1=0.567 \mu\text{m}$ ， $d_2=0.283 \mu\text{m}$ ， $d_3=0.141 \mu\text{m}$ ，所以最深蝕刻深度= $0.991 \mu\text{m}$ 。

計算出蝕刻深度後，繪制光罩圖檔，送至交通大學 N D L 製作光罩，再利用交大半導體中心蝕刻機台 poly\_RIE 蝕刻繞射相位元件。



### 4.3 光罩繪製及對準鍵設計技巧

光罩(mask)是半導體中決定成敗的重要物件，在光罩上繪制的的圖形會完整的重現在蝕刻完後之基板上，在繞射元件的製作中須對準數道光罩以完成元件之製作，每一光罩之對準是依靠對準鍵的設計，所以對準鍵的概念很重要。由於交大N D L所收的光罩圖檔副檔名是 .gds 和 .dwg 檔，所以可利用 autocad 套裝軟體，繪製光罩，由於繞射元件非單純的形狀，無法直接繪製，幸好 autocad 提供一個可執行的腳本檔案(.src 檔)，利用 fortran90 撰寫一轉換格式程式，將光罩透光位置座標轉換為腳本檔案可讀之格式。圖 4.4 和 4.5 為 autocad 執行腳本所繪之光罩圖檔，第一片繞射元件是由小方格所組成的形狀，第二片繞射元件是由小長方形所組成的形狀。



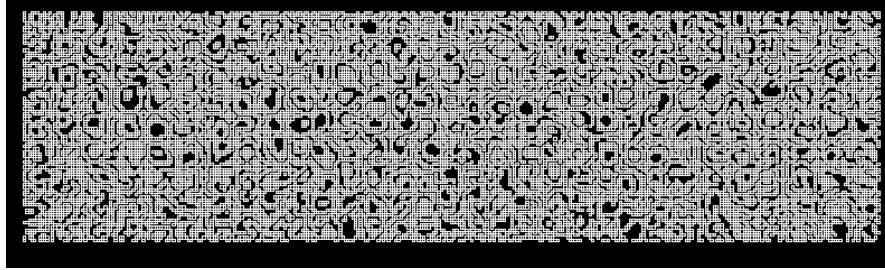
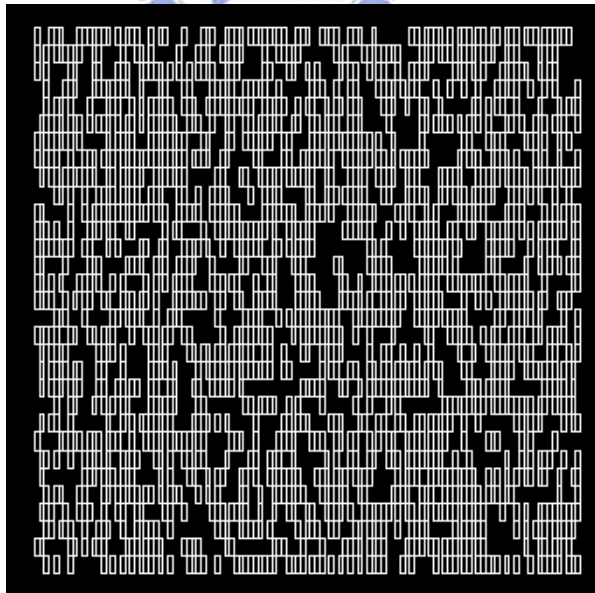
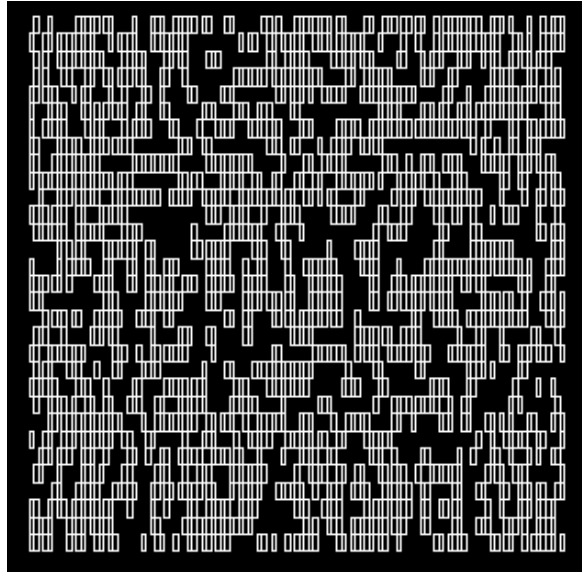


圖 4.4 第一片繞射元件之圖檔，由上而下依序為第一道，第二道，第三道



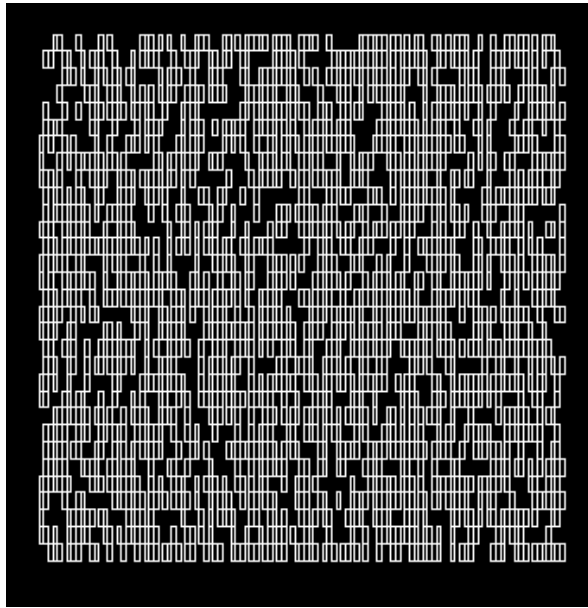


圖 4.5 第二片繞射元件之圖檔，由上而下依序為第一道，第二道，第三道。

在對準鍵的設計上，最常用的就是十字型的對準鍵，而對準包含了位置及旋轉的對準，其中對準鍵的大小也非常重要，就我所使用曝光機之顯微鏡倍數，長度 60 到  $100\ \mu\text{m}$  差不多，圖 4.6 以  $100\ \mu\text{m}$  為例之十字型對準鍵。

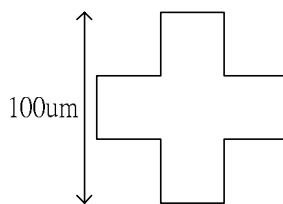


圖 4.6 十字型對準鍵 邊長  $100\ \mu\text{m}$ 。

在位置上之對準設計可以用後一道邊長為大一點之對準鍵去對準前一道小一點之對準鍵。對於水平方向的對準只要將兩組對準鍵畫在相距較遠的兩端，而兩組對準鍵都對準的話水平就沒問題了。對準鍵的畫法是成敗關鍵，上面所描述的是光罩以透光及正光阻的畫法。若製程漸趨複雜，光

罩透光區和不透光區間的製程相互搭配，對準鍵也必須做相應的考慮與變化，否則將會前功盡棄。

#### 4.4 半導體製作流程

半導體工藝是一個日新月異的產業，有太多東西在更新變換。其中機台特性，缺點，及試參數是一個考驗耐性及體力的過程，只聽人家描述或看流程圖，絕不可能體會其中的要點所在。機台參數取決於你的元件形狀、所用光阻特性、及蝕刻機台、或膜之性質，所以做製程要努力和持續，且對於製程有感覺後可自己判斷哪一個階段須注意、哪一個階段可較粗糙、哪一種製程易成功或失敗。圖 4.7 仍將流程描述以茲參考。

