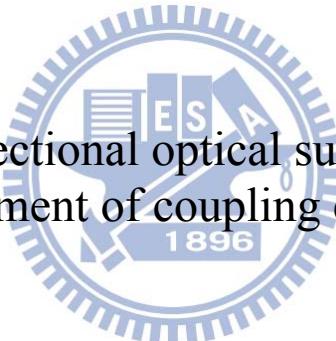


# 國立交通大學

## 工學院精密與自動化工程學程 碩士論文

雙工次模組封裝與耦光效率之改善

Package of Bi-directional optical sub-assembly and the  
improvement of coupling efficiency



研究生：黃登鍵  
指導教授：陳仁浩教授

中華民國 101 年 6 月

# 雙工次模組封裝與耦光效率之改善

Package of Bi-directional optical sub-assembly and the improvement of coupling efficiency

研究 生：黃 登 鍵  
指 導 教 授：陳 仁 浩

Student : Teng-Chien Huang  
Advisor : Ren-Haw Chen



A Thesis  
Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Automation and Precision Engineering  
June 2012  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 6 月

# 雙工次模組封裝與耦光效率之改善

學生：黃登鍵

指導教授：陳仁浩

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

## 摘要

在今天資訊爆炸的時代，光纖通訊正是解決頻寬需求的最佳方案。因應新世代高速網路需求，在雙工次模組的封裝精度要求上，也隨之增高。光通訊主動元件的製作以及對光耦合，一直是目前需持續改進的重要課題，唯得到更良好的光電特性，才能有機會朝更高速的網路來發展。

雙工次模組在結構方面，係包含了光發射次模組與接收次模組兩個部份，文中提供了一套雙工次模組封裝與測試的方式，主要利用膠封與雷射鍔接的固定方式，分別地將光發射次模組與接收次模組固定於雙工次模組本體上，再依所訂立之電性規範，以篩出符合測試及可靠度條件之完成品。

本論文利用 ZEMAX 光學模擬軟體，找出當光耦合效率理論值為最大時，探討晶片位移量相對於符合光纖端面角度之出光角度值，實驗中選取了當光耦光效率達最大時，其該對應晶片位移量來進行實驗驗證，經過一連串的模擬嘗試與實驗驗證，我們證明當晶片以每  $10 \mu\text{m}$  單位距離做偏移時，其  $T_0$  的出光角度變化約為 0.5 度，依此關係來實際驗證當  $6^\circ$  光纖斜面所對應的晶片偏移距離為  $60 \mu\text{m}$ ，其耦合效率的確為最大，比起晶片在中心位置的條件下，其耦合效率還大了 5.46%，驗證了晶片偏移對於雙工次模組發射端的耦光有效性。此成果對於雷射鍔接製程所產生的鍔後位移，提供了一個更大的容許度。

# **Package of Bi-directional optical sub-assembly and the improvement of coupling efficiency**

Student:Teng-Chien Huang

Advisor:Ren-Haw Chen

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

In today's age of information explosion, the fiber-optic communications is the best solution to meet the fast growing bandwidth demand. The duplex module packages on the accuracy requirements will also highly increase in response to the needs of new generation high-speed networks. The process of active components for optical communication and optical coupling have been important issues of continuous improvements. Finding a better optical and electrical properties gives the opportunity to develop a higher speed network.

BOSA (Bi-directional Sub-Optical Assembly) mainly includes the optical transmitter module and receiver module. This paper provides a testing and packaging method for duplex module. We treat the receiver module using epoxy gel sealing packaging method and laser welding technique for the transmitter module respectively to fix these two parts onto the metal main body. And sieve out the finished product with the laid-down electrical specifications to meet the conditions of testing and reliability.

This thesis employs optics simulation tool ZEMAX to explore the influence of active chip offset on the optical beam angle at which the beam enters the fiber end face while optical coupling efficiency reaches a maximum in theory. The experiments are conducted to observe the corresponding effect of chip offset when the coupling efficiency is fine tuned to the maximum. After a series of simulations and experiments, it can be concluded that the every  $10\mu\text{m}$  chip offset gives a  $0.5^\circ$  TO light angle deviation. By this rule, the desired value of chip offset is calculated to be  $60\mu\text{m}$  when a  $6^\circ$  fiber inclined plane is deployed in the BOSA structure. The coupling efficiency is also improved to the best and 5.46% higher than the conventional zero chip offset case. The effectiveness of the chip offset method is verified. The results also provide a greater tolerance for post-weld displacements generated by laser welding.

## 誌謝

倏忽，一邊工作且兼任研究生的生活已到了尾聲，回顧這一路來的收穫，無論在學識的長進、研究的能力以及許許多多的待人接物，都著實讓體驗與學習甚豐，而要感謝的人太多，首要感謝的，必然是指導教授陳仁浩老師，讓我從懵懂的研究所新生，逐漸地了解做研究的精神，在論文上能夠給予我許多建議與方向，讓我的視野更遼闊，而這些指導，不僅促使我的研究與論文得以順利完成，更影響我的人生觀、做事的態度與看事情的角度。此外，也要感謝口試委員鄭泗東老師與徐瑞坤老對於我的研究給予許多意見與指導，讓本論文更完整。同時，也感謝在光環科技的主管包容與親愛的同事們給予研究上的協助，小弟才能順利地完成論文。

謹將我的研究成果與本論文，獻給我最親愛的家人，我爸爸、媽媽。因為有你們的用心栽培與無盡的包容關愛，才能讓我這麼順利的完成人生的這個階段。

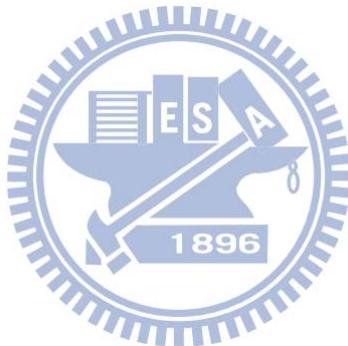
## 目 錄

中文摘要	.....	I
英文摘要	.....	II
誌謝	.....	III
目錄	.....	IV
表目錄	.....	VI
圖目錄	.....	VII
一、	緒論.....	1
1.1	研究背景.....	1
1.2	文獻回顧.....	2
1.2.1	光纖通信的演進.....	2
1.2.2	光纖耦合效率.....	2
1.3	研究動機與目的.....	5
1.4	研究方法.....	6
二、	光通訊網路與光收發模組.....	9
2.1	光通訊產業發展現況.....	9
2.2	被動光網路 PON(Passive Optical Networks)介紹.....	9
2.2.1	被動光網路 PON(Passive Optical Networks)的標準.....	10
2.2.2	EPON(Ethernet Passive Optical Network)的網路架構.....	12
2.3	光收發模組(Optical Transceiver Module).....	13
2.4	光收發次模組 OSA (Optical Sub-assembly).....	14
2.4.1	光發射次模組 TOSA(Transmitter Optical Sub-assembly).....	14
2.4.2	接收次模組 ROSA(Receiver Optical Sub-assembly).....	15
2.5	雙工次模組 BOSA(Bi-directional optical subassembly).....	15
2.5.1	通訊用之半導體雷射.....	16
2.5.2	通訊用之檢光二極體.....	18
2.5.3	0°濾片.....	19
2.5.4	45°濾片.....	19
2.5.5	金屬粉末射出成形(Metal Powder Injection Molding).....	20
2.5.5	MIM 不鏽鋼體.....	20
2.5.6	Z 軸調整環.....	20
三、	雙工次模組封裝與測試實驗.....	27
3.1	實驗設備.....	27
3.1.1	雷射鍥接平台.....	27
3.1.2	光檢測二極體耦光調整治具.....	27
3.1.3	L-I-V(光-電流-電壓)測試儀.....	27

3.1.4	光衰減器(Optical Attenuator) .....	27
3.1.5	光功率計(Power Meter) .....	28
3.1.6	UV 紫光照射器.....	28
3.1.7	誤碼儀.....	28
3.1.8	程式化高低溫循環測試機.....	28
3.2	實驗條件與方法.....	28
3.2.1	前段組裝作業.....	28
3.2.2	耦光作業.....	30
3.2.3	檢光二極體封裝作業.....	32
3.3	測試作業.....	32
3.3.1	接收端靈敏度(Sensitivity)測試.....	32
3.3.2	發射端 L-I-V(光-電流-電壓)測試.....	33
四、	光學模擬與提升耦合效率實驗.....	47
4.1	光收發次模組原理.....	47
4.2	雷射光源基本原理.....	47
4.3	雷射光源與光纖的耦合.....	50
4.4	光學模擬與耦合效率計算.....	53
4.4.1	發射端之光路模擬.....	53
4.4.2	耦合效率計算.....	55
4-5	提升耦合效率設計.....	56
4-6	耦合效率量測與驗證.....	56
五、	結論.....	76
	參考文獻.....	78

## 表目錄

表 4-1	相對特性-發光二極體和注入雷射二極體	72
表 4-2	模擬晶片偏移 X 與出光角度 $\theta$ 關係	72
表 4-3	ZEMAX 模擬晶片偏移相對於耦合效率(C. E)關係	72
表 4-4	實驗結果(一)	73
表 4-5	實驗結果(二)	73
表 4-6	實驗結果(三)	74
表 4-7	實驗結果(四)	75
表 4-8	實驗結果(五)	75



## 圖目錄

圖 1-1	貝爾之光電話	7
圖 1-2	通訊服務之變化	7
圖 1-3	光纖通信之大容量化	8
圖 1-4	BOSA 製作之實驗架構圖	8
圖 2-1	光通訊產業/產品結構圖	21
圖 2-2	光被動光網路架構圖	21
圖 2-3	EPON 網路架構	22
圖 2-4	光收發模組架構圖	22
圖 2-5	光電訊號轉換模組方塊圖	23
圖 2-6	光收發模組組合圖	23
圖 2-7	光主動元件製程圖	23
圖 2-8	光發射端 T056 封裝	24
圖 2-9	T056	24
圖 2-10	光發射次模組(TOSA)	24
圖 2-11	光接收端 T046 封裝	24
圖 2-12	T046	25
圖 2-13	光接收次模組(ROSA)	25
圖 2-14	光纖插座式 BOSA 外觀圖	25
圖 2-15	跳線式 BOSA 外觀圖	25
圖 2-16	Laser 的材料選擇	25
圖 2-17	0°濾波片	26
圖 2-18	45°濾波片	26
圖 2-19	BOSA-MIM 不鏽鋼本體	26
圖 2-20	光纖跳線與 Z 軸環	26
圖 3-1	雷射銲接設備	34
圖 3-2	YAG 雷射機	34
圖 3-3	程式自動化雷射銲接平台	34
圖 3-4	光檢測二極體耦光調整治具	34
圖 3-5	L-I-V(光-電流-電壓)測試系統	35
圖 3-6	光衰減器	35
圖 3-7	光功率計	35
圖 3-8	UV 紫外光照射器	35
圖 3-9	誤碼儀	36
圖 3-10	誤碼率計算公式	36
圖 3-11	程式化高低溫循環測試機	36
圖 3-12	45°Filter 上膠	37

圖 3-13	45°濾波片置入與定位	37
圖 3-14	45°濾波片輕壓平貼	37
圖 3-15	定時恆溫烤箱	38
圖 3-16	Filter 韋起或歪斜	38
圖 3-17	Filter 鱗污	38
圖 3-18	Filter 沾膠污染	38
圖 3-19	0°Filter 上膠	38
圖 3-20	0°Filter 置入與定位	38
圖 3-21	0°Filter 平放	38
圖 3-22	0°Filter 歪斜	38
圖 3-23	0°Filter 鱗污、刮傷	38
圖 3-24	0°Filter 溢膠	39
圖 3-25	T056 針腳對位置入上壓頭治具	39
圖 3-26	Body 置放下鉤壓治具	39
圖 3-27	目視上下工件對位	39
圖 3-28	不鏽鋼本體補滿黑膠	39
圖 3-29	Power Supply	40
圖 3-30	自動耦光下治具圖	40
圖 3-31	下治具旋轉鎖緊	40
圖 3-32	上治具氣壓開關固定	40
圖 3-33	耦光監視程式畫面	41
圖 3-34	Z 軸套入金屬 Ferrule	41
圖 3-35	Z 軸環鋸接位置	42
圖 3-36	工件平面貼合	42
圖 3-37	耦光機光功率讀值	43
圖 3-38	XY 平面鋸接	43
圖 3-39	Pigtail BOSA 半成品	43
圖 3-40	T046 對位置入上治具	44
圖 3-41	不鏽鋼本體置入治具	44
圖 3-42	啟動電源供應器	44
圖 3-43	檢視示波器	44
圖 3-44	T046 上三點 UV 膠	44
圖 3-45	套上 UV 照射治具	44
圖 3-46	T046 塗一圈黑膠與 T046 排列固化烘烤	45
圖 3-47	可調式光衰減器調整靈敏度	45
圖 3-48	LIV 系統特性量測畫面	46
圖 4-1	BOSA 零件組成爆炸圖	58
圖 4-2	BOSA 光信號傳輸示意圖	59

圖 4-3	雷射的三大要素	59
圖 4-4	簡單的半導體雷射結構	59
圖 4-5	光源之驅動電流與光輸出功率之關係	60
圖 4-6	典型發光二極體與雷射二極體之輻射場型	60
圖 4-7	光入射 Fiber 與折射示意圖	60
圖 4-8	擴散光源之數值孔徑計算	61
圖 4-9	數值孔徑 NA 與光損失關係	61
圖 4-10	雷射二極體 T056 外觀尺寸圖	62
圖 4-11	球形透鏡光路圖	62
圖 4-12	球形透鏡光斑圖	63
圖 4-13	雷射穿過球形透鏡、濾波片之光路圖	63
圖 4-14	增加 45°濾波片的光斑圖	64
圖 4-15	Chip offset 下增加 45°濾波片之光路圖	64
圖 4-16	Chip offset 下增加 45°濾波片的光斑圖	65
圖 4-17	Chip offset 10 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	65
圖 4-18	Chip offset 20 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	65
圖 4-19	Chip offset 30 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	66
圖 4-20	Chip offset 40 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	66
圖 4-21	Chip offset 50 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	66
圖 4-22	Chip offset 60 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	67
圖 4-23	Chip offset 70 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	67
圖 4-24	Chip offset 80 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	67
圖 4-25	Chip offset 90 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	68
圖 4-26	Chip offset 100 $\mu\text{m}$ 之光路圖與光斑圖	68
圖 4-27	光纖偏斜角度計算公式	68
圖 4-28	雷射光反射示意	69
圖 4-29	正常的光功率對應電流之微分曲線	69
圖 4-30	抖動異常之光功率對應電流之微分曲線	70
圖 4-31	各類光纖插芯(Fiber stub)	70
圖 4-32	晶片偏移前後收光之示意圖	71
圖 4-33	晶片不同偏移對應其出光位置之分布圖	71

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

二十一世紀是光纖通訊的時代，光纖通訊產業已經被視為未來的主流產業，世界各國無不全力發展，我國亦將其列為十大新興產業。

「光纖」就是能輸送光線的纖維，其實它與能輸送自來水的水管以及能輸送瓦斯的瓦斯管一樣，只是管子的粗細小了許多，管徑的大小大約只有萬分之一公尺，只比頭髮稍粗。光纖的主要功能是傳輸「光波」，因為光波在空氣中傳送都是沿直線進行，很容易被障礙物阻擋，所以需要光纖來幫忙輸送。

光纖通訊之所以備受矚目，是因為能夠在短時間內傳遞大量的聲音、影像和數據資料，換句話說，可同時肩負起傳輸電視、電話和電腦資訊等工作。光纖在醫學上的應用也很多，例如內視鏡，它是一根柔軟可彎曲且內含數條光纖的管子。當它滑入病人的嘴、鼻、消化道及其它心臟等由體外看不到的地方時，醫生便能由內視鏡看到內部變化，而減少進行冒險性手術的需要。

再者，光纖是絕緣體，不受任何電磁波干擾。我們的生活環境充滿了各種電磁波，使得收音機、電視、電話經常產生雜訊。改用光纖傳訊，則訊號穩定，達到幾近不失真的效果。對於某個通訊系統而言，使用傳統的銅纜作為傳輸介質較好，或是使用光纖較佳，有幾項考量的重點。光纖通常用於高頻寬以及長距離的應用，因為其具有低損耗、高容量，以及不需要太多中繼器等優點。光纖另外一項重要的優點是即使跨越長距離的數條光纖並列，光纖與光纖之間也不會產生串訊（cross-talk）的干擾，這和傳輸電訊號的傳輸線（transmission line）正好相反。

被動光纖網路（PON）是為光纖通訊網路的一種，其特色為不用電源就可以完成訊號處理，就像家裡的鏡子，不需要電就能反射影像，除了終端設

備需要用到電以外，其中間的節點則以精緻小巧的光纖元件構成。被動光纖網路從中心到駐地網之間不存在任何有源器件，取而代之的是將無源光器件插入到網路中，並在整個路徑上通過分離光波長的功率來引導傳輸的流量。這種替換使得用戶不再需要向傳輸環路中的有源器件供能和保養，大大節約了用戶的成本。無源的分光器和耦合器只起到傳遞和限制光的作用，不需要供電和資訊處理，而且具有不受限制的平均故障間隔時間(mean time between failures;MTBF)，可以全面降低維護成本。因此如何提供一個連接主動元件與被動元件的次模組封裝設計來降低成本且提高良好的通訊特性，是當前光通訊業界的首要目標，惟有不斷的創新設計理念及精進製程的設計能力，才能為將來無限延伸的資訊需求提供良好的後盾。

## 1.2 文獻回顧

### 1.2.1 光纖通信的演進



在電氣通信尚未問世之前的 19 世紀，光通信是遠距離通信的唯一手段，不過當時光通信十分簡單，僅止於烽火、旗語等做為傳達訊息的方式。

在電氣通信方面，電氣通信之歷史始於 1837 年摩斯(S. F. B. Morse)所發明的電報。接著是 1876 年(A. G. Bell)發明的電話、1895 年馬可尼(G. Marconi)發明的無線電報。在此時期，貝爾於 1880 年發明了光電話，開創了光通信的新紀元，圖 1-1 所示為貝爾所發明之光電話示意圖。貝爾以太陽光源，成功地將聲音傳送到 200m 外的地方(空間傳送)。不過，由於當時無實用之傳送路，所以這個發明不久就為人所淡忘了。