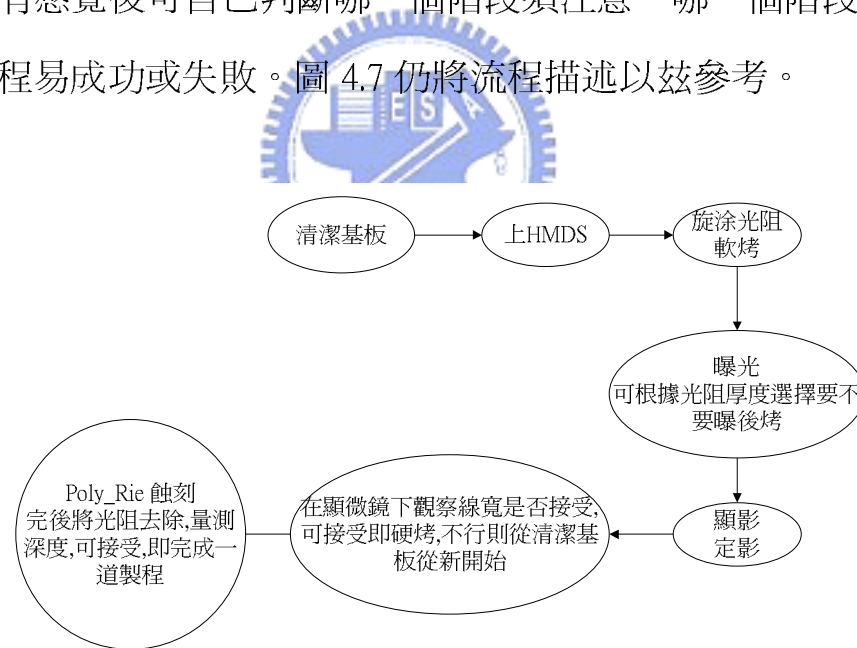


圖 4.7 製程流程圖

以下描述一些製程過程及意義,但仍視製程環境不同而有小變。

清潔基板：主要是 R C A cleaning，及用超音波震盪器以丙酮當溶劑清洗光阻。

上 HMDS(光阻附著膜,Hexamethyl disialzane)：增加光阻之附著能力。

旋塗光阻：以光阻塗佈機設定轉速，控制光阻塗佈厚度。光阻有正光阻及負光阻兩種，正光阻是曝到光的會被顯影去除，負光阻是曝到光的顯影後會留下。

軟烤：趕走部份溶劑，增加光阻附著力。

曝光：曝光機須注意使用波長與光阻的匹配性。

顯影、定影：顯影是去除曝光後的光阻用，定影是將顯影完後的顯影液去除，免得繼續影響光阻。

顯微鏡下觀察：看線寬及形狀是否接受。

硬烤：將光阻烤的更硬，減少蝕刻速率。

Poly\_Rie 機台：蝕刻機台，其對於光阻及光阻底下之基板蝕刻速率不同（即選擇比），需測試多次才能抓到較好參數。



#### 4.5 元件表面量測

我是以矽晶片當基板蝕刻完後，再電鑄，模壓到 P C（高分子材料）板上。所以是量測矽晶片蝕刻完後之品質。

Wyko 干涉儀表面量測：圖 4.8 和圖 4.9 分別是第一片和第二片的量測結果。Wyko 表面量測結果顯示八階都有出來，對準誤差也很小，在此干涉儀的解析度下，看不出對準誤差。

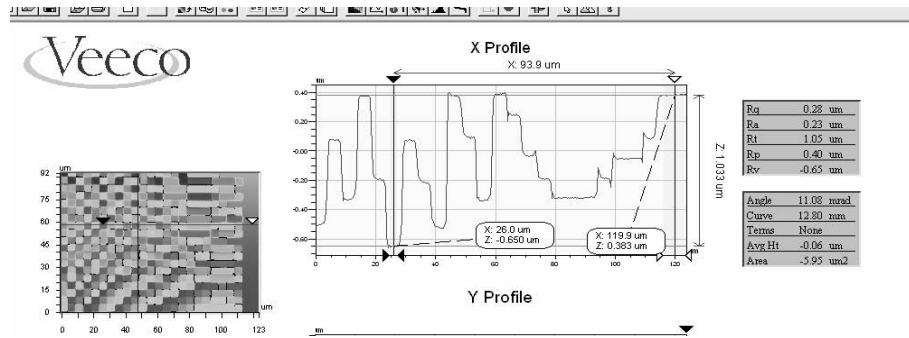


圖 4.8 第一片繞射元件 Wyko 表面量測圖。

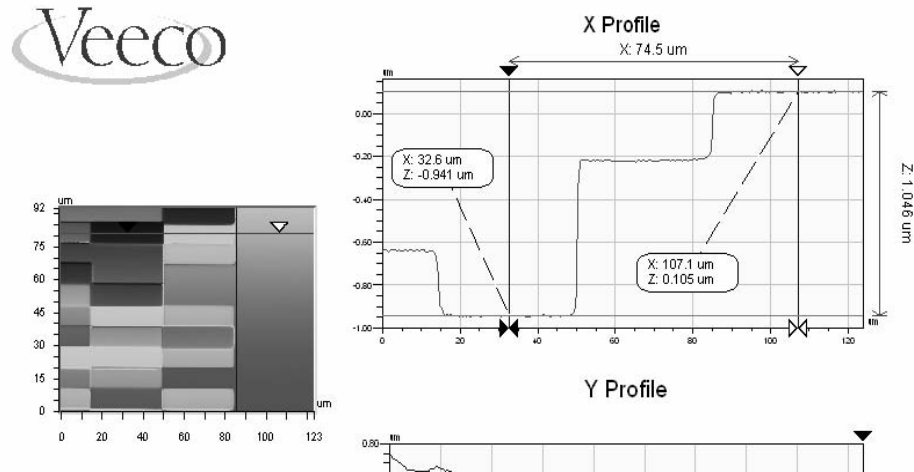


圖 4.9 第二片繞射元件 Wyko 表面量測圖。

AFM 深度量測：圖 4.10 是 AFM 深度量測圖，理想最深蝕刻深度是  $0.991 \mu\text{m}$ ，量測深度是  $0.951 \mu\text{m}$ ， $|(量測-目標值)/目標值|=4.13\%$ ，兩者只相差  $400 \text{ \AA}$ ，算是不錯的製程。

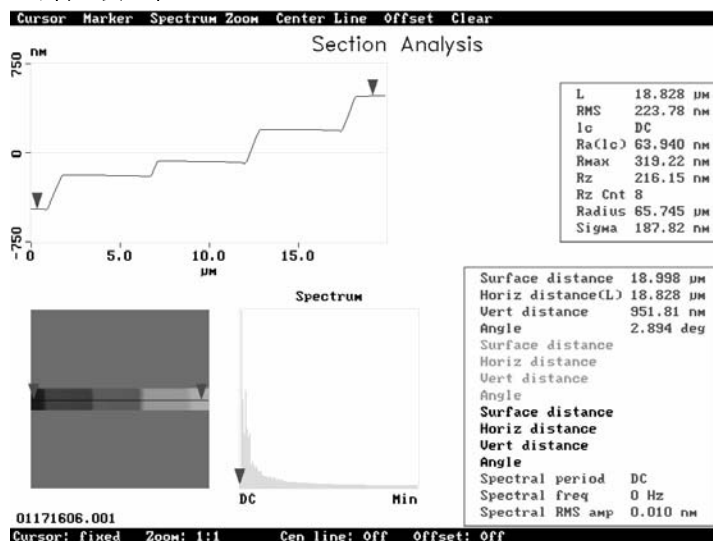


圖 4.10 第一片 繞射元件 AFM 量測圖。

## 4.6 電鑄及模壓

電鑄及模壓各分別是兩項半導體翻製成品的技術，模壓完的成品可用以電鑄；電鑄完的成品也可用以模壓。在這裡講述這兩項製程技術，是因為我是利用 650nm 可見紅光，所以最終是一 PC 高分子材料元件。但因為計算距離的關係，我是利用半導體蝕刻在矽晶片上(正結構)，再送件至工研院光電所電鑄到鎳模上(負結構)，再送至工研院化工所模壓到 PC 片(正結構)上完成最終製程。

### 4.6.1 電鑄簡介

在 LIGA 製程技術中，電鑄技術是唯一可以形成金屬結構的製程。一般而言，任何可以電鑄的金屬或合金皆可做為微結構的材料，電鑄是利用電化學原理在電解槽中完成的，其過程是相當複雜的。在這裡圖 4.11 是電鑄的氧化還原最基本的架構。