到了近代，光纖通信已是網際網路及行動電話等新型通信服務的幕後支撑力量，今天，一條光纖已經能夠傳送高達 10Tbit/s 以上之資料。在 1980 年代以前，一提到通信就是只固定電話而言，通話距離越遠電話費越高，尤其是國際電話費更是貴的驚人，這是眾所皆知的事實。但是，在 1990

年代初期開始的短短 10 年間，網際網路(internet)及行動電話等新型而便利的通信服務月日趨普及，打破了以往固定電話獨大的局面。從圖 1-2 所示通信服務的變化可以看出，固定電話的台數自從 1999 年左右達到顛峰狀態以來就開始衰退，反之，連接網際網路的個人電腦及行動電話的台數則呈爆炸性之增加，尤其是行動電話的台數到 2000 年已經超過固定電話的台數了。

除了在電腦、電子技術的發展及社會結構的變化等各種要因的背景下，這些新型通訊服務的背後扮演著幕後英雄是光纖通信技術。在 1995 年以前，以電話通信為主的之時期，僅使用一個波長之光纖來傳送數位之電氣信號時採用時間多工技術(time division multiplexing ;TDM)之後，隨著網際網路之爆炸性發展，TDM 技術已無法滿足所需，而改用波長多工(wavelength division multiplexing;WDM)技術，使用多個不同波長之光線作多工化傳送。圖 1-3 所示之曲線表示光纖通信技術之大容量化所帶來每條光纖可傳送資料量增加的情形。

### 1.2.2 光纖耦合效率

當今的光通訊主動元件，如單向的發射次模組、單向收光次模組以及雙工次模組等的封裝技術上，耦光效率總是第一個需要被重視的工程議題，而針對耦光對位的封裝製程上，如何提升耦合效率就是一個非常值得探討的課題。

對於雷射鍛接的耦光製程上，首先在 1995 年鄭木海教授等人以不同鍛接能量鍛接工件，並做金相實驗，說明鍛接破壞造成了工件相對微量位移而損失了耦光效率[1]。1995 年，後續鄭木海教授等人試圖以正向施壓，靠著工件間的摩擦力來降低相對鍛後位移現象，以提高耦光效率[2]。1995 年，B. Valk 等人以渦電流感測器來量測鍛後位移，並且利用數次補鍛修正

鋸後位移提高耦光效率[3]。2000 年，B. Valk 等人將模組構裝過程自動化，並加入使用補鋸技術[4]。2001 年，光灼華教授等人，提出利用有限元素軟體分析與金相實驗相驗證符合[5]。2001 年，趙芝山評估以熱應力分析應用在雷射鋸接光通訊元件的可行性。最後利用三維有限元素分析，我們可以初步地模擬出三點式雷射鋸接的情況，並探討在不同鋸池深度與定位角度的條件下，所造成的鋸後位移情形[6]。

蘇麗華等人將光軸零件分光鏡(固定座)內部之結構設計夾斜角度，使入射光軸傾斜一個補償角度，不但能夠提高耦合效率，也能降低反射光進入雷射共振腔，抑制反射突波。實驗結果，發現將 6 度斜角的光纖頭套配合本實驗光軸共用零件，是最佳的光收發模組之光軸設計[7]。

許吉成等人製作一橢圓透鏡置於光纖上，利用透鏡的聚光特性，增加光訊號耦光效率，減少光纖光源訊號的損失。於光學模擬軟體上，模擬光纖上之橢圓透鏡對於光纖光源的耦合效率。並利用田口品質工程法，找出各種參數諸如光源至光纖的距離、透鏡輪廓等對於光線耦合效率的影響。從中找出最佳參數值，作出符合模擬結果的光纖橢圓透鏡輪廓[8]。

胡志允等人提出將橢面透鏡置於光纖端面上，並利用透鏡的聚光特性，增加半導體雷射光強度於光纖之光訊號耦光效率，以減少光纖光訊號之對位損失。最後利用 Epoxy 使與橢面微透鏡與光纖黏合，達成於光纖端面具橢面微透鏡之目的。因此製程開發可開啟光纖微透鏡之量產化濫觴，並驗證其橢面微透鏡光耦效率可達 42.7%[9]。

張朝揚等人利用光學模擬軟體與耦光實驗針對雷射光次模組(transmitter optical sub-assembly; TOSA)的耦光效率進行分析與計算。並使用有限元素分析軟體(COSMOSWorks)分析雷射光次模組熱效應與熱應力造成之熱位移，且提出新的結構與材料去改善熱位移。明顯的將 TOSA

的整體位移量(d)由  $1.01\text{ }\mu\text{m}$  降至  $0.086\text{ }\mu\text{m}$ ，且大幅的降低 TOSA 的追跡誤差(tracking error)。此外，針對雷射模組的聚焦光束(focused beam)與平行光束(collimated beam) 兩種主要耦光機制進行實驗與探討。聚焦光束架構使用高效率非球面鏡(aspherical lens)的耦光效率較球面鏡(ball lens)來的高，實驗結果約為 60~75%[10]。

目前大多數的研究皆以改善鋸後位移的方式來探討耦光效率的關係，部分研究再進一步以有限元素之模型提出降低鋸後位移的方法，而降低鋸後位移雖是提高耦光效率的一個方式，但在這前提之下，試圖提高鋸接前的耦光功率的作法，也是不容忽視的一個重要課題。雙工次模組因製程繁雜且無法重工，對位封裝耦合困難，造成主要元件物料浪費，而如何運用適當機械設計及加工方式，來提升其耦合效率及抑制反射突波，以及控制製程的穩定度，是未來光通訊技術研究的方向。

### 1.3 研究動機與目的

近幾年來，結合電腦硬體技術、通訊傳輸設備、網路多媒體與光纖通訊網路應用的寬頻網路建設與服務。面對 Internet 高度發展及頻寬需求的迫切，具備高頻寬優勢的光纖格外受到矚目。相對於被動元件及模組而言，主動元件及模組較為複雜，牽扯的問題較多，且於實際網路的性能需求較高，因此，技術進入門檻高，廠商需投入較多資金及試產時間，在光通訊市場中，其中光收發模組(或光發射機與光接受機)及光放大器都是不可或缺，且佔有很大市場需求。隨著用戶端光纖化比率的提高，開拓了光收發模組的新市場。光纖區域網路成為光主動元件市場成長之動力。雙工次模組的封裝技術是集合光學、機械、電子的設計技術，是一項處理光電轉換功能的媒介，而如何提高封裝的效率是目前的業者努力的目標。由於光纖產品的精度需求較高，使得元件封裝上經常面臨價格昂貴及制程穩定

度控制困難，因此 如何從產品到制程設計有效地提升是重要的課題。

為針對雙工次模組的封裝設計與製程上的精進列為重要考量，本研究的研究方向著重在雙工次模組構裝方式與耦光效率的改善上，雙工次模組實驗架構可參考圖 1-4。在光收發模組上，發射端一般由雷射作為光源，經透鏡聚焦後耦合進單模光纖，比起接收端使用光敏二極體接收光訊號，其對光困難度要高出很多，原因為單模光纖一般收光面積為  $9 \mu\text{m}^2$  的直徑圓端面，相對於接收端的光敏二極體動輒  $200 \mu\text{m}^2$  以上的收光面積，其收光面積差異太大，因此本研究重點在於發射端的耦光效率作一探討研究。

## 1.4 研究方法

目前一般雙工次模組的傳送端，都是採用光通訊雷射模組與本體固定後，再與光纖端接頭或跳線作雷射鋸接製程以固定接合，雷射鋸接製程因金屬材料吸收雷射的光能，將之轉換成熱能，而材料因熱能而熔化並且瞬間冷凝，型態上的變化會產生不少熱力，鋸後位移改變了光纖原本最佳的位置，耦光效率因此下降而難以控制，為此封裝上考慮到鋸後位移的影響，首要工作即希望能再提高更大的耦光效率，而使得在受到鋸後位移影響後，發射模組仍能保持合乎需求條件的耦光效率或光功率，因此在本研究方法中除利用光學設軟體找出適當的雷射封裝的偏移距離相對應其斜角度光纖進行耦合效率評估之外，更以實際的封裝實驗作數值比對，期能補償鋸接錯位時所造成的功率損失，以提高製程光耦合效率，以期日後能朝更具產業效率及競爭力之製程技術邁進。

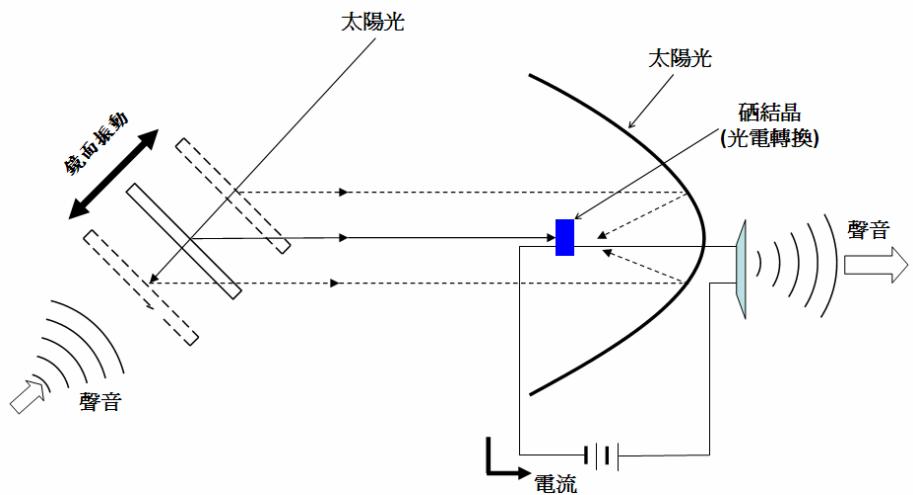


圖 1-1 貝爾之光電話

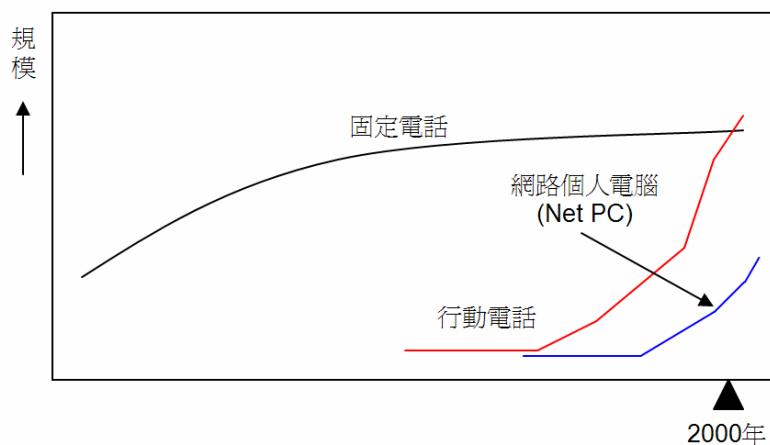


圖 1-2 通訊服務之變化

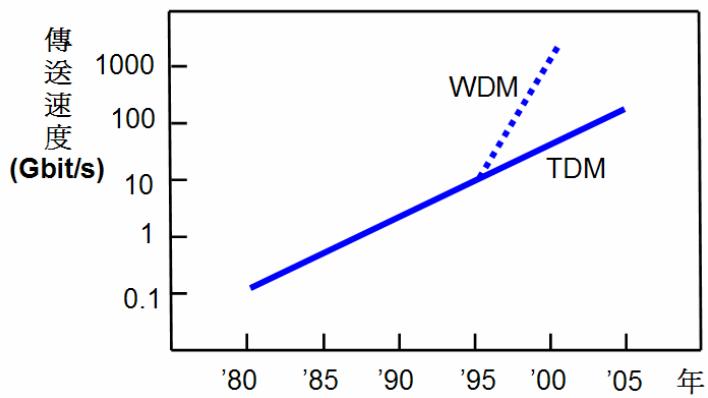


圖 1-3 光纖通信之大容量化

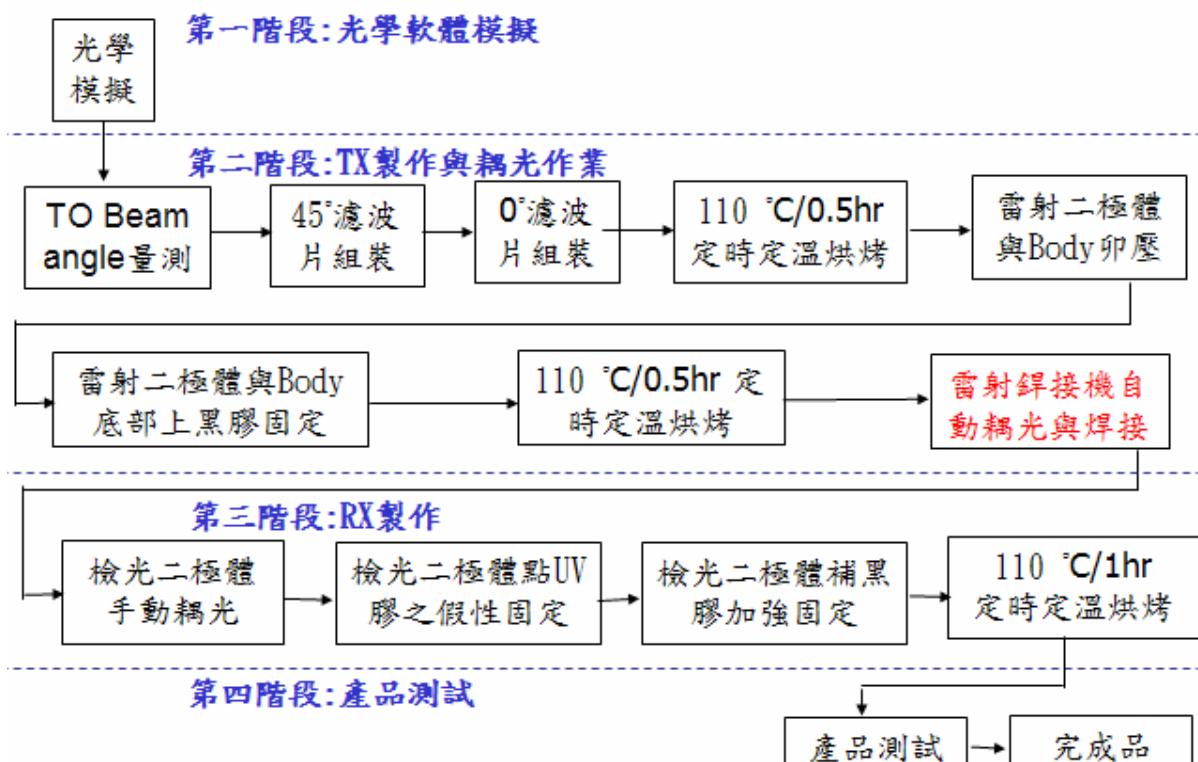


圖 1-4 BOSA 製作之實驗架構圖

## 第二章光通訊網路與光收發模組簡介

### 2.1 光通訊產業發展現況

由於光通訊技術日趨複雜，業者僅強化元件技術升級，或進行「差異化」的行銷，已非致勝關鍵，反倒是網路管理等軟體開發，在未來光通訊系統中所扮演的角色將愈形加重。因此，光通訊產業逐漸發展出「客製化」特性，各元件廠傾向根據下游光通訊設備廠的需求進行元件生產，即使有新技術的開發動作，目的也是為了能夠降低生產成本。

繼 IT 以及 IC 產業之後，光纖通訊產業在台灣已漸漸形成新的群聚，如圖 2-1 可了解到光通訊產業的產品結構。在此產業裡有些公司針對光纖通訊的關鍵性主動光電零組件，光收發器 (optical transceiver) 之產品研發，製程設計，製造生產與行銷服務的事業。光主動元件的製程繁瑣，因此技術門檻較高，在光纖通訊產業的供應鏈中，佔有非常重要的地位。

光纖通訊的各類規範與標準繁多，零組件亦多而繁複，使得產品呈現少量而多樣化。必須隨規格而變更的產品要達到量產的規模有其先天的困難度，且生產某些零組件還需要一點技藝，所以光纖通訊產品無法像資訊產品一樣藉由經濟規模，而大幅降低成本。各個光纖通訊鋪設計畫有其不同的要求，所以系統的設計需因應不同的需求而量身訂製；然而待光纖鋪設至區域端，則光收發模組等主動元件的需求量將大增，光纖通訊元件才會進入量產時代。

### 2.2 被動光網路 PON(Passive Optical Networks)介紹

無源光纖網路 (passive optical network) 又稱被動式光纖網路，為光纖通訊網路的一種，其特色為不用電源就可以完成訊號處理，就像

家裡的鏡子，不需要電就能反射影像，除了終端設備需要用到電以外，其中間的節點則以精緻小巧的光纖元件構成。屬於「點對多」的網路架構，在「電信機房中心」(CO) 設有「光纖線路終端機」(optical line terminal；OLT)輸出光信號後，透過被動式裝置—並非運用電力裝備去作分離訊號動作，而是用波束分離器替代(「光纖分歧器」(passive optical splitter；POS) )將光束頻寬切割成多個光頻分送給多個用戶端「光纖網路終端機」(ONT)，每個「光纖分歧器」可將光頻切割成 16、32 或 64 個光頻，若欲提升用戶端的光頻需求，可減少「光纖分歧器」(POS) 對光束頻寬的切割數。被動光網路主體架構如圖 2-2 所示。

### 2.2.1 被動光網路 PON(Passive Optical Networks)的標準

#### 1. ITU-T G.983

(1)APON (非同步傳輸模式 PON， ATM Passive Optical Network). 這是第一種被動式光網路標準，他基於 ATM，主要用於商業應用。

(2)BPON (寬頻 PON，Broadband Passive Optical Network) 這是一個基於 APON 的標準. 這個標準增加了對 WDM，動態和高速上聯頻寬分配，和耐久性的支持。BPON 也創立了一個管理介面標準 OMCI， 在 OLT 和 ONU/ONT 之間的授權混合供應商網路。

- IEEE 802.3ah

- EPON or GEPON (乙太網絡 PON，Ethernet Passive Optical Network) 這是一個為使用乙太網絡包數據的 IEEE/EFM 標準。 802.3ah 標準現在是 IEEE 802.3 標準的一

部分。現在大約有一千五百萬正在使用的 EPON 埠。2008 年，中國大力發展 EPON 技術。據估算，截止至 2008 年底，中國總共有 200 萬個 EPON 安裝用戶。