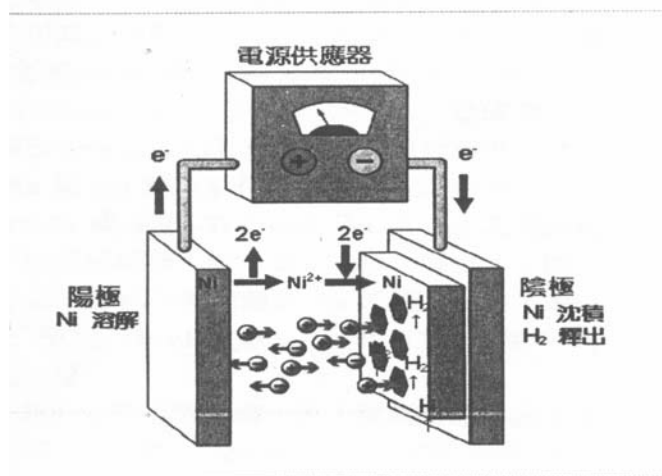


圖 4.11 電鑄系統架構與陰、陽極作用示意圖

電鍍與電鑄的基本差異在電鍍沉積層較薄( $\mu\text{m}$ )且須與基材緊密結合，鍍層為工件的一部分，而電鑄層較厚( $\mu\text{m}$ - $\text{cm}$ )且可與母模完全脫離成一獨立成品。

在應用上微結構或塑膠成型模仁之標準材料是鎳(Ni)，因鎳具有高張力強度、良好的機械性質及抗腐蝕的特性。鎳電鑄具有下列優點：①鑄層內應力低，機械性質佳；②沉積速率快；③均勻電著性。圖 4.12 是電鑄過程圖示，先將你要電鑄的半導體成品固定在陰極做為母模，提供電壓後鎳原子不斷沉積一層一層長上去，長到了你要的厚度後，再用濕蝕刻將鎳模仁與母模分離，即完成了電鑄過程。

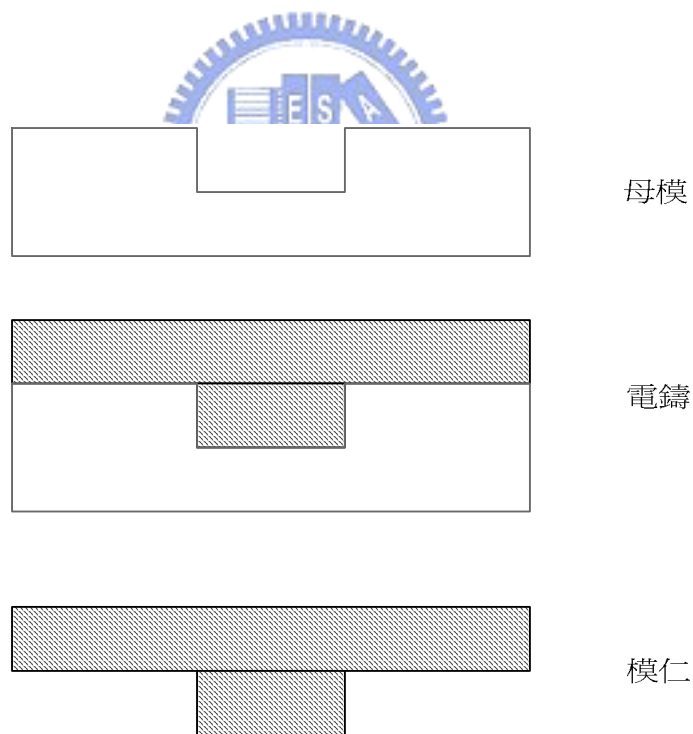


圖 4.12 電鑄過程圖示

最後為了使電鑄後的結構高度均一或表面平滑，必須對於電鑄完後的模仁，進行背拋光或研磨，以適應後續的製程。



#### 4.6.2 模壓簡介

模壓是大量複製半導體成品的一項重要技術，機台種類非常多，在這裡也只說明一下概念。先將要模壓的材質放在無氧銅上，上放置模仁，在上也是無氧銅，無氧銅經由加壓及控溫，可對於材質進行熱模壓的過程。模壓完後模仁上的結構完全複製到要壓的材質上，再使之撕離或用蝕刻脫離即有一複製成品。但要注意的是模仁與壓完後的成品結構是相反的。圖 4.13 是模壓過程。

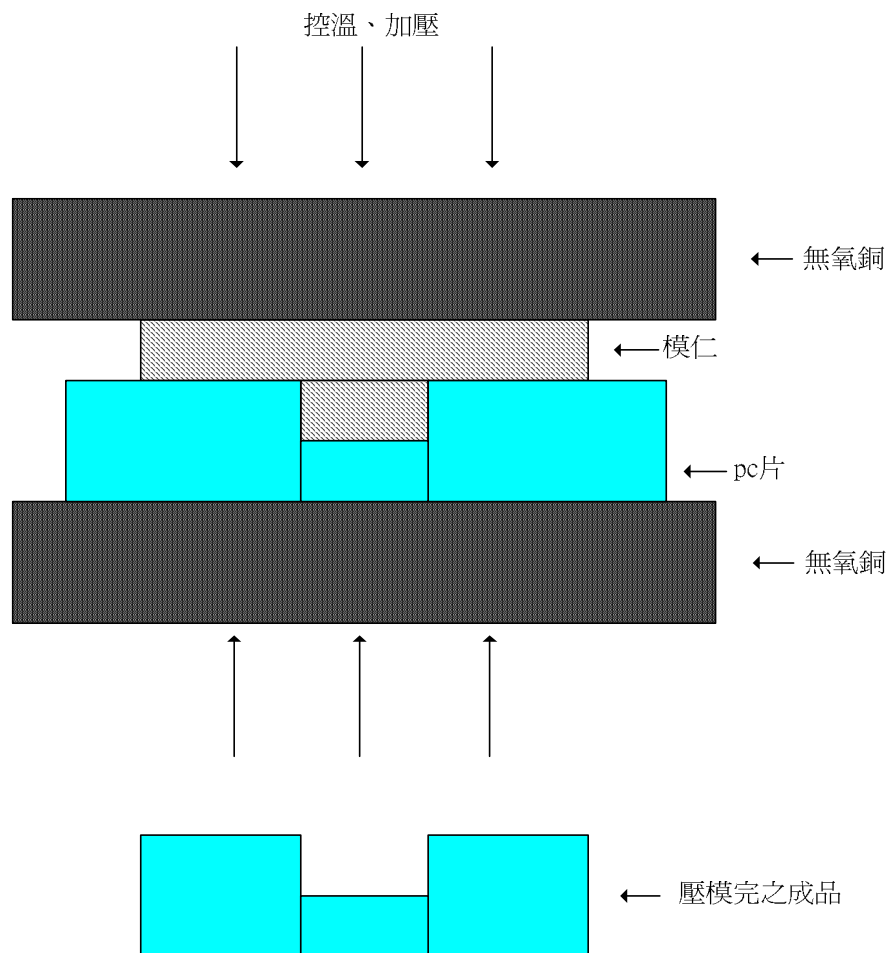


圖 4.13 模壓過程圖示

模壓的缺點是，視模壓材質的不同在經熱壓後會有不同的應力產生，

可能會有彎曲，或平行度的差異產生。所以模壓過程參數及細心是非常重要的。



## 第五章 元件與光源量測分析

### 5.1 引言

此章內容主要是量測雷射二極體晶粒在封裝時的空間架構、發散角量測、驅動雷射二極體的簡單電路製作及電鑄、模壓後的元件效果量測。

### 5.2 雷射二極體晶粒在封裝時的空間架構圖

由於繞射元件對於入射條件非常敏感，而且入射條件是單純的 LD 晶粒光場公式，所以是請華上光電股份有限公司將其 LD 封裝頂蓋去除後，再用在量測上(在此特別感謝林欣明先生的幫忙)，雖然其產品有封裝空間結構的圖示，但我仍請精密儀器中心以 SEM 量測去除頂蓋後的空間位置以資確認。圖 5.1 即為拆開雷射二極體頂蓋後的掃描式電子顯微鏡(SEM)圖。華上光電股份有限公司所附之 LD 資料在附錄一。