- ITU-T G. 984
  - GPON (千兆 PON, Gigabit Passive Optical Network) 這是 BPON 標準的發展。GPON 支持更高的速率，增強的安全性和可選擇的第二層協議(ATM, GEM, Ethernet)。在 2008 年中旬，弗萊森電訊已經安裝了 80 萬條線。英國電信(British Telecom)和美國電話電報公司(AT&T)正在進行高級試驗。其他一些公司如獨立光網路有限公司 (Independent fibre networks LTD) 正和服務提供商如 See the Light 合作提供更高速的 GPON 連接和光纖到戶 (FTTH-fibre to the home)。
- IEEE P802.3av
  - 10G-EAPON (10 千兆乙太網 PON)是一個 IEEE 專門工程為了達到 10Gbit/s 的速率，向下兼容 802.3ah 標準的 EPON. 10GigEPON 將會使用分隔波長給 10G 和 1G 下行。802.3av 將會繼續使用單獨波長 TDMA 隔離為在 10G 和 1G 間的上行。10G-EAPON 也會唄 WDM-PON 兼容 (依據 WDM-PON 的定義)。這使得使用多波長在兩個方向之間變為可能。
- SCTE IPS910
  - RFoG (RFoverGlass)是一個 SCTE 的介面實踐分委員會標準，應用於有波長計劃兼容數據 PON 解決方案的點對多點 (P2MP)操作，例如 EPON，GEPON or 10GigEPON. RFoG 提供

了一個光纖到戶 PON (FTTH PON) 就像不一定要選擇或者部署 PON 的 MSOs 架構

### 2.2.2 EPON(Ethernet Passive Optical Network)的網路架構

EPON 是一種基於被動式光纖網路架構(Passive Optical Network, PON)的乙太網路傳輸技術(如圖 2-3)，它採用在一根光纖上以波分多工(Wavelength Division Multiplex, WDM)技術實現點對多點雙向通信，將乙太傳輸協定引進接取網路，完成一個從端點到端點、單一傳輸技術的寬頻網路環境，而免於處理各種不同協定間之轉換，同時順應了下世代網路(Next Generation Network, NGN)IP 化之發展趨勢。

EPON 系統基本上由局端設備(Optical Line Terminal, OLT)、遠端設備(Optical Network Unit, ONU)和被動式的光分歧器(Passive Optical Splitter)組成。在傳輸速率及傳輸距離上，EPON 可以支援 1.25Gbps 對稱速率，最大傳輸距離可達 20 公里，分歧器之分歧數量以 1:16 居多，但目前技術上則已達 1:32。至於在光波長的運用上，EPON 使用了 1310nm、1490nm 及 1550nm 三個波長，其中 1310nm 波長係負責承載由 ONU 端往 OLT 端傳送的上傳數據資料，而 1490nm 波長則係負責承載由 OLT 端往 ONU 端傳送的下傳數據資料，另外 1550nm 波長就負責承載 CATV 的類比電視頻道。

在 OLT 端，WDM 負責在下傳(由 OLT 端往 ONU 端傳送)方向將 1490nm 及 1550nm 這 2 個波長耦合到單模光纖(Single Mode Fiber)上，同時也負責在上傳(由 ONU 端往 OLT 端傳送)方向將 1310nm 這個波長耦合給 OLT 的光模組(Optical Transceiver)接收。

OLT 至 ONU 下行方向，是以點對多(P2MP)的方式進行廣播

(Broadcast)，並交由用戶接收端擷取所需的訊號，此特性促使其容易提供 video multicast/broadcast 的服務。OLT 至後端(局端)在上行方向，則提供 Gigabit Ethernet 網路介面連接。為了支援其它通行的協定，OLT 還可支援 ATM、FR 以及 OC3/12/48/192 等速率的 SDH/SONET 的介面標準。在 EPON 的網管方面，OLT 是主要的控制中心，實現網路管理的主要功能。

在 ONU 端，WDM 負責在下傳(由 OLT 端往 ONU 端傳送)方向將 1490nm 及 1550nm 這 2 個波長分別耦合給 ONU 的光模組(Optical Transceiver)及 CATV Receiver 模組，同時也負責在上傳(由 ONU 端往 OLT 端傳送)方向將 1310nm 這個波長耦合到單模光纖上。

至於 ONU 上行傳輸的處理方式則十分複雜。ONU 上行傳輸是以點對點(P2P)方式，按照 OLT 中的控制機制進行，採用分時多工(Time Division Multiplex，TDM)協定，此協定對每個 ONU 分配專用的傳輸時槽(Time Slot)，可以防止來自不同 ONU 的數據傳輸產生碰撞。

乙太網路以成熟的區域網路(LAN)應用逐漸往都會網路(MAN)、廣域網路(WAN)應用邁進，隨著其技術發展可以升級到 10Gbps，使得 EPON 系統擁有相對成本低、維護簡單、容易擴展、易於升級的優勢，更因 Ethernet all the way，消除了 WAN 與 LAN 網路上 ATM 和 IP 協定的轉換，對於向全 IP 網路過渡是一個很好的選擇。

## 2.3 光收發模組 (Optical Transceiver Module) 介紹

光收發模組組成的主要元件包含光元件（雷射、光二極體）、IC（光元件控制）與機構元件（組成光次模組等機構），其技術涵蓋了光電、電子、物理等領域，而光電訊號轉換的品質決定了整個光通訊資料傳輸的品質，詳細架構可參考圖 2-4。光收發器包含了電／光

(Electrical/Optical, EO) 訊號轉換的光發射模組 (Optical Transmitter Module)，將電訊號型態的資料轉換為相對應之光訊號，藉由光纖為傳輸媒介傳遞資料；另一模組則是光／電 (Optical/Electrical, OE) 訊號轉換的光接收模組 (Optical Receiver Module)，將接收自光纖之光訊號轉換為電訊號型態，而光電訊號轉換模組方塊圖如圖 2-5 所示。

一個可達到效果不錯的光收發模組，其模態與價格之決定因素在光元件，速度決定因素在電元件，而體積決定因素則在連接器，三者需搭配得相當完美才可。光訊號經由光纖從光接受器被接收，進入放大器與濾波器後，進入解碼器成為電訊號，如果元件的功能僅止於此，稱之為光接收器 (Optical Receiver)。相反的電訊號經由編碼器進入訊號處理器，隨之透過驅動晶片 (Driver IC) 促使發光源產生光訊號送入光纖當中，如果元件的功能僅止於此，則稱之為光發射器 (Optical Transmitter)。結合兩者進而完成這樣雙向的過程就是光收發模組 (Optical Transceiver module) 最主要的工作。

## 2.4 光收發次模組 OSA (Optical Sub-assembly)

光收發次模組，主要分為發射端與接收端兩種封裝形式 (如圖 2-6)，為光電之主動元件，負責光電訊號的轉換，依後端的電路設計調整其光電性能，其製作流程及結構，可參照圖 2-7 光主動元件製程圖。

### 2-4-1 光發射次模組 TOSA (Transmitter Optical Sub-assembly)

光傳輸模組 TOSA (Transmitter Optical Sub-assembly) 為光傳輸資料處理之大門，負責將處理完後之資訊透過發射端將電的信號轉變為光的訊號然後啟動光發射元件傳出光訊號，經由光纖輸送到各地。半導體雷射對溫度變化相當敏感，封裝時需考慮散熱或溫度控制的問題。目前常

見的封裝是將雷射固於定圓型封裝座(圖 2-8)上並利用封蓋密封，製作成為 T056(圖 2-9)。再將 T056 封裝座插入同軸式(coaxial)光纖接頭或插座式(receptacle)光纖連接器；雷射所發出的光經由封蓋的視窗或透鏡進入光纖接頭內的柱狀透鏡再耦合到光纖中，之後使用雷射鍔接來組成光發射次模組 TOSA(圖 2-10)。

#### 2-4-2 光接收次模組 ROSA(Receiver Optical Sub-assembly)

光接收模組 ROSA(Receiver Optical Sub-assembly)是收集光纖傳回的光訊號，然後轉成電的訊號，以完成資訊之溝通。常見的封裝是將光敏二極體(PD Chip)固於定圓型封裝座(2-11)上並利用封蓋密封，製作成為 T046(如圖 2-12)。T046 封裝座完成後插入同軸插座式(receptacle)光纖連接器與 TOSA 之封裝方式類似。之後利用膠封方式來組成光接收次模組(如圖 2-13)。高速光通訊傳接器包含了高頻電路整合技術、單模/多模光纖耦合技術、高速光通訊元件技術及光訊號量測技術。在光接收器的組成中，檢光器可說是最重要的關鍵組件。光纖通訊系統所使用之檢光器，通常需具備高靈敏度、高頻寬及高可靠度，且易於製造和低成本等要求。大體來說，光纖通訊用檢光器可有 PIN 二極體和 APD 二極體二種，PIN 的成本較低，同時又足敷通訊應用所需，因此在應用上大多以 PIN 為主。長波長檢光器用 GaAs 或 InGaAs 為半導體材料，適於 0.85~1.65nm 波長範圍之光檢測。

#### 2-5 雙工次模組(Bi-directional optical sub-assembly)介紹

雙向傳輸光學次模組 BOSA，是應用在被動光纖網路(PON)中的一個關鍵器件，模組之主要功能是分別以不同波長光訊號，分別以發射或接收之方式將用戶端資料上傳至網路，或將網路上之資料下載至用戶端。依功能劃分，BOSA 又可分為 Diplexer 和 Triplexer 兩種類型。其中，

Diplexer 常被直接稱為 BOSA。由一個光發射器和一個光接收器組成以提供雙向通訊能力。用於用 EPON 戶端 (ONU) 時，採用 1310 nm 波長傳送、1490 nm 接收。應用於機房 (OLT) 時則反之。外觀上，有分插座式 BOSA 或是跳線型 BOSA，依實際應用不同而有所差異(如圖 2-14，2-15)。在結構上，雙工次模組主要由插座型光纖接頭(或跳線型接頭)、雷射二極體 T056、光感測二極體 T046、濾波片和不鏽鋼本體等組成。

### 2-5-1 通訊用之半導體雷射

發射信號主要靠半導體雷射來產生，而雷射種類可分為 Fabry-Perot(FP)邊射型雷射二極體晶粒(chip)、分佈回饋邊射型雷射二極體(DFB)晶粒、面射型雷射二極體(VCSEL)晶粒、面射型發光二極體(LED)晶粒及面射型共振發光二極體(RCLED)晶粒。發光/受光元件的晶粒大小約僅  $0.5 \times 0.5\text{mm}$ ，為便於與光纖耦合，需將晶粒作適當的封裝，由於不同的元件有不同的用途與使用環境，因此封裝的方法依雷射發射方式有所不同，主要分為邊射型雷射(FP&DFB)與面射型雷射(VCSEL)兩種。因光通訊用之傳輸訊號，需要以不同的波長區段來作傳送及接收的區分，半導體雷射的材料因應不同波長需求，所使用的半導體材料也不同(如圖 2-16)。

通訊用的光源要能配合光纖使用，因此特性上需滿足某些基本條件，才能達到最佳的傳輸功能，這些條件主要有：(1)波長應在光纖低傳輸損失及低散射處；(2)頻譜窄，以降低光纖的色散效應；(3)足夠的輸出功率，並可有效地耦合入光纖中；(4)線性的電光轉換特性，以降低訊號失真及雜訊；(5)高響應速率；(6)良好的長期穩定性。

目前能夠滿足這些條件的光源主要有半導體雷射 (Laser Diode, LD) 及發光二極體(Light Emitting Diode, LED)。一般而言，LD 的輸出功率高、調變速度快、頻譜窄、發光角度集中，但缺點是價格昂貴，

因此較適合配合單模光纖用在中、長途的寬頻電信傳輸；而 LED 的輸出功率較低、響應速度較慢、頻譜較寬、發光角度較廣，且價格便宜、使用容易而耐用，因此適合配合漸變型多模光纖用在短程的數據傳輸。

光傳送器在傳輸光訊號前必須先經過調變，而調變的方式可分為直調或外調，直調是經由改變輸入電流而達成，外調的方式則可以達到較大的頻寬以及更遠的傳輸距離。一種可以做到外調的方式是利用偏振恆持光纖連接雷射模組與一個 Lithium-niobate 調變器，達到調變的目的。由於調變技術愈來愈進步，使得單一光纖上的傳輸速率也愈來愈高。可作為光纖通訊光源的半導體雷射大致可分為三類：Fabry-Perot(F-P)半導體雷射、單頻半導體雷射(DFB雷射)、垂直共振腔面射型雷射(VCSEL)。其他，如利用 FP 模組製成的類比雷射傳送器，主要用於 CATV 系統，而 WDM/DWDM 市場的興起也帶動了 EDFA 雷射的市場。以下簡述各種雷射的特性：

### (1) Fabry-Perot(FP)半導體雷射

1897 年法國科學家法布里 (Charles Fabry) 與珀羅 (Alfred Perot) 發明的光學共振干涉儀是，也稱為「光學共振腔」或「Fabry-Perot 共振腔」。它利用光的建設性干涉，可以大量提升光源的亮度和能量分辨率。F-P 雷射利用端面提供回饋，雷射腔的長度允許多個模態 (波長) 同時存在，此種多模態的雷射光在光纖中傳輸會有色散效應，而對傳輸的速率及距離有所限制，只適用於短距離的低速傳輸如用戶迴路的 FTTC。不過由於此種雷射構造較為簡單，製程亦較為容易。

### (2) 分佈回饋邊射型雷射(DFB)

為克服 F-P 雷射的缺失與限制，可利用光柵來選擇特定的波長產生回饋，使雷射共振腔只允許單一波長產生共振，而形成單頻雷射，如分佈回饋式單頻雷射(DFB)。該種雷射由於具有極佳的光電特性，已成為長途 (>100 公里) 高速 (>Gbps) 傳輸的寵兒。

### (3) 垂直共振腔面射型雷射 (VCSEL)

垂直腔表面放射雷射 (Vertical cavity surface emitting laser, VCSELs) 在光通訊系統、光聯繫及平行的光信號作用方面上，由於具有低臨界電流、單模式操作、低光束分歧及與可有效耦合單模式光纖、製程較容易且壽命較長等優點，使得 VCSEL 頓時吸引眾人矚目。

與邊緣放射型的 LED(ELED)相比，VCSEL 先天上的結構特性 (垂直腔) 使得在生產製造過程中較易掌控，而且 VCSEL 單體之間在製作過程中還可緊密的接合，不像 ELED 需要在封裝前就切割成小單體，進行封裝時也較為簡便。

雖然 VCSEL 有上述多種的優勢，但要用在長途傳輸網路上還有待逐步實現，此乃可調變波長的寬度仍然太窄之故 (約 20nm)，因此尚不適用於 WDM 的應用，目前以短距離傳輸應用，如 FTTH、FTTC 等較為看好。

## 2-5-2 通訊用之檢光二極體

### (1) PIN 二極體檢光器

PIN 二極體檢光器在長波長光通訊系統中應用最廣泛，具有容易製作，可靠度高，低雜音，可與低電壓放大器電路相匹配，並且有極高之頻寬等特性。電容減小，但卻因空乏區寬度增加，反而使載子漂移時間增長，因此，欲得到高頻的 PIN 元件，需在漂移時間與電容值做一最佳的取捨。

PIN 二極體工作於逆向偏壓，當光照射到空乏區時，光子在空乏區內產生電子與電洞，由於外加之偏壓在空乏區內造成高電場，迅速將電子、電洞分離，而分別為正負電極收集，形成光電流，達到光檢測的作用。

PIN 二極體的結構，大致可分背面照光及正面照光兩種。正面照光的二極體結構較簡單，但是光在通過  $p+$  層時會被吸收，而降低量子效率。背面照光的二極體，則因  $n+$  InP 的基板為透明的，因此可得到較高效

率的偵測器。

PIN 二極體的反應速率，決定於載子橫越空乏區所需的時間，及空乏區之電容值，此兩因素均與空乏區之寬度有關。

### (2) 崩潰二極體 (APD)

累增光二極體亦為 p- n 接面元件，於相當大的逆向偏壓下工作，當照光於空乏區產生一對電子電洞，受高電場加速分別向正負電極運動，當運動中之載子獲得足夠能量時，撞擊晶格原子而使之解離，即產生第二次電子—電洞對，如此循環撞擊可產生許多載子而為電極所收集，造成光電流增益。

APD 檢光器因具有相當大的增益，可提高其靈敏度，適用於高速及長距離光通訊系統，但 元件製作較難，且需相當大的逆向偏壓，亦造成接收器設計之不便。目前的應用範圍包括 海底電纜的鋪設系統、地面網路傳輸骨幹以及長程傳輸路徑、軍事用途及需高靈敏度的光學測試系統等。由於地球村的概念成形，加上價格逐漸下降，都是 APD 檢光器成長的契機。

#### 2-5-3 0°濾波片

如圖 2-17，主要目的為過濾接收端波長，提供符合接收端波長的光信號降低信號的誤碼率，EPON 應用於 ONU 端上，一般都使用 1490nm 的波長訊號為最普遍。

#### 2-5-4 45°濾波片

如圖 2-18，主要目的為過濾發射端波長以及調整光的路徑，EPON 應用於 ONU 端上，一般都使用 1310nm 的波長訊號最為普遍。發射端之雷射二極體發射光信號穿透 45°濾波片後，將 1310nm 的光信號導入光纖內，而在接收部分，1490nm 波長之光信號經由光纖發射後，因光信號之波段非濾波片能通過的波長範圍，因此在 45°濾波片上產生了反射，而改變了接收光之路徑，引導進入了檢光二極體內。

## 2-5-5 金屬粉末射出成形 MIM(Metal Powder Injection Molding)MIM

### 不鏽鋼本體

如圖 2-19，主要提供雷射二極體 LD(Laser Diode)，光感測二極體 PT(Pin Tia)，45°濾波片(45°Filter)，0°濾波片(0°Filter)等元件之固定的本體，因需結合多個光學元件功能於其中，其結構以及尺寸設計及加工穩定性都將容易影響傳輸的特性。因應雷射鍔接製程，一般材質上的選用，都是找含碳量較低之不鏽鋼，常用的不鏽鋼材質有 SUS316，SUS304 等，目前本體製作方式，因應設計方式的需求，一般使用車加工或金屬粉末射出成形兩種，以成本考量使用金屬粉末射出成形。

## 2-5-6 Z 軸調整環

如圖 2-20，主要目的為提供光纖跳線(或金屬連接座)與本體間的聯接固定，Z 軸調整環提供了光學 Z 軸上的自由度，與 XY 軸平面的耦光平面，當在空間上找到適當的耦光位置後，開始進行在本體與光纖跳線的雷射鍔接固定。

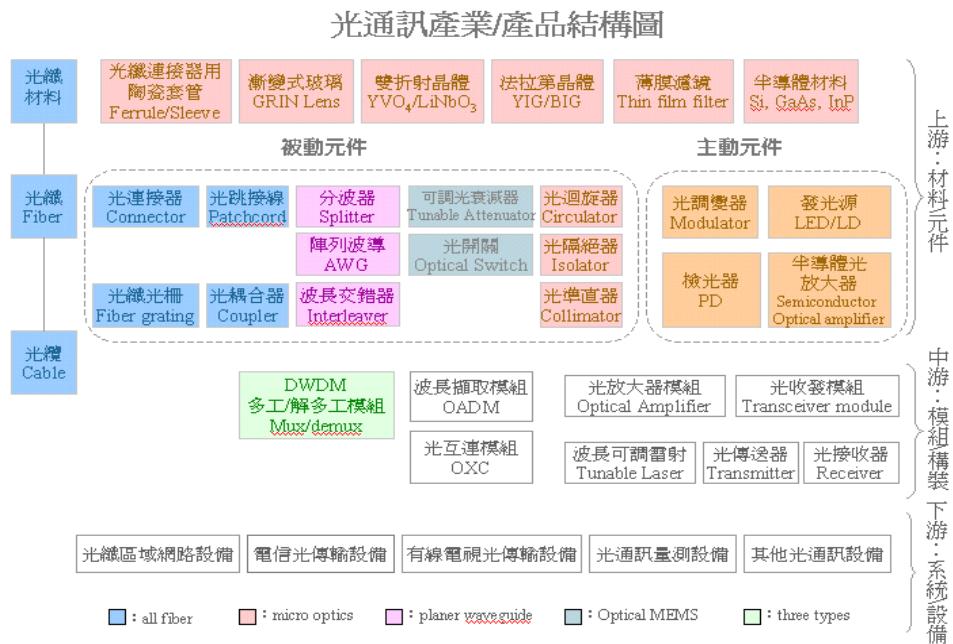


圖 2-1 光通訊產業/產品結構圖

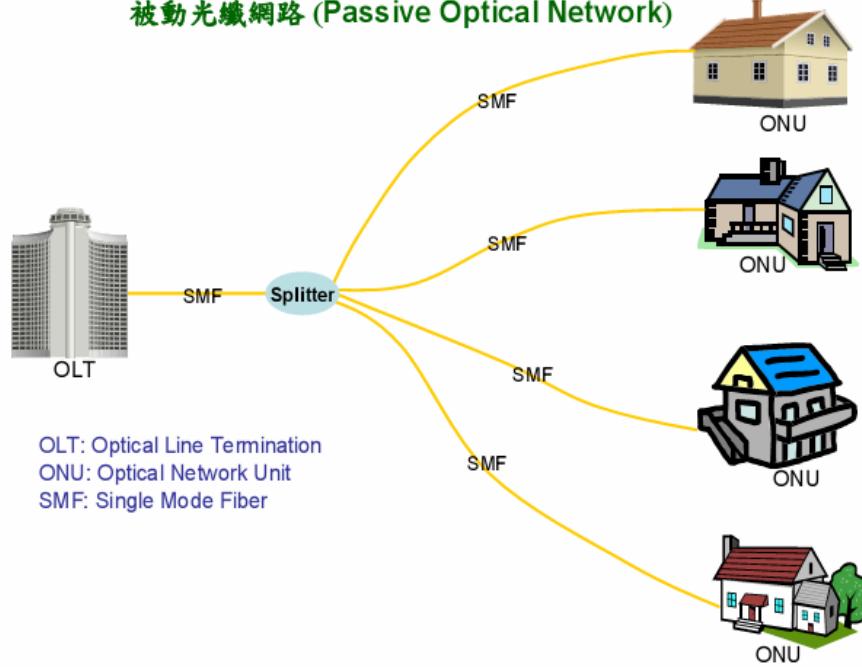


圖 2-2 被動光網路架構圖

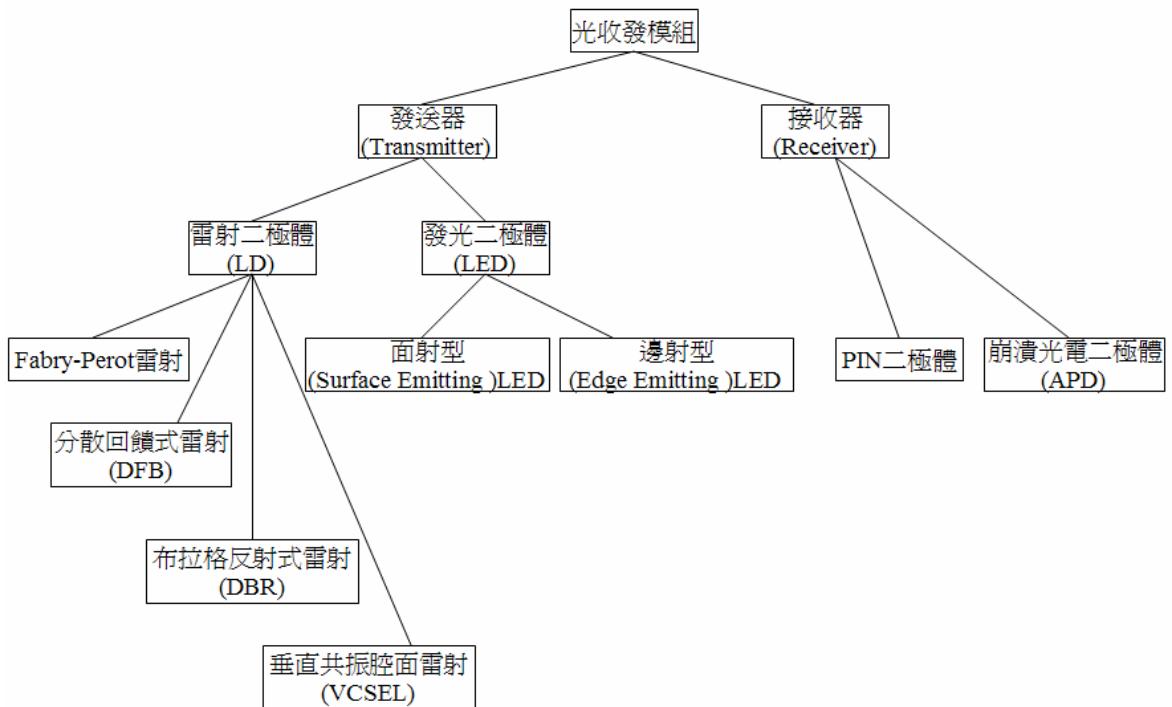
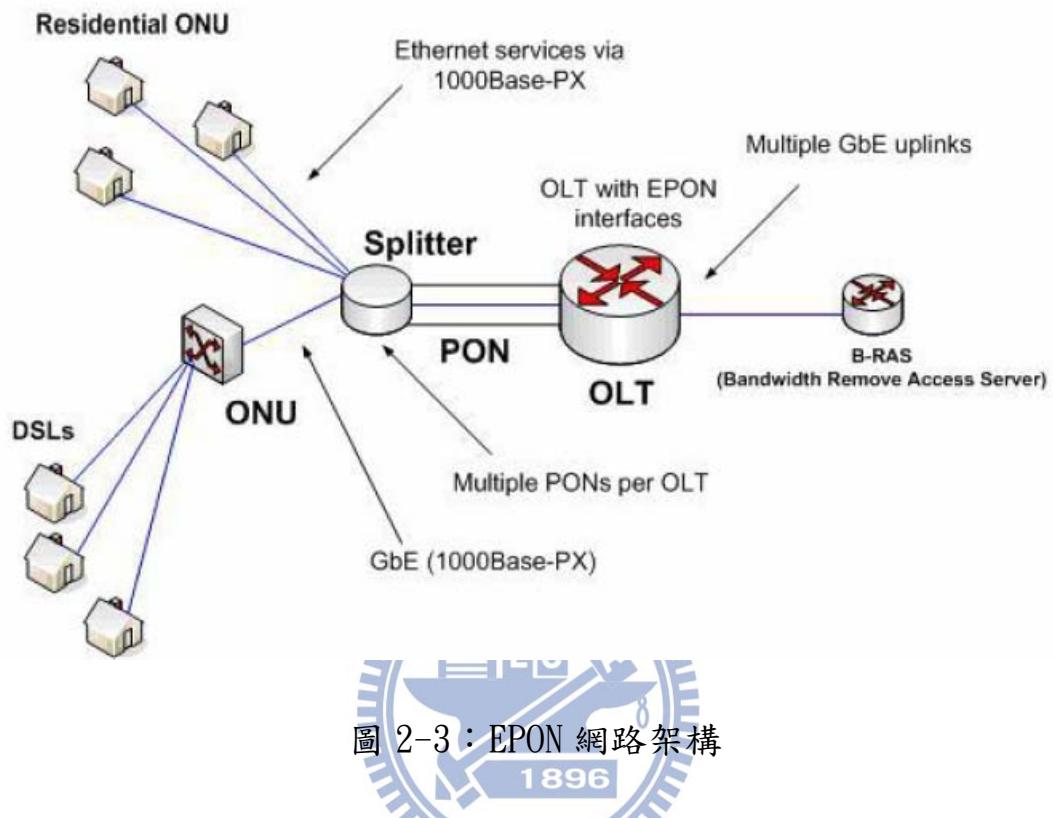


圖 2-4 光收發模組架構圖

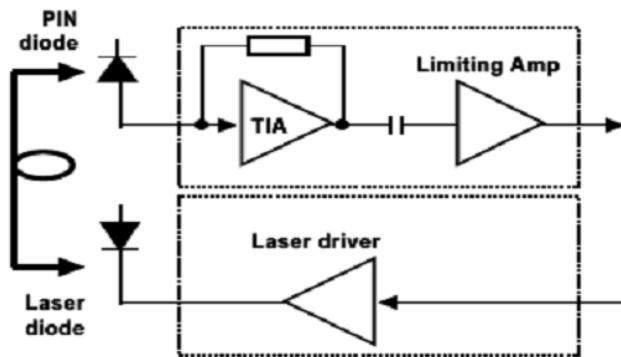


圖 2-5 光電訊號轉換模組方塊圖

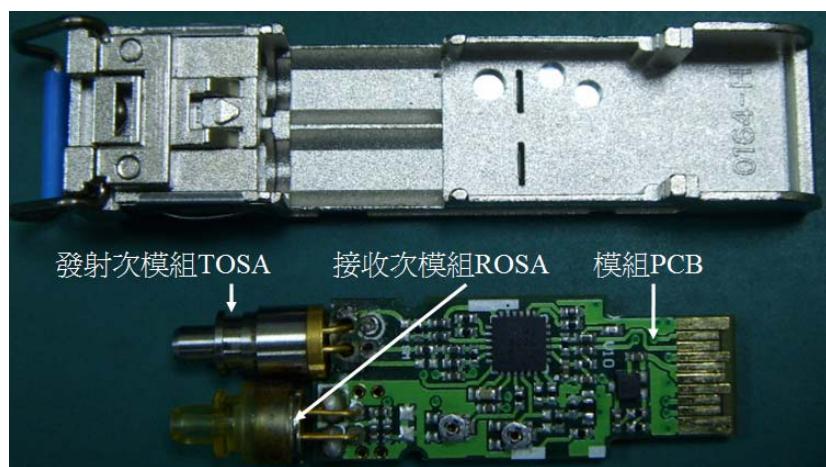


圖 2-6 光收發模組組合圖

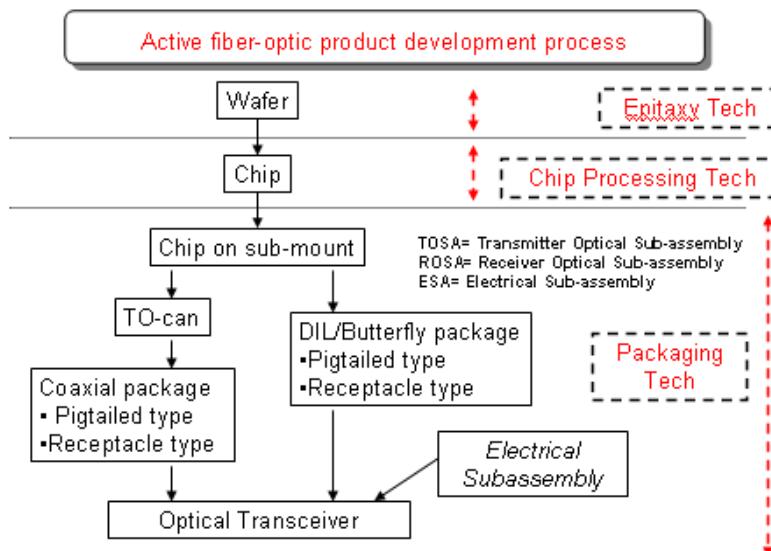


圖 2-7 光主動元件製程圖

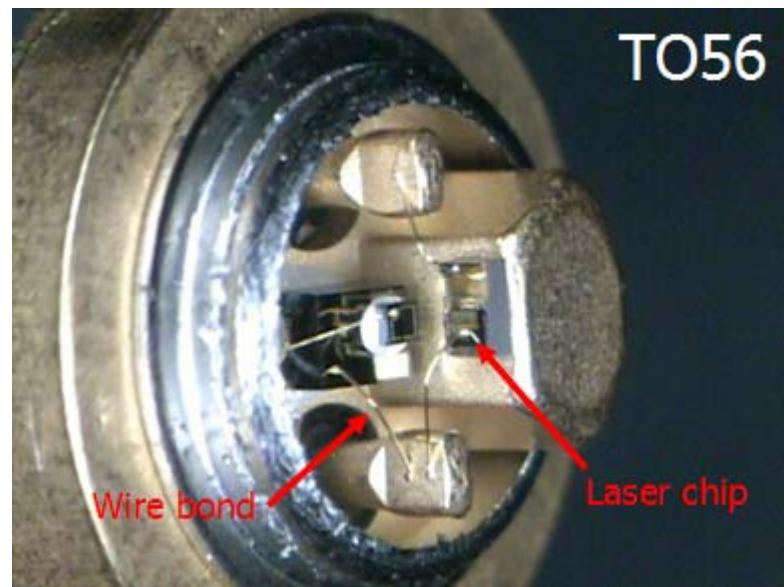


圖 2-8 光發射端 T056 封裝

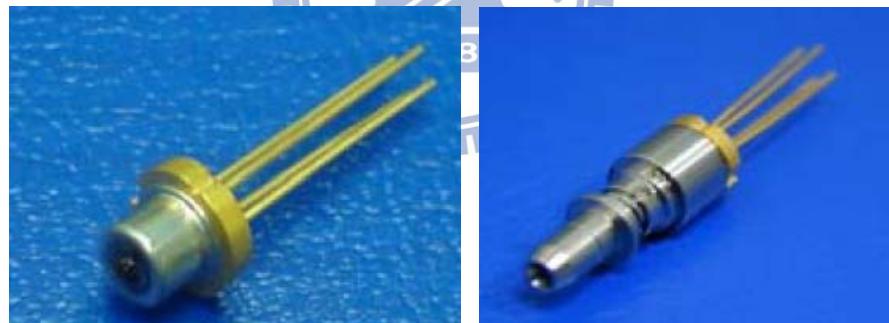


圖 2-9 T056

圖 2-10 光發射次模組(TOSA)

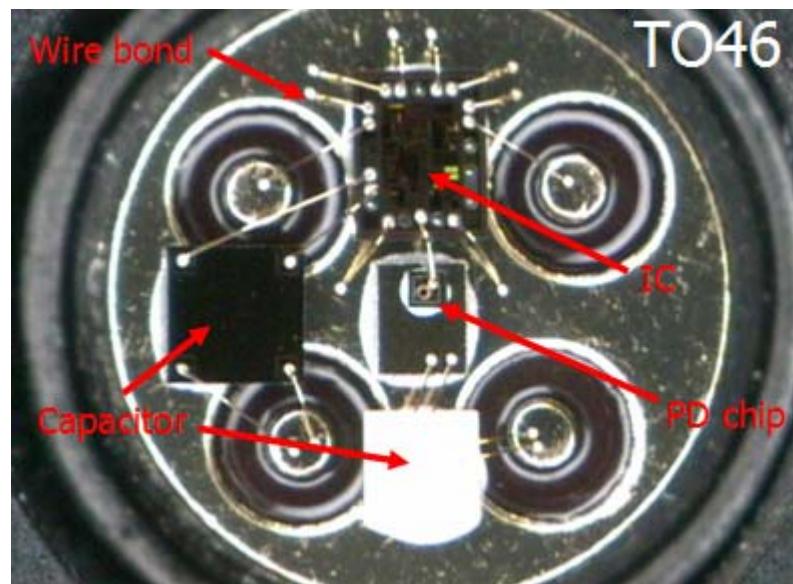


圖 2-11 光接收端 T046 封裝



圖 2-12 T046



圖 2-13 光接收次模組(ROSA)