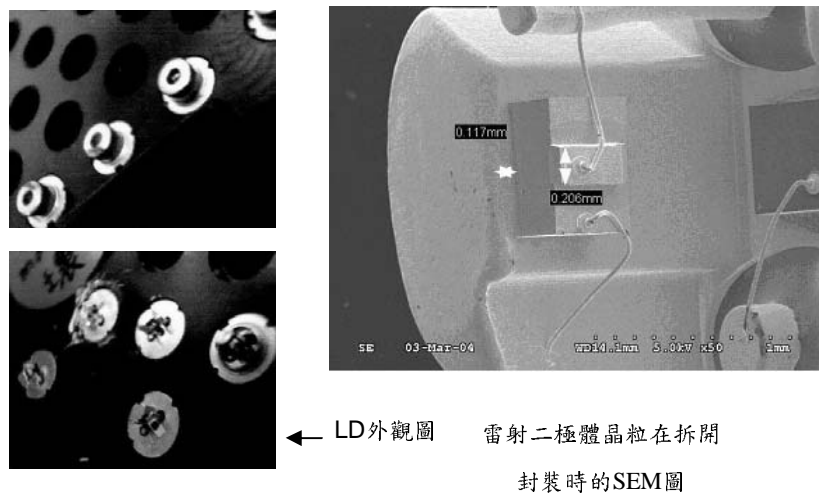


圖 5.1 雷射二極體晶粒在封裝時的空間架構圖及 LD 實體圖

### 5.3 雷射二極體發散角量測

LD 之發散角端看量測方式而有所不同，華上光電所附資料量測方式是以機器手臂延所量之軸，定距量測光強度至半高寬為發散角定義。我是利用 CCD 搭配 spiricon(卡及軟體)量測光斑橫截面至 13.53%光強位置為遠場發散角定義，如圖 5.2。

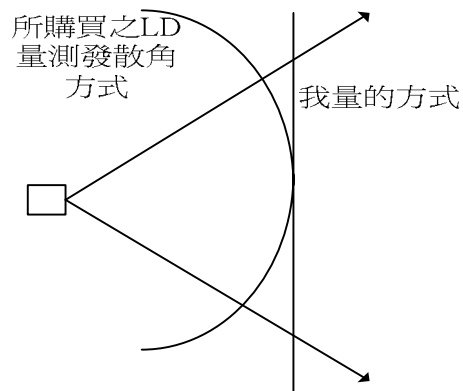


圖 5.2 量測發散角方式

圖 5.3 為發散角量測裝置圖

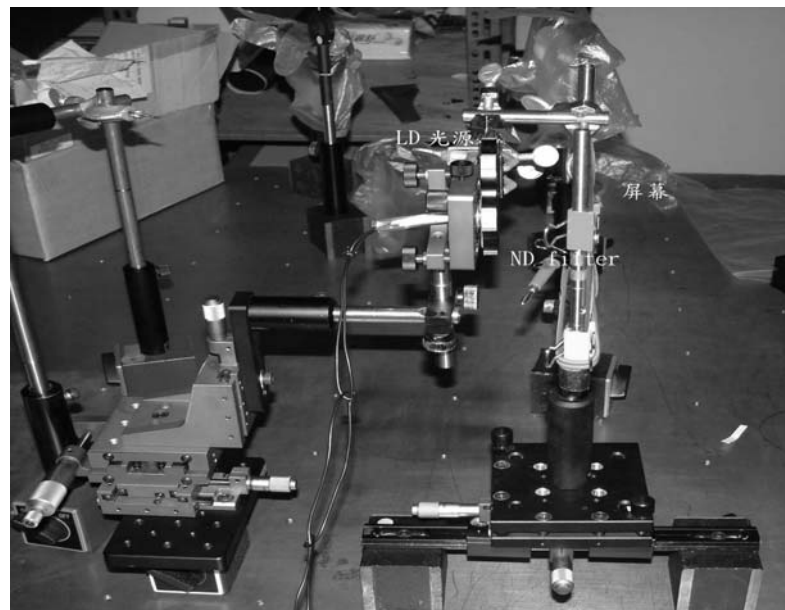


圖 5.3 發散角量測裝置

LD 出光後受 ND filter 之衰減再投影至平幕上然後以變焦透鏡加 CCD 取像分析。

量測公式為(5.3. 1)，量測參數意義如圖 5.3 所示，在這裡  $\theta$  為半角。

$$\theta = a \tan\left(\frac{W_F - W_R}{S}\right) \quad (5.3. 1)$$

$W_R$ ：在參考位置的  $1/e^2$  的全寬、 $W_F$ ：移動  $S$  距離後  $1/e^2$  的全寬

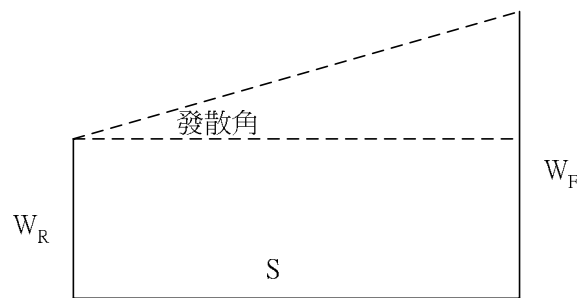


圖 5.3 發散角量測參數意義

以 Spiricon 量測之光斑圖形如圖 5.4。

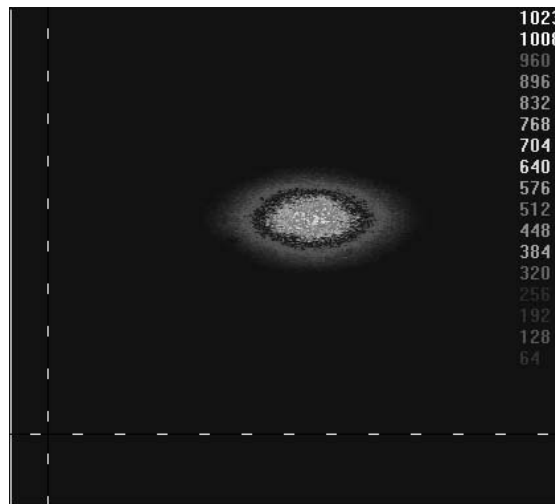


圖 5.4 LD 光斑

量測之發散角計算結果如下：

大發散角： $10.0168^\circ$ ，小發散角： $4.4161^\circ$ 。發散比：2.2682

在這裡可發覺發散角與一般 LD 之發散數值不同，除了量測方式不同以外，最大原因是因為在量測中我使用了一片 ND filter 去衰減 LD 光源導致發散結果失真。當然這在以後是可改良的，且變焦透鏡換成 macro lens 效果會更佳。

在光學量測中，量測的方便性是很重要的，鑒於半導體雷射 current driver 及 temperature control 的體積及重量不方使用於量測上使用。所以製作了一個簡單驅動電路，在這裡強調其方便性，當然其功能是不能比的。驅動電路示意圖如圖 5.5，實體如圖 5.6。

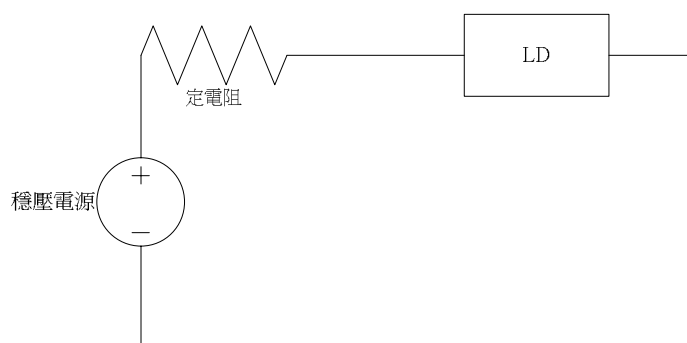


圖 5.5 LD 簡單驅動電路電路示意圖



圖 5.6 LD 簡單驅動電路電路

#### 5.4 電鑄、模壓完成之元件圖示與品質示意

電鑄是送件至工研院光電所(感謝田萬頂先生)而模壓是送至工研院化工所(感謝趙志強先生)。其品質都值得信賴。圖 5.7 是電鑄後的 Ni 模，圖 5.8 是模壓後的 PC 片。