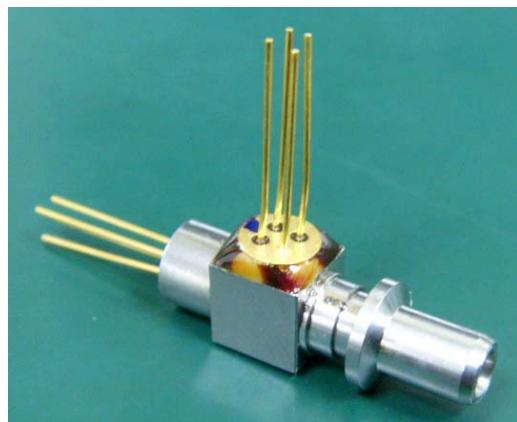


圖 2-14 光纖插座式 BOSA 外觀圖



圖 2-15 跳線式 BOSA 外觀圖

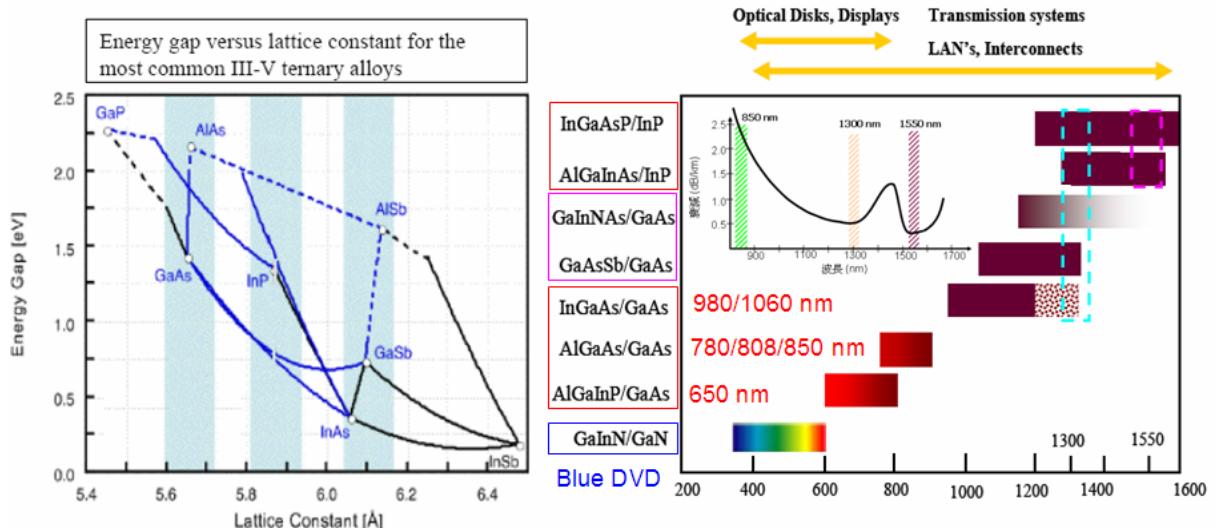


圖 2-16 Laser 的材料選擇

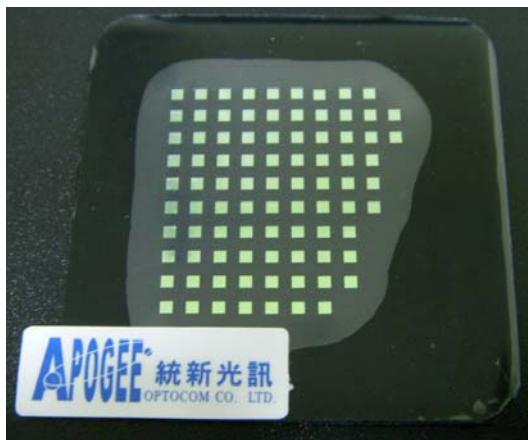


圖 2-17  $0^\circ$  濾波片

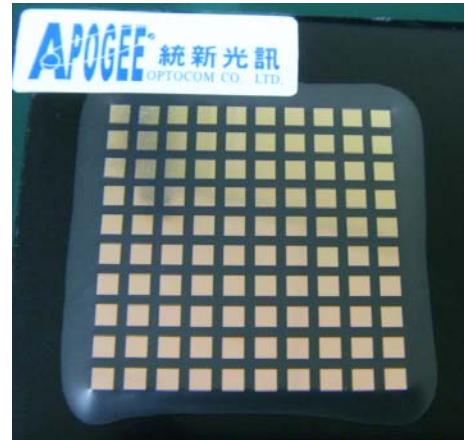


圖 2-18  $45^\circ$  濾波片



圖2-19 BOSA MIM不鏽鋼本體



圖2-20 光纖跳線與Z軸環

### 第三章 雙工次模組封裝與測試

#### 3-1 實驗設備

##### 3-1-1 雷射自動鋸接平台

選用和椿科技產品之AA-ASL-100型號，如圖3-1、3-2、3-3。雷射鋸接較傳統黏膠(adhesives)或軟鋸(soldering)方式，具有乾淨、鋸點小、自動化容易、可靠度高等優點，已成為單模光通訊元件封裝製程中最可靠的固定方式，是光通訊元件封裝技術中的一項關鍵技術。以往使用手動耦光工具把產品光功率調整到最大值後，再置入傳統雷射鋸接平台的手動焊接時代已慢慢過去，取而代之的是靠擁有程式化循光系統的雷射自動鋸接機，來增加產品產能與良率。

##### 3-1-2 光檢測二極體耦光調整治具

由光環科技自行開發設計，如圖3-4。主要提供光檢測二極體與光纖的耦光作業，除需具備X' Y' Z'三個軸向的調整及備良好的精度及穩定度外，尚提供 U. V光源使點膠封裝能順利進行。

##### 3-1-3 L-I-V(光-電流-電壓)測試系統

由光環科技自行開發設計，如圖3-5。L-I-V(光-電流-電壓)測試系統是量測發射元件其光-電流-電壓之間的量測，配以軟體控制掃瞄及讀數，可模擬元件在工作狀態下的特性變化情況，來判斷元件是否合乎所需要的規格。

##### 3-1-4 光衰減器(Optical Attenuator)

選用Agilent公司產品之8156A型號，如圖3-6。光衰減器是能對光功

率進行一定量衰減的器件。波長範圍1200-1650nm 光纖類型衰減範圍60dB 分辨率0.001dB重複性(典型值  $\pm 0.005\text{dB}$ ) 轉換時間 20-400ms 最大輸入功率+23dBm。

### 3-1-5 光功率計(Power Meter)

選用Anristu產品之5P200型號，如圖3-7。在光纖系統中，測量光功率是最基本的，用於測量絕對光功率或透過一段光纖的光功率相對損耗，透過測量發射端連接受測端來達到功率的量測。

### 3-1-6 UV紫外光照射器

選用HAMAMATS公司產品之Lightningcure 200型號，如圖3-8。主要提供 UV 紫外光照射，作為 UV 膠點膠製程固化用途。

### 3-1-7 誤碼儀

選用Anristu產品之MP1632C型號，如圖3-9。以標準光源輸出配合光衰減器，透過 PCB 輸出之 RF 信號用以量測光信號及時脈接的誤碼率，誤碼率計算公式可參照圖3-10。

### 3-1-8 程式化高低溫循環測試機

選用天宜科技產品之TTC-C4UP-Q型號，如圖3-11。主要模擬在經多次的高低溫循環(T/C，Temperature Cycle)的環境後，確保元件組裝結構及元件特性仍能保持原來的水準。

## 3-2 實驗條件與方法

### 3-2-1 前段組立作業：

(一) 45°濾波片(45°Filter)上膠作業

使用設備：鑷子、353ND 膠、10倍顯微鏡。

1. 用牙籤沾些許 353ND 膠，並在箭頭所指位置點上適量的膠(如圖 3-12)。
2. 將  $45^\circ$ Filter 用鑷子夾起並反向將 HR Coating 面朝上，再將  $45^\circ$  Filter 放進 U 型槽內，再將  $45^\circ$ Filter 用鑷子推進 U 型槽底 (如圖 3-13)。
3. 用剪斷的棉花棒在 Filter 的正中央向下輕壓一下，以使Filter 貼平 (如圖3-14)。
4. 將整個黏好 Filter 的Boay放在定時恆溫烤箱 (如圖3-15) 中，烘烤  $110^\circ\text{C}/0.5$  小時。

5. 烤完必須在10倍顯微鏡下檢查 Filter 是否有翹起，以及有明顯髒汙或沾膠 (如圖3-16，圖3-17，圖3-18)，如有髒污，則用棉花棒沾酒精擦拭。

## (二) $0^\circ$ Filter 上膠作業：

使用設備：鑷子、353ND 膠、10 倍顯微鏡。

1. 用牙籤沾些許 353ND 膩，並在箭頭所指位置點上適量的膠 (如圖 3-19)
2. 將  $0^\circ$ Filter 用鑷子夾起並反向將 AR Coating 面朝上，在將  $0^\circ$  Filter 放入凹槽內 (如圖3-20)。
3. 用剪斷的棉花棒在 Filter 的正中央向下輕壓一下，以使Filter 貼平 (如圖3-21) 開槽。

4. 將整個黏好 Filter 的不鏽鋼本體放在烤箱中，烘烤  $110^{\circ}\text{C}/0.5$  小時。

5. 烤完必須在10倍顯微鏡下檢查 Filter 是否歪斜，髒污、 刮傷或溢膠的情形（如圖3-22，圖3-23，圖3-24），如有髒污，則用棉花棒沾酒精擦拭，如溢膠過於嚴重，有擋住光路徑之虞，則需重工。

(三) T056 壓入 Body： 使用設備：手壓台、鉤壓上下治具。

1. 先用沾酒精的擦拭紙擦拭 Ball lens，再將 LD T0放入上治具中（如圖3-25）。

2. 將不鏽鋼本體放進下鉤壓治具（如圖3-26），上下件進行對位鉤壓即完成（如圖3-27）。

3. 在 T056尾部與不鏽鋼本體的落差角落處補黑膠（如圖3-28），然後放到烤盤上以 $100^{\circ}\text{C}$ 烘烤 0.5小時固化。

3-2-2 發射端T056封裝作業：

使用設備：自動化雷射焊接平台、Power meter、Current Source、測試線、Socket。

1. 先把 Power Supply 的 output 電源關掉， 再將Body 上的 LD 插上 Socket 電源線。Power Supply 設定：電壓為 3.3V；電流為30ma（如圖3-29）。

2. 先將Body (PT孔位方向朝) 裝入自動耦光下治具中（如圖3-30），再將 Body 往下壓緊，最後轉動螺絲鎖緊固定（如圖3-31）。

3. Pigtail 插入自動耦光下治具中，然後將SUS Ferrule的向入耦光上

治具中，打開氣動開關上固定鎖緊（如圖3-32）

4. 觀察監控畫面（如圖3-33），讓上治具緩緩降下，把 Power Supply 的 output 電源打開，並開始程式化耦光。若Power 值未能達到標準1.2mw 以上時，則鬆開 Pigtail 旋轉90°依序 180°、270°以最大的Power值時，程式儲存該相對位置的位置。

5. 拉高上治具，將 Z 軸套圈套入金屬Ferrule後，呼叫出前一步驟所紀錄的相對位置，使Z軸（如圖3-34）回到光功率最大的位置。

6. 將雷射槍對位之十字線，對準Z軸環外徑最薄處，每隔高度0.5mm發射一次，共鋸接3次（如圖3-35），以定位Z方向。

7. 因治具上下挾持仍有些許誤差，此時Z環底部平面與Body面可能會有間隙，因此進行呼叫自動平面貼合程式，調整耦光治具的相對平面，貼合程式利用X方向與Y方向角度傾斜補正，來找到兩平面最平整的角度（如圖3-36）。



8. 因經過貼合作業後，程式紀錄的最大功率的位置已不再適用，所以需重新進行程式XY平面耦光作業，將光功率重新耦合到最大，( $\geq 1.2\text{mw}$ )，確認光功率達到標準後（如圖3-37），進行Z環與Body之間的鋸接固定。

9. 將雷射槍對位的十字線，準確對準Z軸環與Body的接縫處，每隔15°發射雷射進行鋸接，發射順序為0°，逆時針15°，順時針30°。因鋸接設備上共有三隻Laser Beam相且彼此間隔120°，因此發射三次共打9點固定（如圖3-38）。

8. 觀察固定好Z軸及XY方向的半成品（如圖3-39）之光功率，是否合乎1.2mw以上之規範後，再取出發射端之Pigtail BOSA半成品。

### 3-2-3 檢光二極體T046封裝作業：

使用設備：示波器 100M、Power Supply、光源、耦光 治具、衰減器、測試線

1. 將T046的接地腳對準 SOCKET的孔位插到底部，確認貼平、無縫隙。  
然後用擦拭紙沾酒精清潔T046上的Ball Lens(如圖3-40)。
2. 將Pigtail半成品置入另一頭的卡溝治具固定（如圖3-41）
3. 打開 Power Supply 的電源（如圖3-42），然後開始耦光調整到最佳值（調整波形接觸到基準線）（如圖3-43）。
4. 在T046上依圖3-44箭頭方向所示點上三點膠，點UV膠後完後，再把UV光治具套進Pigtail半成品之夾具上（如圖3-45）來進行UV光的照射，其照射時間30sec即可完成假性固定（照射過程中需確認波形沒有跑掉）。
5. 將T046與Body間填滿黑膠且排列於治具上（如圖3-46），上膠量需注意適中，並烘烤 110 °C/ 1 小時。
6. 檢查項目:Pigtail跳接線及BOSA整體外觀檢查，pin腳檢查，黑膠外觀檢查，光纖長度檢查，完成組裝作業。
7. T/C高低溫環測，將Pigtail BOSA完成品送入高低溫循環測試機中，以高低溫(85 °C ~ -40 °C)作循環，且在最高溫及最低溫度各停留20分鐘的測試條件下，進行15次的溫度循環測試。

### 3-3 測試作業

#### 3-3-1 接收端靈敏度(Sensitivity)測試：

目的：靈敏度(Sensitivity)的主要為測試光訊號還原成電訊號的能力。

使用設備：誤碼儀、Power Supply、光源組、測試板、可調式衰減器、測試線、光功率計。

1. 先將可調式光衰減器的輸出與光功率計作衰減值的校正。
2. 將光收發次模組之接收端T046的金屬腳位插入測試機板中，並將Pigtail端插入光源組內，以接收光信號。
3. 打開電源，監看誤碼儀是否呈現是無誤碼狀態(無誤碼狀態需維持30秒鐘才算通過)。
4. 將可調式光衰減器每隔0.1dB作一次誤碼值檢驗(如圖3-47)，直至該光衰減器的數字經誤碼值檢驗後，沒有出現誤碼，該值即為靈敏度(Sensitivity)數值。

### 3-3-2 發射端L-I-V(光-電流-電壓)測試：

目的：L-I-V測試主要為測試電流-電壓對應發光功率的關係，於產品進高低溫測試前後量測一次，比較前後差異來篩選良品。

1. 首先將標準的光源，使用光功率計作光功率的量測，並校正LIV測試系統。
2. 將發射端T056 T046的金屬腳位插入測試盒的Socket上，並將Pigtail端插入LIV系統之收光模組的接頭上，以便LIV系統接收光信號，來轉換輸出成電氣訊號，來量測產品特性。
3. 在LIV系統監控畫面(如圖3-48)，讓程式判斷量測結果是否與設定規格相符，量測完按下儲存，NG與良品分開擺放，即完成LIV量測。

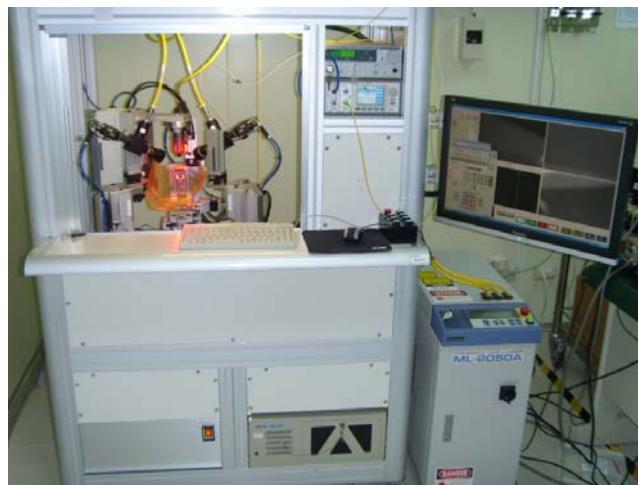


圖 3-1 雷射鍛接設備



圖 3-2 YAG 雷射機

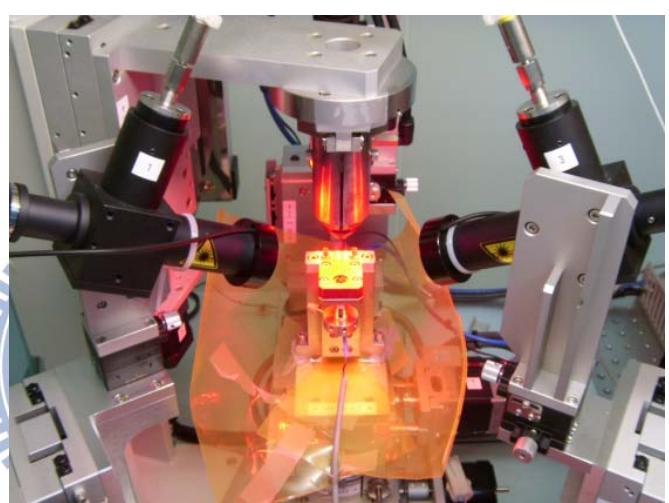


圖 3-3 程式自動化雷射鍛接平台

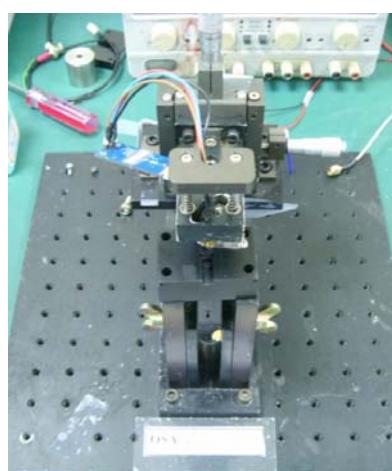


圖 3-4 光檢測二極體耦光調整治具

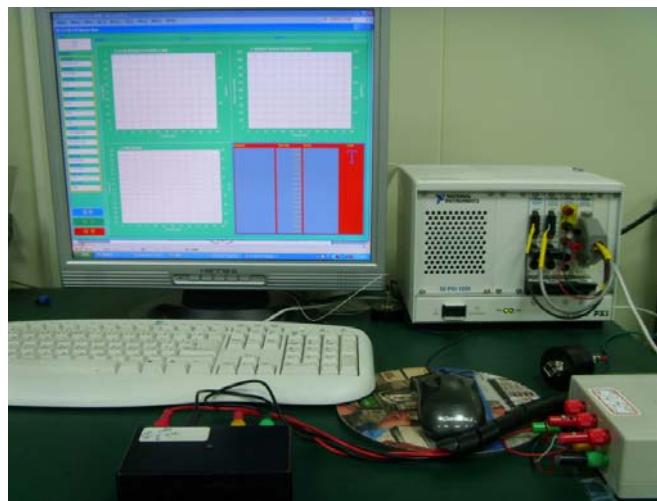


圖3-5 L-I-V(光-電流-電壓)測試系統



圖3-6 光衰減器

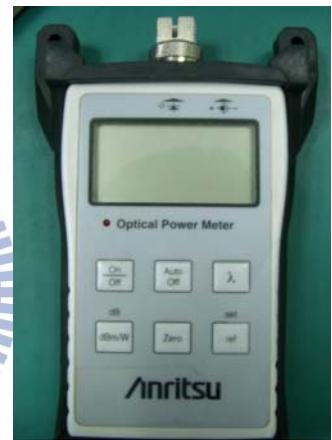


圖3-7 光功率計



圖3-8 UV紫光照射器

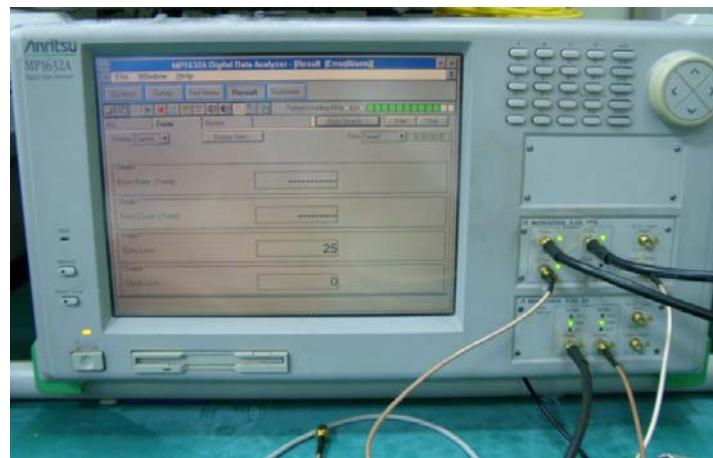


圖 3-9 誤碼儀

$$\begin{aligned}
 \text{BER} &= \frac{\text{Number of bits received in error}}{\text{Number of bits received}} \\
 &= \frac{\text{Error Count in Measurement Period}}{(\text{Bit Rate}) \times (\text{Measurement Period})}
 \end{aligned}$$