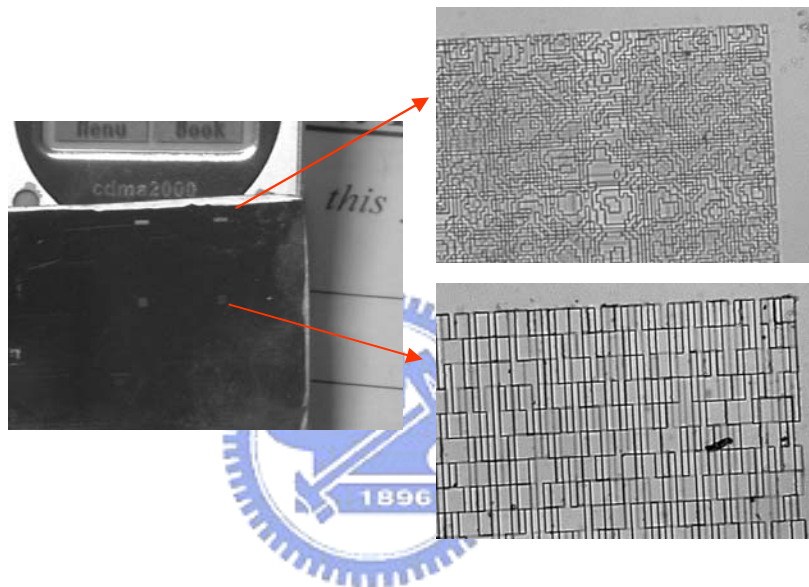


圖 5.7 電鑄後的 Ni 模

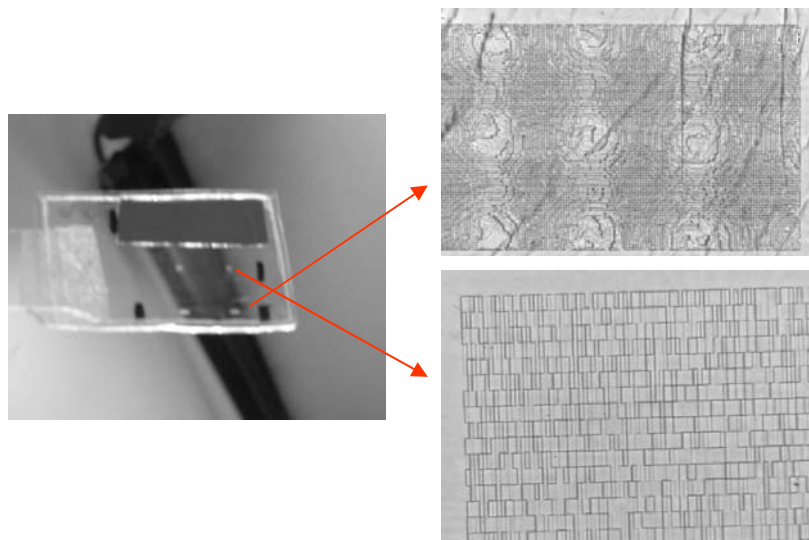


圖 5.8 壓模後的 PC 片

## 5.5 元件品質光學量測

對於入射光源需考慮相位及振幅的相位元件來說，對準是最大的致命傷，元件要百分之百的發揮，對準要求幾乎是要有畫素對畫素(pixel 對 pixel)的精確度，在雙片式互相對準下幾乎是不可能的事情，在此量測裝置是以自己架設之架構來使用，裝置圖如圖 5.9，第一片量測結果如圖 5.10，效果已不如預期了。再加上第二片量測結果如圖 5.11，其結果相當不如預期。

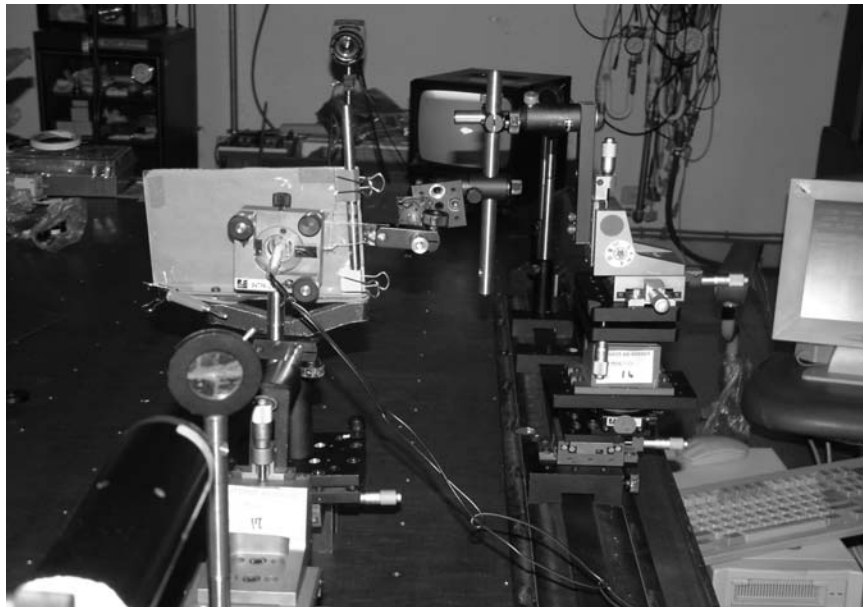


圖 5.9 量測裝置圖



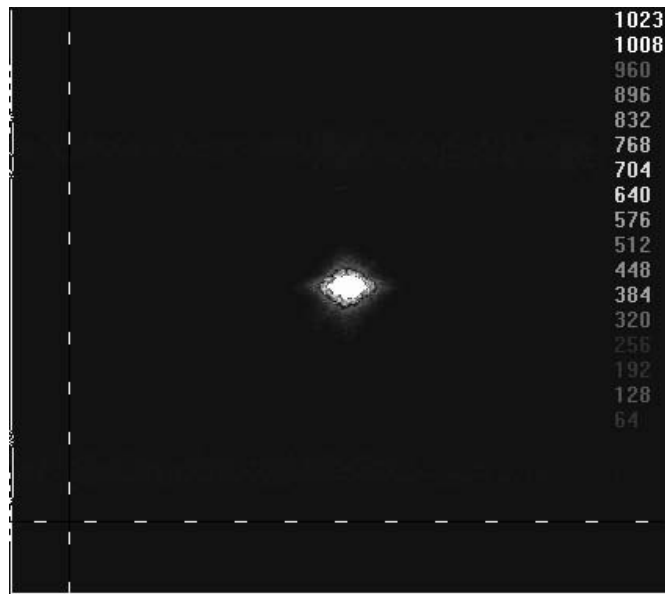


圖 5.10 第一片結果量測

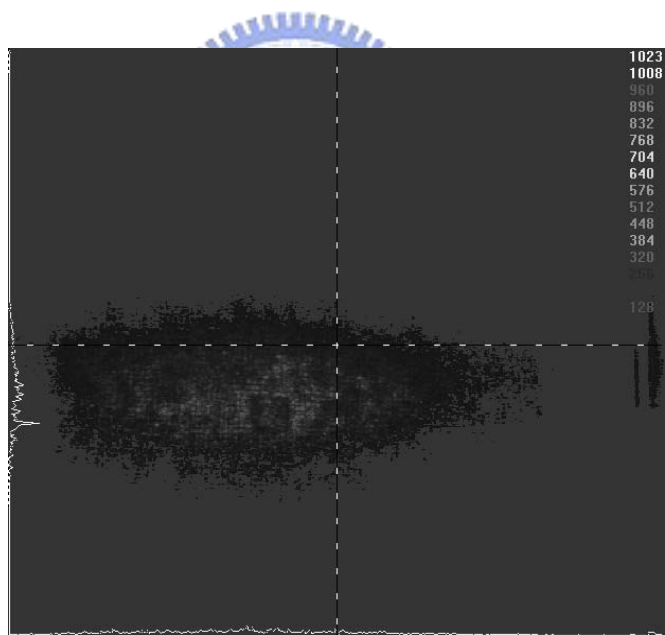


圖 5.11 加入第二片後量測結果

考慮量測時入射角度的些微誤差，也在量測第一片時對 LD 入射角做了些微的轉動，以確定其入射角度的影響。擷取了入射零度、正一度、正二度(正是往右轉)、負一度、負二度(負是往左轉)。

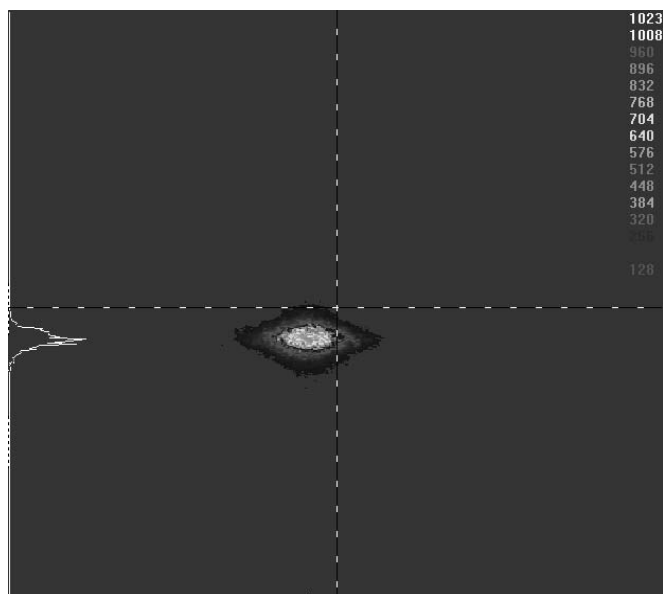


圖 5.12 零度入射

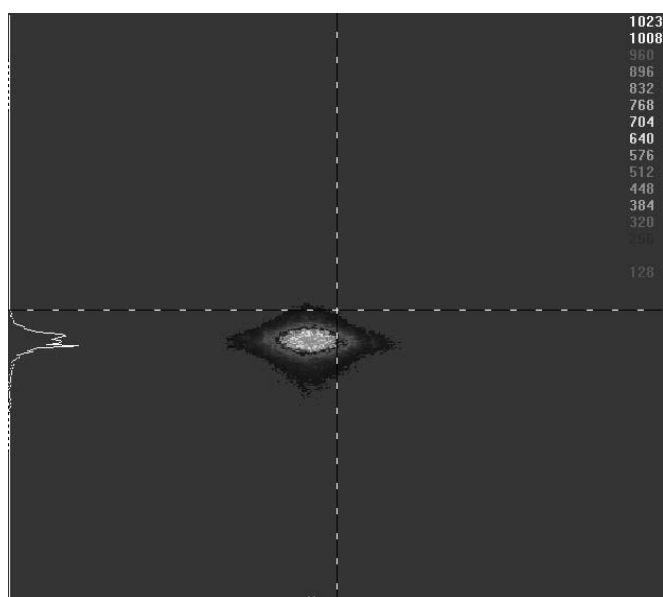


圖 5.13 正一度入射

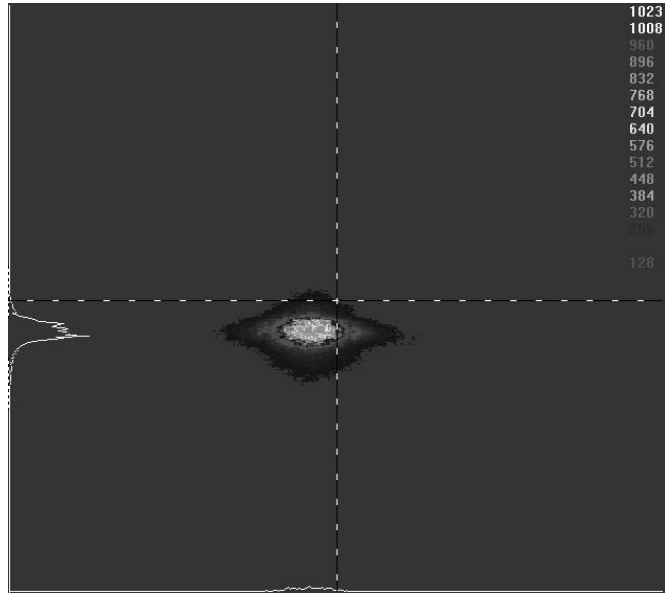


圖 5.14 正二度入射

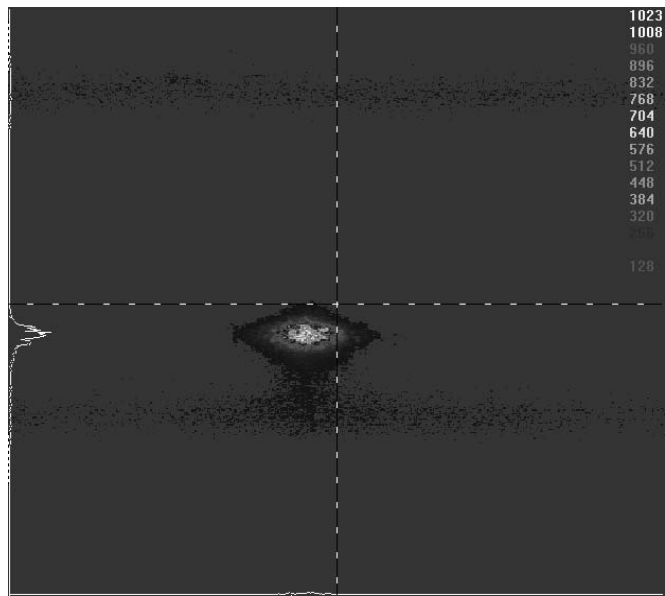


圖 5.15 負一度入射

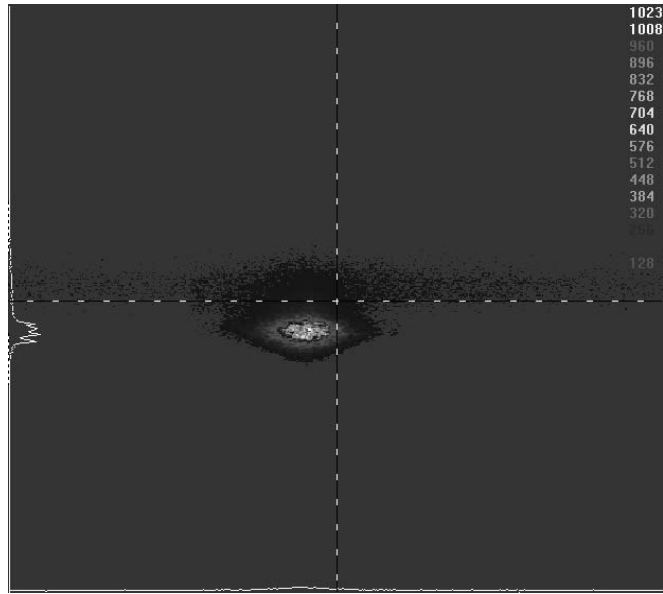


圖 5.16 負二度入射

在轉角度的量測中，由圖形可看出其實並沒多大變化，且由 spiricon 軟體計算腰寬及長軸短軸比的功能來看。如圖 5.18 是(短/長)軸比與 LD 入射角度的關係，雖然在-1 度的情形比量測時的正入射好一點，但也可歸入量測誤差光源入射角度的影響之內。

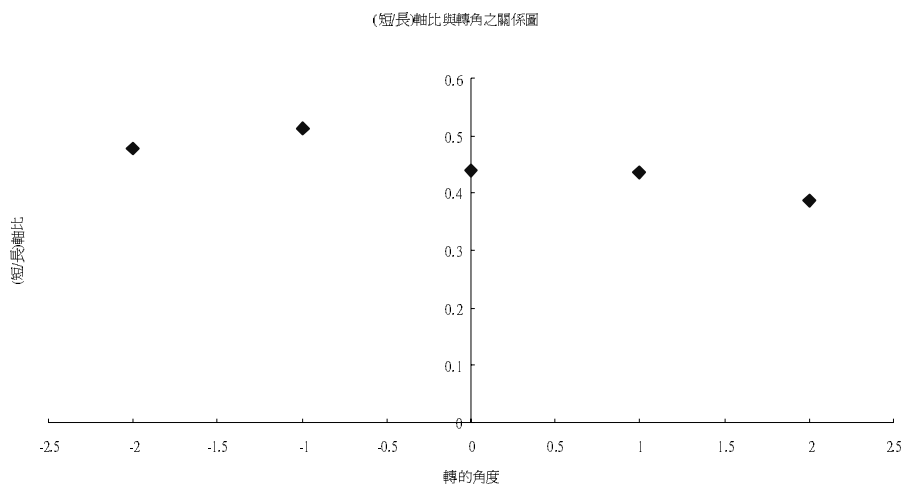


圖 5.17 (短/長)軸比與入射角度的關係

在完成了繞射元件光學量測後，感覺除了雷射二極體光源需作更深入的分析與確定其光學性質，對於繞射元件沒有原設計所出現的行為也感到疑惑，所以利用綠光氦氖雷射測試繞射元件的光學性質，其繞射圖形如圖 5.18，5.19 所示，二圖是相同條件下不同的拍照角度。