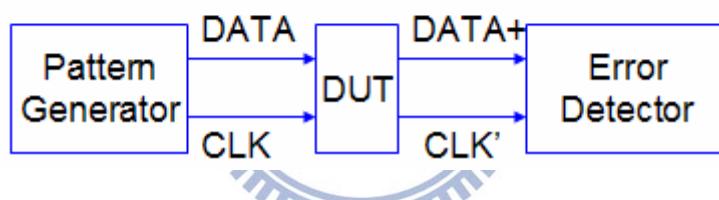


圖 3-10 誤碼率計算公式



圖 3-11 程式化高低溫循環測試機



圖3-12 45°Filter上膠

圖3-13 45°濾波片置入與定位

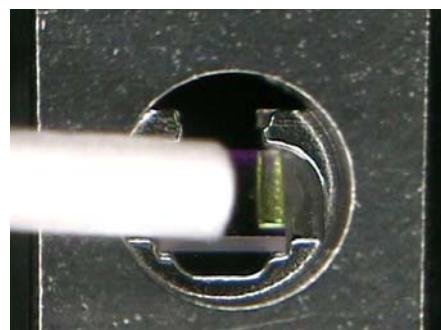


圖 3-14 45°濾波片輕壓平貼



圖3-15 定時恆溫烤箱

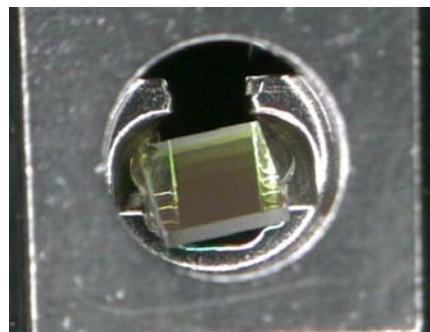


圖 3-16 Filter 翹起或歪斜

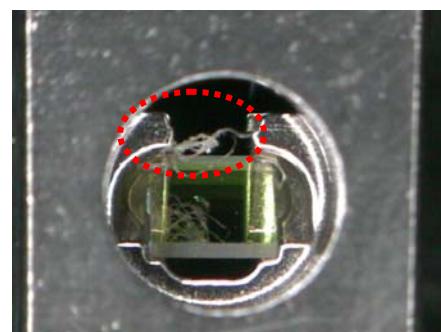


圖 3-17 Filter 髒污



圖 3-18 Filter 沾膠污染

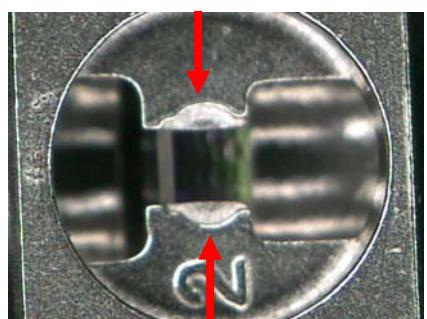


圖 3-19 0°Filter 上膠

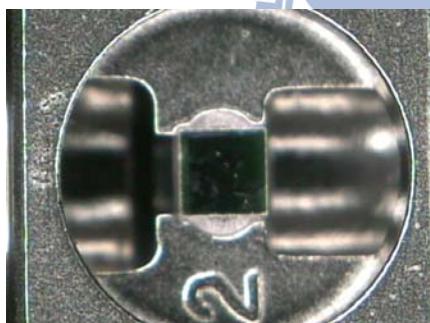


圖 3-20 0°Filter 置入與定位

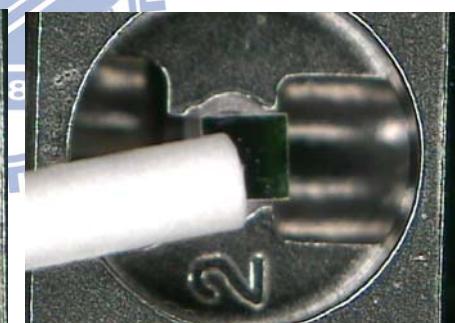


圖 3-21 0°Filter 平放



圖 3-22 0°Filter 歪斜



圖 3-23 0°Filter 髒污、刮傷

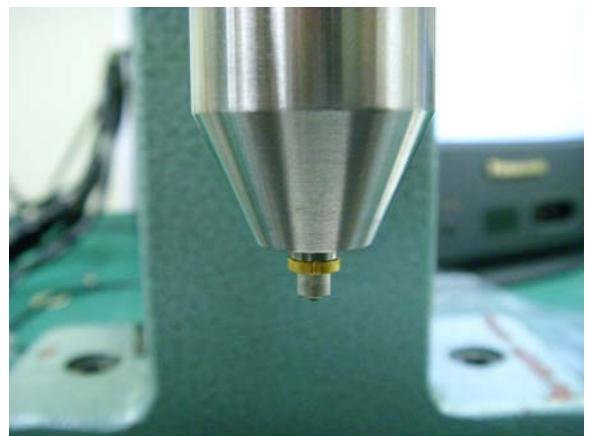
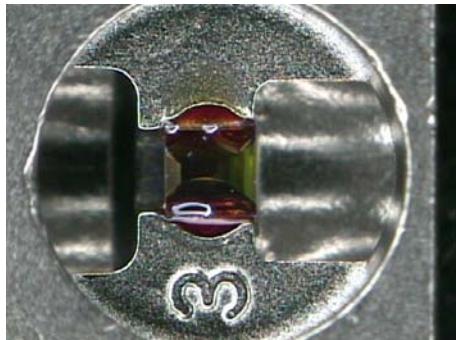


圖 3-24  $0^\circ$ Filter 溢膠      圖 3-25 T056 針腳對位置入上壓頭治具

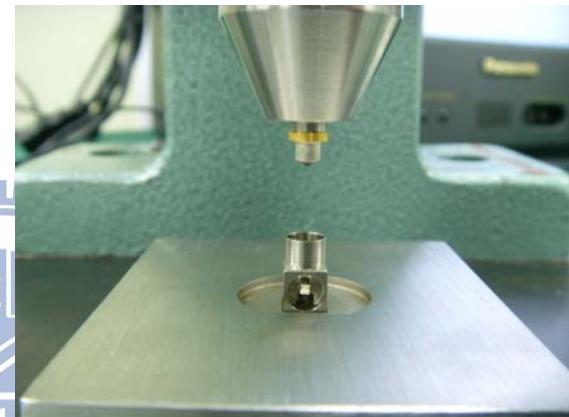
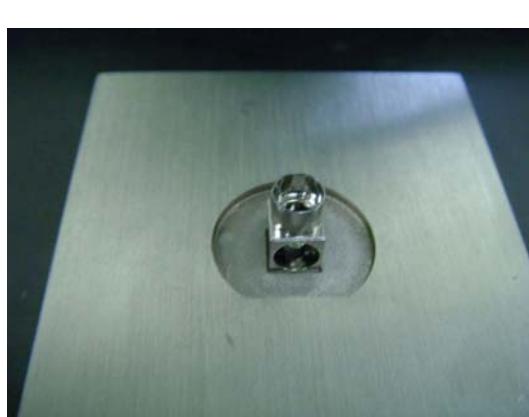