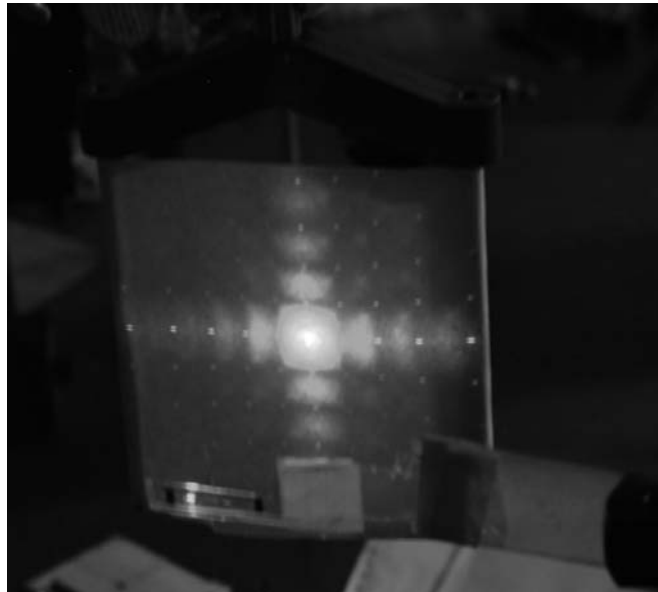


圖 5.18 綠光氦氖通過繞射元件之繞射圖~1

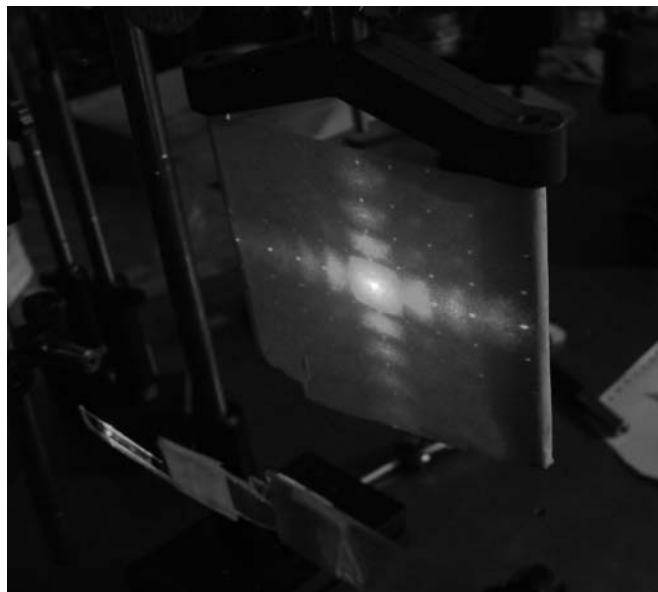


圖 5.18 綠光氦氖通過繞射元件之繞射圖~2

繞射元件的是很多個長方形取樣所構成，對照圖 5.17，5.18 所呈現的圖形，由很多個方形孔徑的繞射疊加而成，頗合理。



## 第六章 結論與展望

繞射元件是一個功能靈活的光學元件，其由程式撰寫的二維繞射計算，相信將來在各種光學相關消費性產品都有其應用地位。

二維計算最大的問題是其龐大的計算量，但視整型情況仍有各種消減計算量的想法產生。且其計算量相對於現在個人運算系統的進步，相信很快就便利的解決方案產生。



## Reference

1. Joseph W. Goodman ,” Introduction to Fourier Optics” ,second edition.
2. Guo-zhen Yang et al., “Gerchberg-Saxton and Yang-Gu algorithms for phase retrieval in a nonunitary transform system: a comparison” , Applied Optics, Vol.33, No.2,P209-218 (Jan. 1994).
3. R. SIMON,” ANISOTROPIC GAUSSIAN BEAMS ” OPTICS COMMUNICATIONS, Vol.46,No.5,6 15 JULY 1983.
4. Shojiro Nemoto,” Experimental evaluation of a new expression for the far field of a diode laser beam ” ,APPLIED OPTICS ,Vol.33,No.27 September 1994.
5. Xiaodong Zeng and Amir Naqwi, “Far-field distribution of double-heterostructure diode laser beams.” APPLIED OPTICS, Vol. 32, No. 24 , August 1993.
6. Xin Tan et al., “Diffractive phase elements for beam shaping: a new design method” , Applied Optics, Vol.34, No. 8, P1314-1320 (Mar. 1995).
7. Wen-Xiang Cong and Nan-Xian Chen, Ben-Yuan Gu, “Generation of Nondiffracting Beams by Diffractive Phase Elements” , J. Opt. Soc. Am. A, Vol.15, NO.9, P2362-2364 (Sep. 1998).
8. J. Durnin, “Exact Solutions for Nondiffracting Beams. I. The scalar Theory” , J. of Optical Society of American A, Vol.4, No.4, P651-654 (Apr. 1987).
9. 雷射工程導論(修訂第四版 丁勝懋 編著) p284



## 650nm 7mW 70 °C Open Package Ideal for DVD optical pick-up head

### • Features

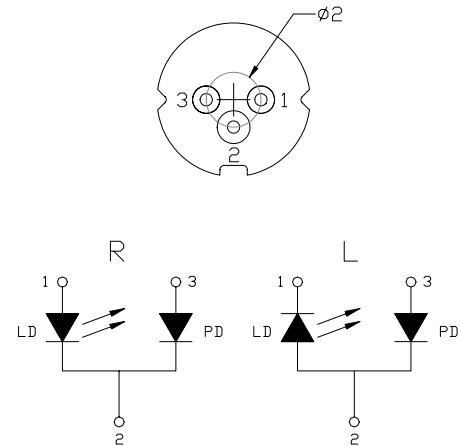
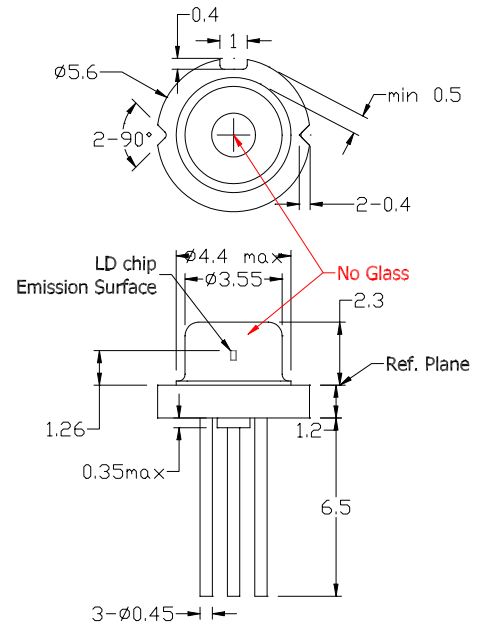
1. No window glass
2. Low operating current
3. Higher power

### • Applications

1. DVD player/ROM optical pick up
2. Combo drive optical pick up
3. Bar code scanner

### • Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Condition	Rating	Unit
Light output power	P <sub>O</sub>	CW	10	mW
Reverse voltage (LD)	V <sub>RL</sub>	-	2	V
Reverse voltage (PD)	V <sub>RD</sub>	-	30	V
Forward current (PD)	I <sub>FD</sub>	-	10	mA
Case temperature	T <sub>C</sub>	-	-10~+70	°C
Storage temperature	T <sub>S</sub>	-	-40~+85	°C