圖 3-26 Body 置放下鉤壓治具      圖 3-27 目視上下工件對位

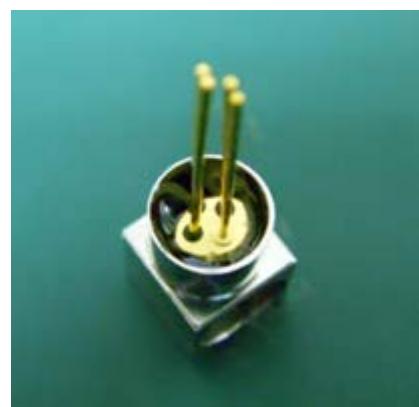


圖 3-28 不鏽鋼本體補滿黑膠



圖 3-29 Power Supply

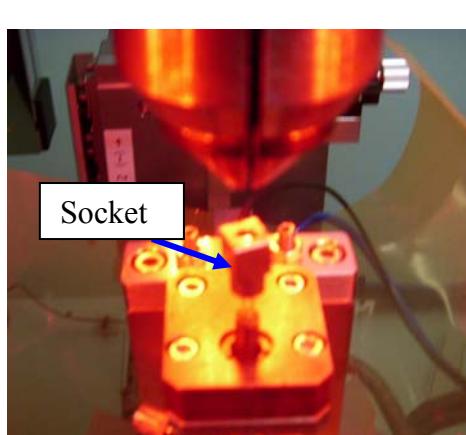


圖 3-30 自動耦光下治具圖



圖 3-31 下治具旋轉鎖緊

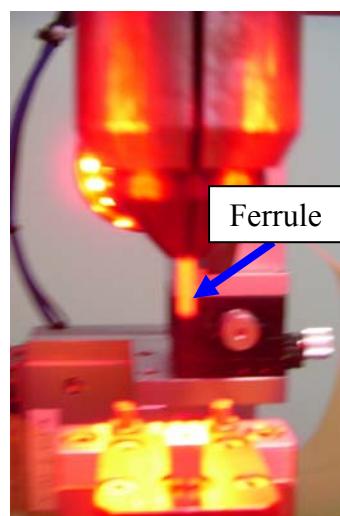


圖 3-32 上治具氣壓開關固定

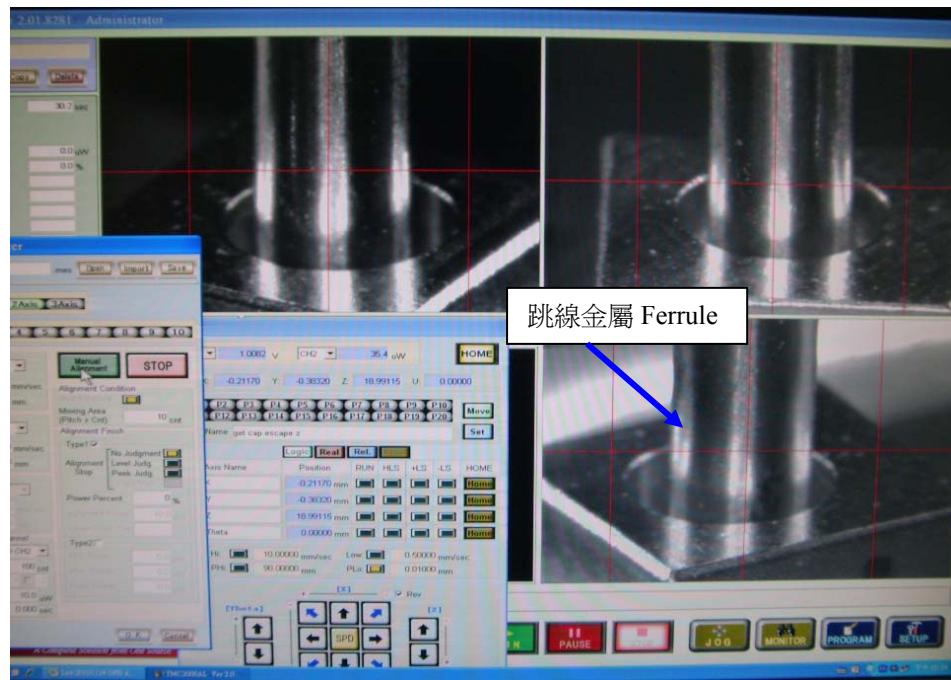


圖 3-33 耦光監視程式畫面

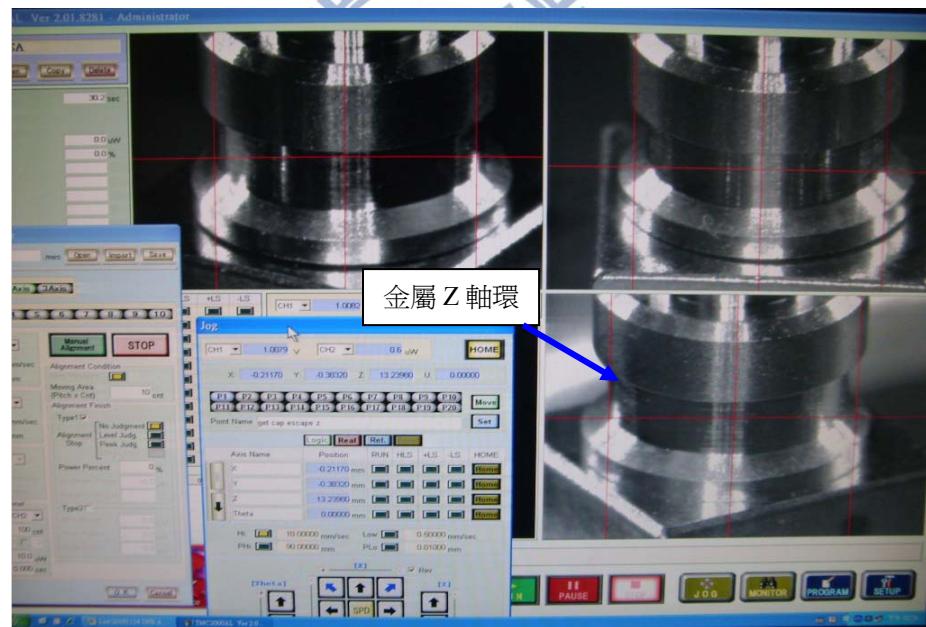


圖 3-34 Z 軸套圈套入金屬 Ferrule

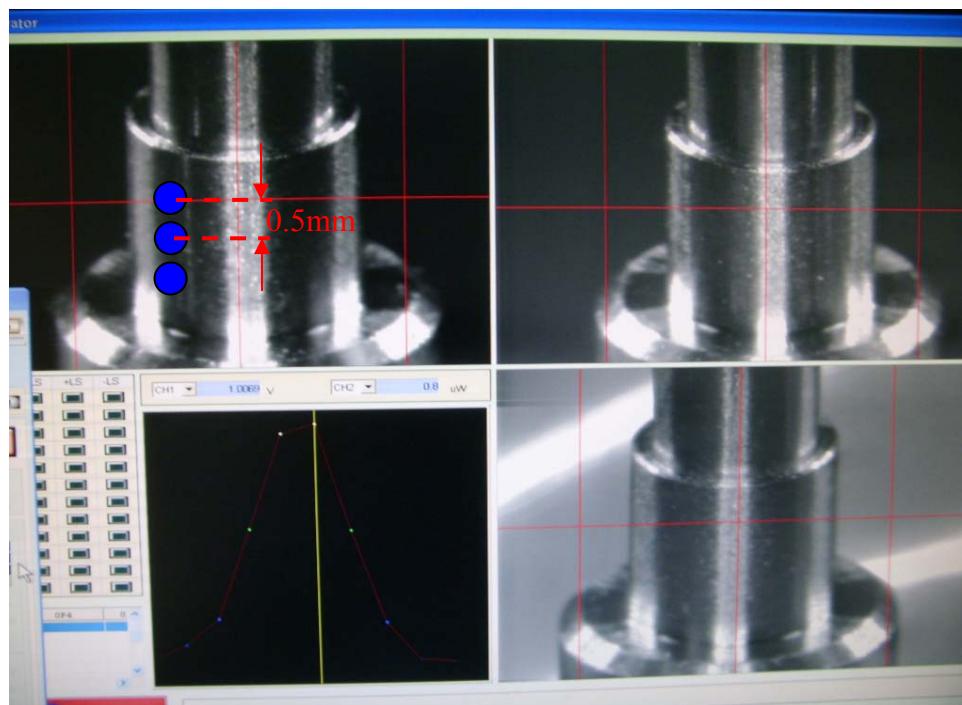


圖 3-35 Z 軸環銲接位置

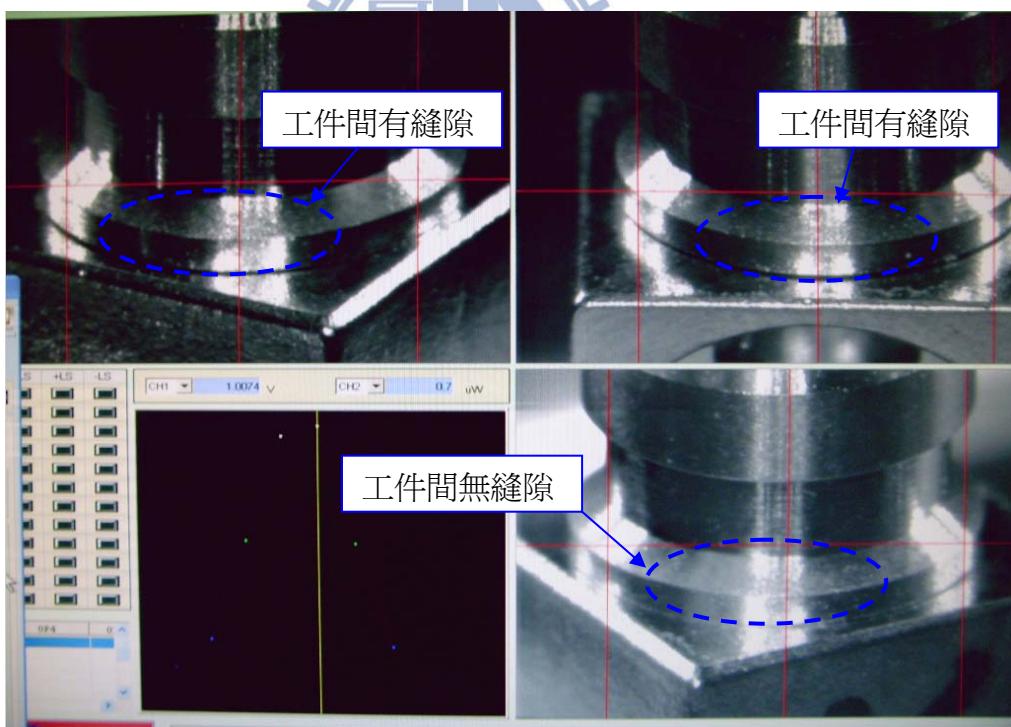


圖 3-36 工件平面貼合

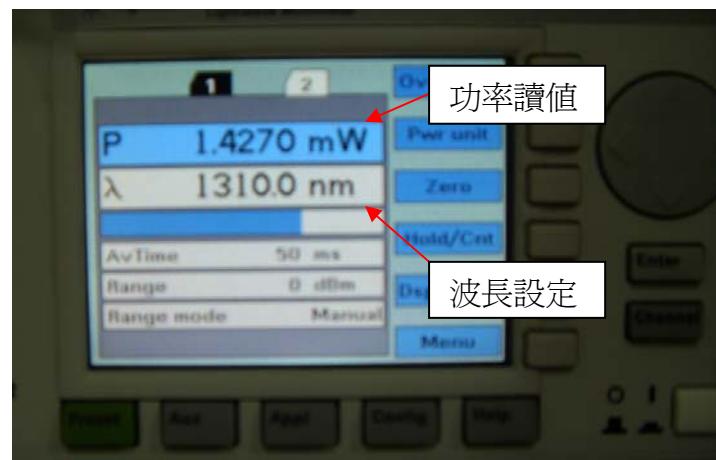


圖 3-37 耦光機光功率讀值

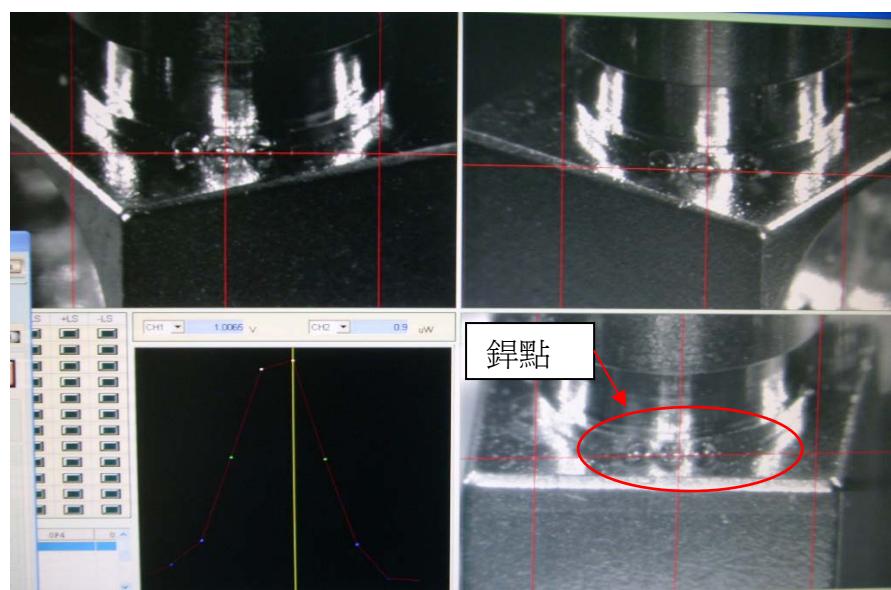


圖 3-38 XY 平面鉗接



圖 3-39 Pigtail BOSA 半成品

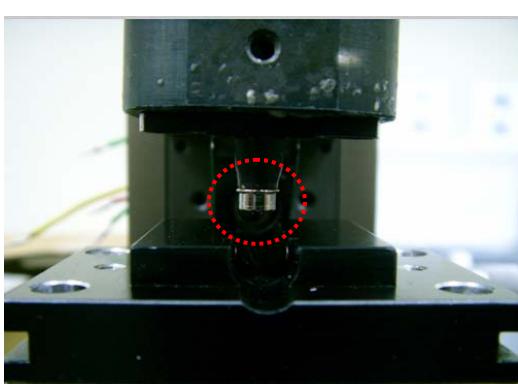


圖3-40 T046對位置入上治具

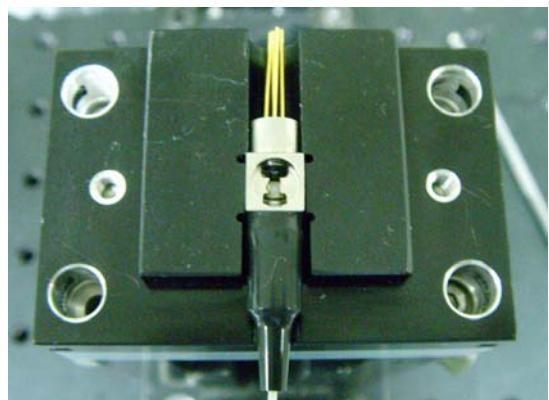


圖 3-41 不鏽鋼本體置入治具



圖3-42 啟動電源供應器

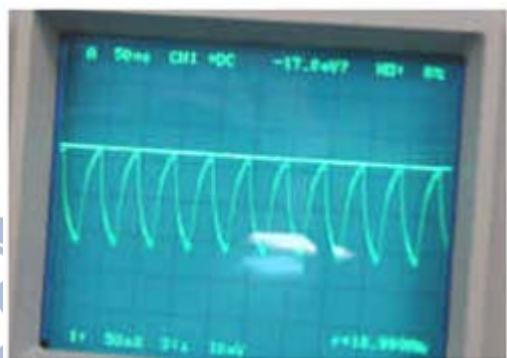


圖3-43 檢視示波器

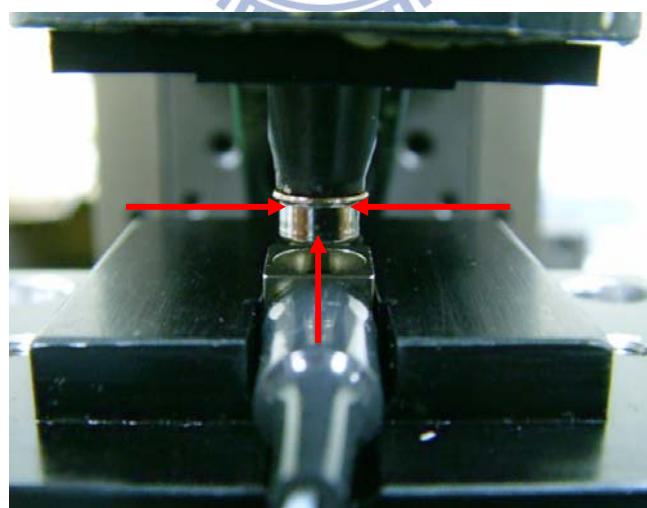


圖3-44 T046上三點UV膠

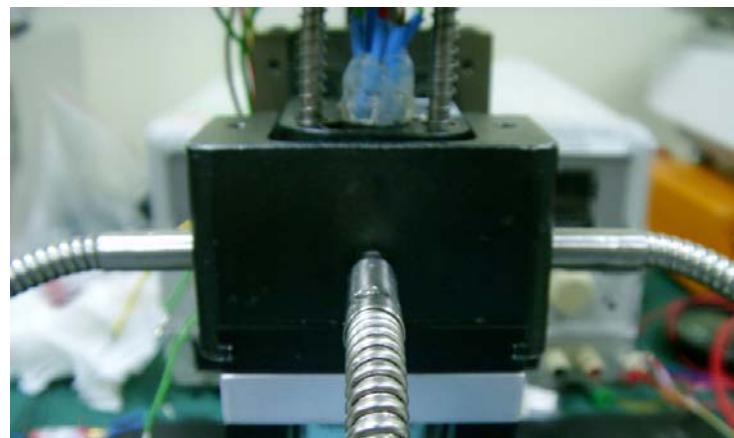


圖3-45 套上UV照射治具

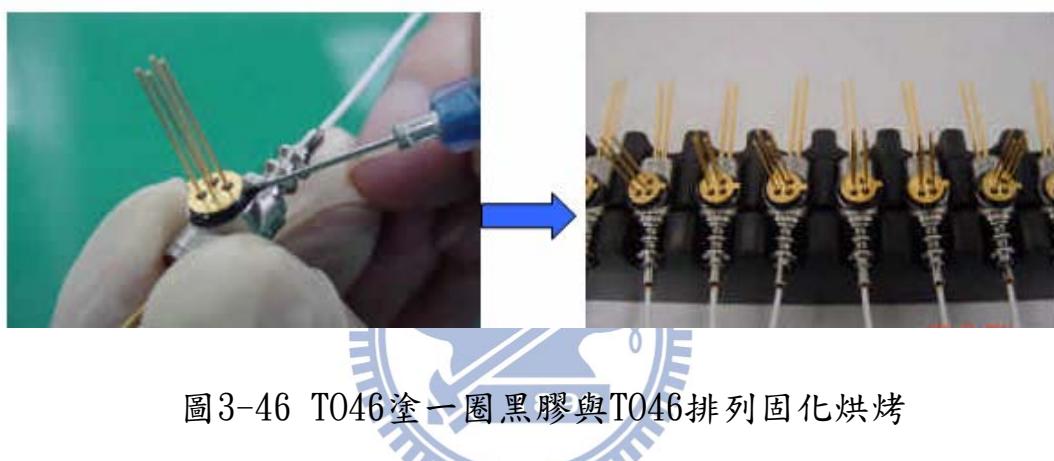


圖3-46 T046塗一圈黑膠與T046排列固化烘烤

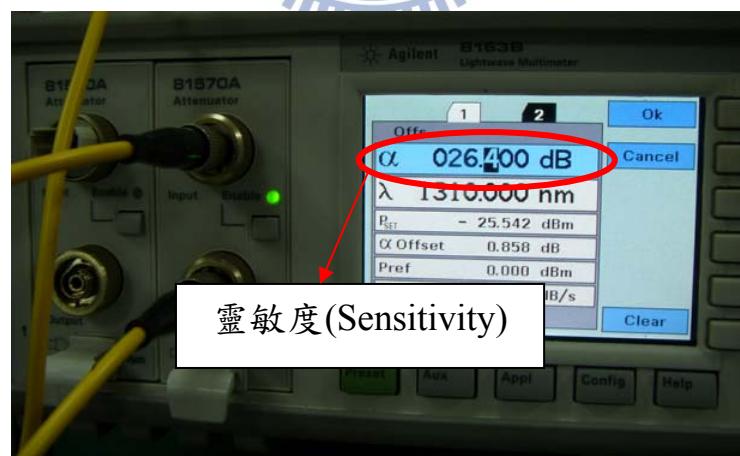


圖3-47 可調式光衰減器調整靈敏度

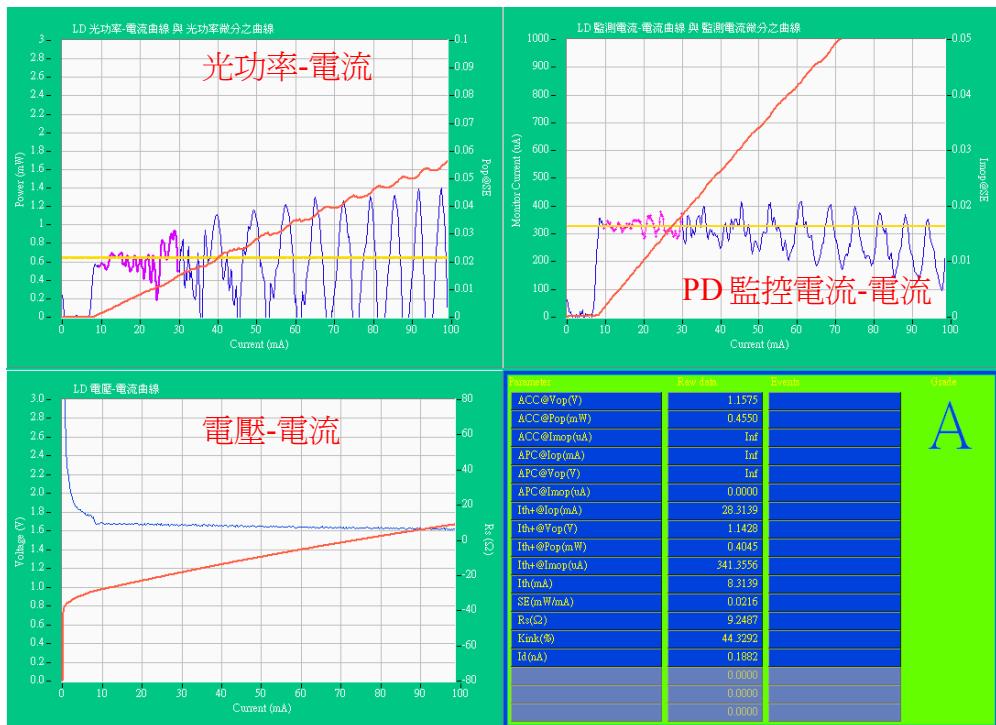


圖 3-48 LIV 系統特性量測畫面



## 第四章 實驗原理與光學模擬

### 4-1 光收發次模組原理

本文實驗用的BOSA組成零件（如圖4-1）主要由光纖跳接線端（含 Fiber，Sleeve，SUS tube，Fiber stub）、雷射二極體 LD(Laser Diode)、光感測二極體 (PIN-TIA)、45°濾光片 (45° Filter)、0°濾光片 (0° Filter) 和 BOSA 本體 (Body) 所組成。其中雷射二極體由一個 T056 封裝的半導體雷射和球形聚光透鏡組成。感測二極體組件同樣由 PIN-TIA 和球形聚光透鏡T046封裝而成。

一般的T0罐型封裝模組，光路是由雷射光，經過透鏡後聚焦耦合至光纖並有部分光量設計由檢測器接收；相較之下，光收發次模組以分波多工形式的發送信號就複雜的許多，發送訊號時，雷射二極體發出所需波長光信號，經由聚光透鏡將光束由發散變為會聚。經45°濾光片具有波長選擇功能，發射雷射光信號能幾乎無損透過並聚焦至光纖端。合適的光路設計能使聚在光纖端的光束與光纖的模式匹配，從而能以較高的效率耦合進光纖纖芯並傳送至遠方接收裝置。當BOSA 接收信號時，光纖端傳來加載訊息的雷射光信號。離開光纖後，光束開始發散。經由45°濾光片反射後，光束改變方向，再由 0°濾光片過濾和T0上的透鏡聚光。最後被光感測二極體接收，將光訊號轉換成電氣訊號至模組電路。在通過特定的電路放大和處理後，則能讀出加載訊息，實現信號接收之功能。收發之光信號路徑如圖4-2所示。

### 4-2 雷射光源基本原理

在光纖系統中有兩種光源最常被使用，即發光二極體 (LED) 與注

入雷射二極體 (LD)，形成雷射的三大要素(圖4-3)，為pumping source，gain medium and resonant cavity。雷射光源由其表面向四面八方輻射能量，由能量之分佈而得控制其特性。光源一般依其輻射分佈可分為兩種型式，即藍伯特 (Lambertian) 光源和平行 (collimated) 光源。若從每個不同光源元件全方位的輻射光波此即謂“藍伯特光源”，表面輻射的發光二極體 接近藍伯特光源。若光源輻射只有垂直於其表面的某一範圍角度謂之“平行光源”。氮氛雷射即屬此類光源。

煙霧偵測器器和電力面板指示紅色燈為發光二極體。此名稱十分貼切，其由半導體諸如砷化鎵加入部份原子雜質(以增加導電度)製成。其電流之載子可為電子或電洞。物質中之電子為主要載子流者謂之n型物質，電洞為主要載子流者謂之p型物質。一二極體是由n型與p型緊鄰而結合而成，參見圖4-4簡單的半導體雷射結構。兩者間之界面謂之接面(junction)。當電壓加於接面兩端，半導體導通，則藉由電子與電洞之結合而發射光，此輻射進近似所謂之結合輻射。輸出光之量與電子-電洞對結合數目(此正比於二極體電流)成正比。因此，一發光二極體的光輸出功率-驅動電流曲線將是一直線，參見圖4-5。發光二極體之輻射波長與n型物質之電子和p型物質電洞之能量差有關。輻射束寬較雷射二極體為寬。發光二極體與注入雷射二極體有相同的基本架構，然實際上注入二極體較複雜。

雖然注入雷射二極體的結構較發光二極體複雜，但於簡化考量與基本操作原理，兩者是相同的。電流藉由偏壓於二極體上而注入電流。然而電流密度注入二極體大於發光二極體。取代發光二極體之電子-電洞對之自發性結合，注入二極體為激發性的巨大電流，產生一更有效率的窄頻寬輸出。此程序謂之激發發射(Stimulated

emission)。注入二極體之光輸出功率-驅動電流曲線與發光二極體不同，其電流在雷射產生前有一門檻值需先達到發有光產生。然後，超過門檻值，輸出對電流響應增加迅速。激發程序經由半導體表面而加成，此表面提供一部份反射鏡之功能將雷射輸出再導入接面區域。此鏡面亦使注入雷射二極體輸出部份同步，然接面邊緣附近光會有繞射現象，此形成光有一扇形輸出，其發散角度典型為 $15^\circ \times 30^\circ$ 。雷射之發散角度與接面平面垂直。