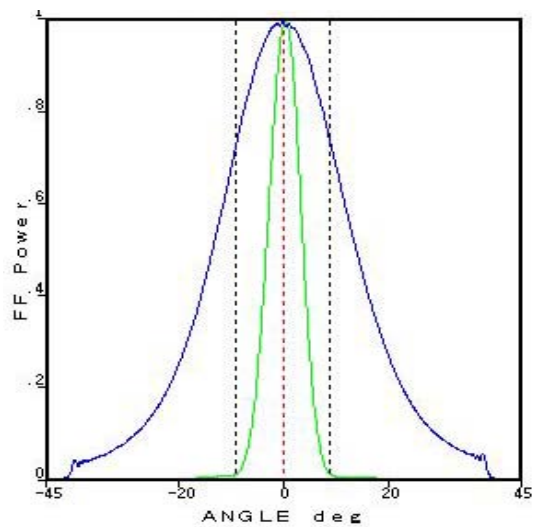
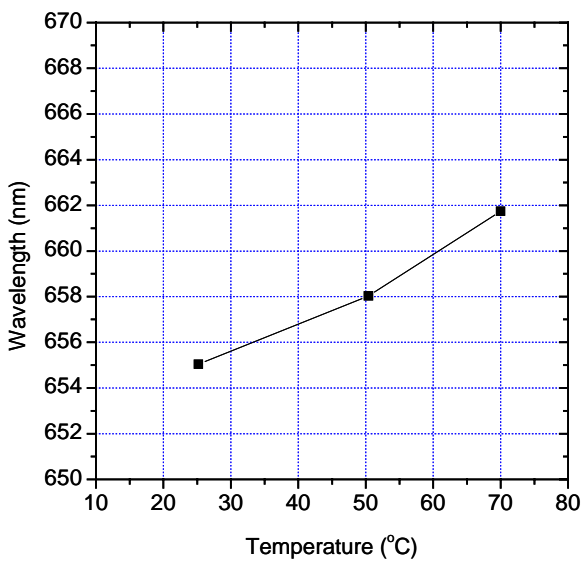
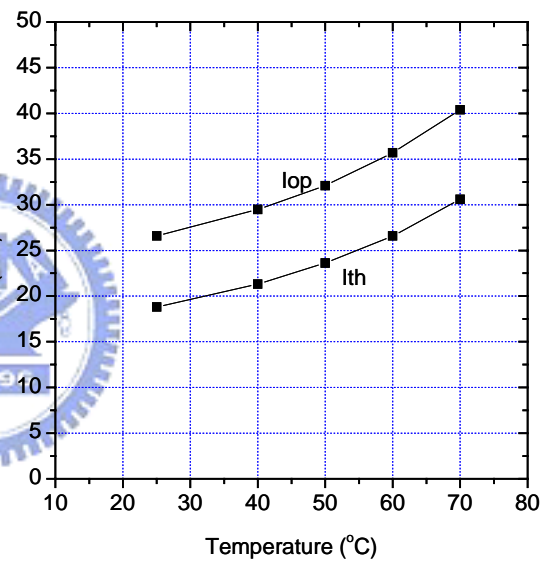
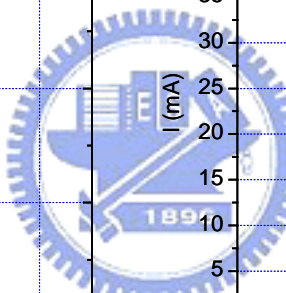
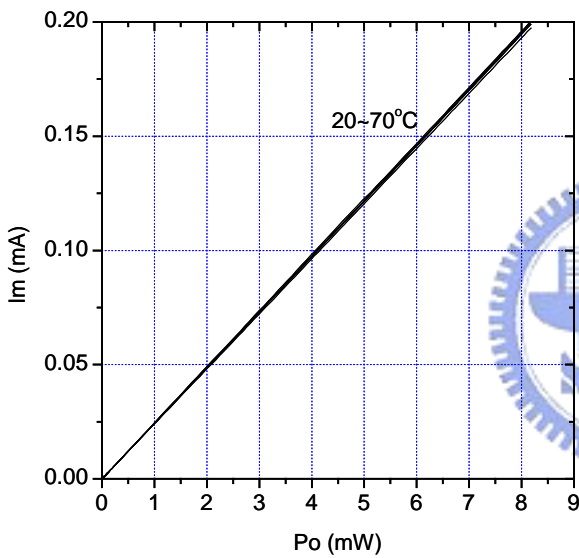
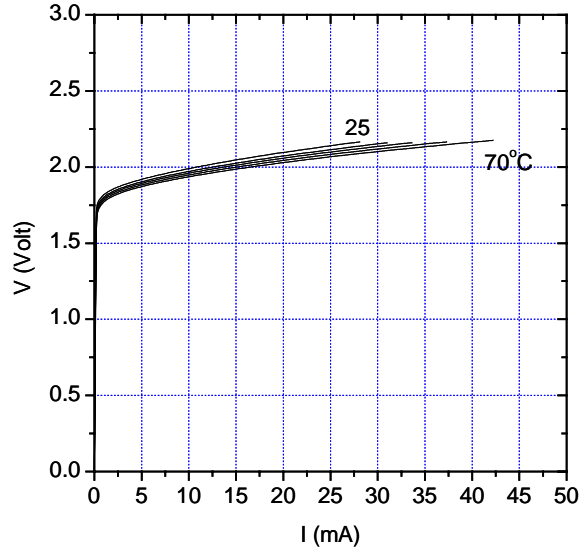
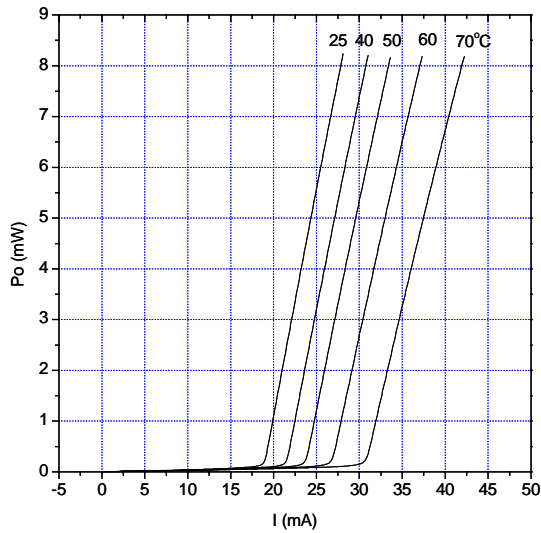


### • Electrical and optical characteristics (T<sub>c</sub>=25 °C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Peak wavelength		645	655	660	nm	P <sub>o</sub> =7mW
Threshold current	I <sub>th</sub>	-	20	25	mA	
Operating current	I <sub>op</sub>	-	25	35	mA	P <sub>o</sub> =7mW
Operating voltage	V <sub>op</sub>	-	2.2	2.5	V	P <sub>o</sub> =7mW
Differential efficiency		0.7	0.9	1.2	mW/mA	P <sub>o</sub> =3-5mW
Monitor current	I <sub>m</sub>	0.1	0.2	0.3	mA	P <sub>o</sub> =7mW, V <sub>RD</sub> =0V
Parallel divergence angle	//	6	9	12	deg	P <sub>o</sub> =7mW
Perpendicular divergence angle		25	28	32	deg	
Parallel FFP deviation angle	//	-2	0	+2	deg	
Perpendicular FFP deviation angle		-2	0	+2	deg	
Emission point accuracy	x y z	-80	0	+80	um	

### • Precautions

- \* Do not operate the device above maximum ratings. Doing so may cause unexpected and permanent damage to the device.
- \* Take precautions to avoid electrostatic discharge and/or momentary power spikes. A change in the characteristics of the laser or premature failure may result.
- \* Proper heat sinking of the device assures stability and lifetime. Always ensure that maximum operating temperatures are not exceeded.
- \* Observing visible or invisible laser beams with the human eye directly, or indirectly, can cause permanent damage. Use a camera to observe the laser.
- \* No laser device should be used in any application or situation where life or property is at risk in event of device failure.
- \* Specifications are subject to change without notice. Ensure that you have the latest specification by contacting us prior to purchase or use of the product



\* For reference only. Contents above are subject to change without notice.