雷射二極體與發光二極體之不同在於雷射光具有下列之特性：

### 1. 近乎單色光

雷射產生之光具有很窄的波長範圍，其幾近單色光；亦即是單一波長光，與發光二極體相較，雷射光在光譜寬度的範圍並非連續，而是所發出之波長個別分佈在中心波長的兩側。

### 2. 同調性

光波長相同，即在整個正弦波週期內上升及下降均發生在同一時間。

### 3. 高指向性

所發出的光是一個具有少量發散的高指向性圖形。

表5-1提供了發光二極體與注入雷射二極體特性之主要比較。光纖系統之輻射極化性與所選用之光源型式有關。其偏振性通常由光源之結構細節決定。發光二極體輸出為散亂的偏振性，然注入二極體之極化方向與p-n接面之平面平行。光源之偏振性可經由在光源前加裝一偏振片，然後觀察偵測器的輸出而得之。當偏振片旋轉時，線

性偏振光會顯示較大的變異性；而雜亂偏振或圓偏振則有較小甚或無變異。區別圓偏振或雜亂偏振需要使用另一元件波片(wave plate)。

另有其它光源可考慮使用於光纖系統，諸如：陽光、鎢絲燈、螢光燈等。然而大部份光源為擴散光源，表其有較上述討論之發光二極體與注入雷射二極體較大之發射區域。為引入此種光源進入光纖系統需先將此光源聚焦再饋入光纖系統。

平常，一光強度的角度分佈可以下式表示：

$$B(\theta) = B_0(\cos\theta)^m \quad ; \quad \theta < \theta_{\max} \quad (1)$$

其中  $\theta_{\max}$  是垂直光源的最大輻射角度，可由光源幾何特性決定之。對一擴散光源， $m=1$ 。對一平行光源， $m$ 值非常大。對一內介質的例子，光源可被稱為「部份平行光源」。注入二極體 是一特例。於一扇面輻射場型，注入二極體遠場輻射分佈典型的角度為 $15^\circ \times 30^\circ$ 。圖4-6顯示 $m=1$ （典型的發光二極體光源），另一為 $m=20$ （典型的注入二極體光源）在極座標下之輻射場型的特性。

### 4-3 雷射光源與光纖的耦合

對任一光纖系統而言，主要目的為於最低損失考量下，引入更多能量進入系統。此允許於系統中使用較低功率的光源，以減少成本和增加可靠度，因光源是不能操作於靠近其最大功率之值。光纖系統中，必須考慮光源之發射輻射之方向，因輻射將被收集和聚焦進入光纖系統。光源之角度可從無向性(isotropic：對任一方向等量輻射)，至調節性(collimated：對單一放向輻射)。

光能量耦合入光纖內的大小與光纖的數值孔徑有關。可藉由光纖之

數值孔徑簡單地說明光源輻射之角度範圍。

光纖之數值孔徑 (NA) 可定義如下：

入射於光纖中而能在其中穩定傳輸之光束，其最大入射角之半角的正弦函數值，其光之入射路徑可參見圖4-7。

$$\begin{aligned}\sin \theta_c &= \frac{n_{c1}}{n_{c0}}, \quad \sin \phi = \cos \theta_c = \sqrt{1 - \left(\frac{n_{c1}}{n_{c0}}\right)^2}, \\ \sin \theta_a &= n_{c0} \sin \phi = n_{c0} \sqrt{1 - \left(\frac{n_{c1}}{n_{c0}}\right)^2} \\ \Rightarrow NA &= \sin \theta_a = \sqrt{n_{c0}^2 - n_{c1}^2}\end{aligned}\quad (2)$$

由上可知，光纖數值孔徑僅為纖核折射率  $n_{c1}$  及被覆材質折射率  $n_{c0}$  之函數。對擴散光源而言，其數值孔徑計算如下：

$$NA_{extended} = n \sin \theta \quad (3)$$

其中  $\theta = \tan^{-1}(r/d)$ ， $r$ 為鏡子半徑， $d$ 為像距，參見圖4-8。

對調節雷射光源，鏡面通常已內附於靠近光源處。光來自鏡面之焦點處，故光束之半發射角近似於鏡前之光腰半徑 (beam waist radius)  $r_0$  與鏡焦距之比值。其數值孔徑計算如下：

$$NA_{beam} = n \sin(r_0/f) \quad (4)$$

上式有四個參數影響光源與光纖之耦合，光源的數值孔徑，光纖，光源的大小和光纖纖心。不論鏡焦距為何，光源大小與光源數值孔徑為一定值。藉比較此值與光纖纖心與光纖數值孔徑之乘積，可決定耦合所需最適的鏡面。過量 (Over-filling) 發生於光源數值

孔徑大於光纖數值孔徑時。若數值孔徑與半徑乘積光源大於光纖，則減少光源之數值孔徑以適合光纖數值孔徑，此不會增加耦合效率。

光纖與半導體光源之耦合一般可分為兩種方法，①直接耦合 (butt-coupling) 和②分立式光學元件耦合 (butt components coupling) 兩種。

所謂直接耦合即是將光纖端面與半導體光源之雷射鏡片直接接近，經過精密的調整使光纖輸出最大之功率。利用雷射焊接 (welding) 或光學膠 (epoxy) 將光纖固定於基座上，為了提高耦合效率，常在光纖端面做成漸漸變細的型式。而分立式光學元件耦合，較常用於包裝型式。

若光纖為直接耦合，則光纖接收之功率與光源輻射之功率比為：

$$P_f / P_s = 0.5(m + 1)[\alpha + (\alpha/2)]NA^2 \quad (5)$$

其中  $\alpha$  為光纖指數曲線。

一般而言，斜射率光纖 ( $\alpha = \infty$ ) 或級射率光纖 ( $\alpha = 2$ ) 之耦合係數與光源數值孔徑的平方及光纖指向性的增量 ( $m$ ) 成正比。耦合損失為  $-10\log_{10}(P_f / P_s)$ ，圖4-9為針對不同之  $m$  值，顯示理論耦合損失與NA之關係。欲獲得適當的耦合效率，需要將光源的半徑與光纖纖核之半徑匹配。圖4-9 使用公式(2)繪出不同  $m$  值，光纖數值孔徑與耦合損失的關係。

## 4-4 光學模擬與耦合效率計算

### 4-4-1 發射端之光路模擬

本次實驗在發射端的雷射二極體光源部份，我們選用6.7mm焦距之FP雷射二極體T056，波長為1310nm應用，其結構如圖 4-10，藉由元件供應商提供的尺寸數據，將其運用 Zemax 光學系統設計軟體，作設計上的光學運算，模擬光束由雷射二極體發出穿透2mm直徑之球形透鏡及0.3mm 厚度之 45°濾波片聚焦於光纖纖芯時，耦合效率的模擬計算，在與實際投入的樣品做實際的數值比對以確認整體 BOSA 在整個光學設計上與機構搭配上的精度能符合其耦光效率。

圖4-11是運用 Zemax 光學系統設計軟體模擬雷射二極體光源部份穿透 2mm直徑之球形透鏡後光束發散與聚焦的情形，圖4-12為其光斑圖，圖4-11中所示的 L1 與 L2 成正比關係，即當 L1前焦距距離變化時，L2後焦距也隨之變化。而T056封裝使用是單透鏡的設計，所以我們可以透過薄透鏡造鏡者公式來了解焦距與曲率的關係。

薄透鏡造鏡者公式: 
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (6)$$

，其中 p=前焦距、q=後焦距、R1=第一個鏡面的曲率半徑、R2=第二個鏡面的曲率半徑、n=透鏡材料的折射率，以實驗中使用的直徑2.0mm的Ball lens T0為例：

我們令 q=6.5 mm，n=1.804(為N-Lasf44材質在1310nm時的折射率)

$$R_1=R_2=1 \text{ mm}$$

計算得 q=1.538 mm(即LD雷射二極體到Ball lens的距離)

圖4-13 是雷射二極體光源部份穿透2mm直徑之球形透鏡後，之後再通過 45° 濾波片光束發散與聚焦的情形。45° 濾波片除了濾除部分波長的光之外，還起將聚焦點水平偏移的作用，根據模擬的結果顯示其偏移距離約為 0.15mm。圖4-14 為上述之雷射二極體光源部份穿透2mm直徑之球形透鏡後再通過 0.3mm厚的45° 濾波片光束發散與聚焦後的光斑圖，與圖4-12對比可明顯看出，增加 45° 濾波片後聚焦的光斑直徑較未增加 45° 濾波片小，理論上將增強了雷射二極體的耦合效率。

假設晶片上片位移一段距離X，設定其光經過了  $\phi=2\text{mm}$  的球透鏡及0.3mm厚的45°濾波片光束發散與聚焦後的光路圖(圖4-15)與光斑圖(圖4-16)，圖4-16與圖4-12相較下可明顯看出，增加 45°濾波片後聚焦的光斑產生像彗星狀的COMA像差，光斑能量集中於另一個方向，此乃因晶片位移造成出光傾斜，由Zemax軟體模擬可算出光角度  $\theta$ °。因此，出光角度與晶片偏移量的關係，依不同偏移距離X可模擬出不同對應的出光角度  $\theta$  如表4-2。

參考圖4-17、圖4-18、圖4-19、圖4-20、圖4-21、圖4-22、圖4-23、圖4-24、圖4-25、圖4-26中，為ZEMAX模擬雙工次模組中的雷射晶片以不同距離條件偏移，光經過球透鏡的聚焦後，最後穿透0.3mm厚的45°濾波片而到達成像面上，所模擬出相對應的光路圖與光斑圖結果，我們可以得知RMS光斑大小隨著偏移距離越大而光斑越小，但耦光效率仍不能以光斑面積來決定其耦光效率的結果。由表4-3的模擬結果，可看出不同晶片偏移距離時，其相對應光進入6°光纖端面的耦合效率，以晶片偏移60  $\mu\text{m}$ 時，模擬出的理論耦光效率值應為最大。

#### 4-4-2 耦光效率的計算

以下為耦光效率(C.E, Coupling Efficiency)的計算公式：

$$C.E = \frac{\left| \iint F_r(x, y) W'(x, y) dx dy \right|^2}{\iint F_r(x, y) F'_r(x, y) dx dy \iint W(x, y) W'(x, y) dx dy} \quad (7)$$

，其中  $F_r(x, y) = F_0 \exp \left[ -\frac{(x^2 + y^2)^2}{W_0} \right]$ ， $W_0 = 4.6 \mu m$ ，且當光纖端面的角度為  $6^\circ$ ，可計算出此條件下的耦合效率為 24%。

關於光纖有  $6^\circ$  斜面，其散射出的光束會有  $2.8^\circ$  的偏斜的問題，可參考圖 4-27 的計算方式。參考公式中  $\theta$  表示的即為偏斜的角度，n 為空氣折射率，根據此公式即可計算出當光纖的斜面為  $6^\circ$  時， $\theta$  即為  $2.8^\circ$ 。圖 4-27 下部份圖表分別代表 PC 和 APC( $8^\circ$ ) 光纖隨角度變化的功率情況，可看出 APC( $8^\circ$ ) 當偏斜  $-3.85^\circ$ ，其功率值最大。

#### 4-5 提升耦合效率設計

一般雷射半導體 T0 封裝，都將雷射晶片封裝於透鏡中心位置，提供給一般使用者應用，可是當雷射光線經透鏡正中出光與光纖平面進行光耦合時，但因單模光纖的 core 只有  $9 \mu m$ ，其大多數外圍光線將反射回去，部分光線反射回 T0 內部晶片（如圖 4-28），因而產生了雷射共振模態的改變影響出光穩定度，實際由光功率對應電流之量測關係圖，正常關係圖應如圖 4-19，如看到曲線產生嚴重的抖動（如圖 4-30），則將影響傳輸品質。

因此光通訊發射次模組的設計上，通常使用一小段的斜面光纖（如圖 4-31），一般稱之為光纖插芯（Fiber stub），其在一端接收雷

射光的光纖面上研磨成有角度斜面，一般使用 $6^\circ$ 或 $8^\circ$ 的設計，來避免光反射，而在使用斜面光纖搭配中心出光的雷射半導體TO情況下，因光纖的斜面因素，光纖插芯接收的光束將會有角度的偏斜，中心出光的部分光線無法進入光纖的收光角範圍內，而損失了一些耦合效率。因此，我們在可以在雷射半導體TO封裝時，試著將晶片位移一些位置，而使得光線經透鏡後有微量的傾斜，使得外圍光線修正回來，以符合光纖的收光的傾斜角，藉此方法來提高耦合效率，光纖斜面收光面對應出光方向可參考圖4-32。

#### 4-6 耦合效率量測與驗證

本實驗BOSA使用同一件 $6^\circ$ 光纖之fiber stub，其光接收角度為 $2.8^\circ$ ，欲使耦合效率得到最大，其TO的雷射出光角度應控制接近於 $2.8^\circ$ ，並且在雷射鋸接機上進行耦光作業時，其光纖切角處與TO出光方向之相對位置應擺放正確才能得到理想的耦合效率(如圖4-22)。另外為了解在最佳高度Z(即焦距)，在XY平面上的功率分布狀況，在自動鋸接機使用Z方向自動耦光功能先找出Z軸方向的最大耦合功率，之後我們以光軸為旋轉軸來旋轉下夾具上的TO以改變出光方向，方向定義的以俯視TO為主，依 $0^\circ$ ， $90^\circ$ ， $180^\circ$ ， $270^\circ$ 四個方向(如圖4-33)，在相同定電流 $30\text{mA}$ 的條件下，各別用鋸接機的XY平面的自動耦光功能找到最大的光功率，再各記錄其光功率數值，依此找出TO與fiber stub的最大耦合方向來與理論的對應方向相驗證。由5-2節光學模擬出的表5-1可知，當晶片偏移 $60\mu\text{m}$ 時，其出光角度最接近為 $2.8^\circ$ ，理論上能與 $6^\circ$ 光纖之fiber stub能有最大耦合效率，為佐證模擬結果，我們使用三種不同晶片偏移的TO來進行耦光佐證，其偏移距離分別為 $30\mu\text{m}$ 、 $60\mu\text{m}$ 、 $90\mu\text{m}$ ，且偏移的方向一致，而三組TO內晶片在Z方向上片位置為相同高度，意謂著TO出光焦距是

固定的，此處焦距設定為6.7為mm，得到的三組耦光效率再與晶片未偏移的T0作的比較，以驗證晶片偏移對於光耦合效率提升的可行性。

雷射半導體T0因封裝上的誤差及雷射晶片特性上的差異，實際上都影響到每顆T0出光的功率與出光角度特性，圖4-34可看出T0內部因晶片位移因素而造成出光角度的不同而造成的光偏移距離分布狀況，而隨著晶片位移距離不同，出光角度亦隨著不同，晶片的位移大而出光角度隨著變大，其中各點所座落的位置與後續耦光的光纖斜面收光方向做一比對，實際在T0與光纖斜面耦光時，擺放在相對應的方向，以得最佳的耦合效率。

接下來將晶片無偏移與有偏移的各類T056，在不經45°濾波片下與6°光纖進行耦光。在晶片有偏移的T056其量測計算出四個方向的耦合效率最大處，在晶片60  $\mu\text{m}$ 情況下，耦光效率最大處都呈現在同一個方向。由(表-5，表-6，表-7)數據觀察，可知隨著晶片偏移的距離越長，其耦合效率最大值出現在同方向的效應更加明顯，晶片偏移的T056在四個方向耦合效率落差非常大，也符合理論上的情況。由表-3比較各類T056的耦合效率，可得知當晶片偏移60  $\mu\text{m}$ ，其該群組耦合效率為最大，與模擬結果相符。之後，我們選擇晶片偏移60  $\mu\text{m}$ 的實驗群組，將T056與0.3mm厚的45°濾波片組裝於BOSA Body上，再進行一次耦光作業，與未組裝45°濾波片前的實驗數據做比較，由表-8可知，光在行經T056與0.3mm厚的45°濾波片後，耦合效率平均降了1.82%，但對於最大耦合的方向並沒有太大影響。比較晶片無偏移與有偏移60  $\mu\text{m}$ 的耦合效率，可得知使用晶片偏移60  $\mu\text{m}$ 的T056比無偏移的平均大了5.46%，驗證了晶片偏移對於增加耦光效率的有效性。

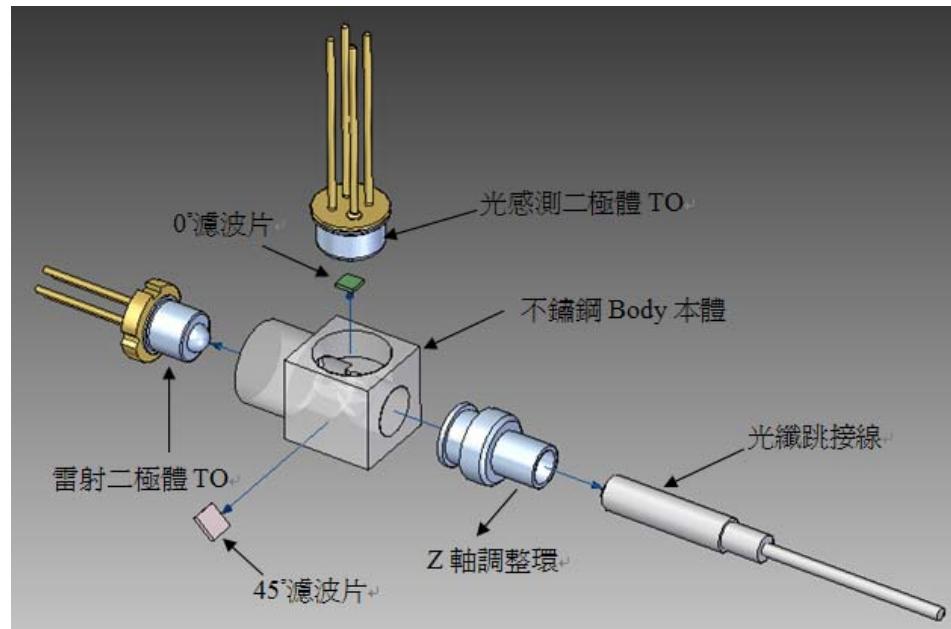


圖4-1 BOSA零件組成爆炸圖

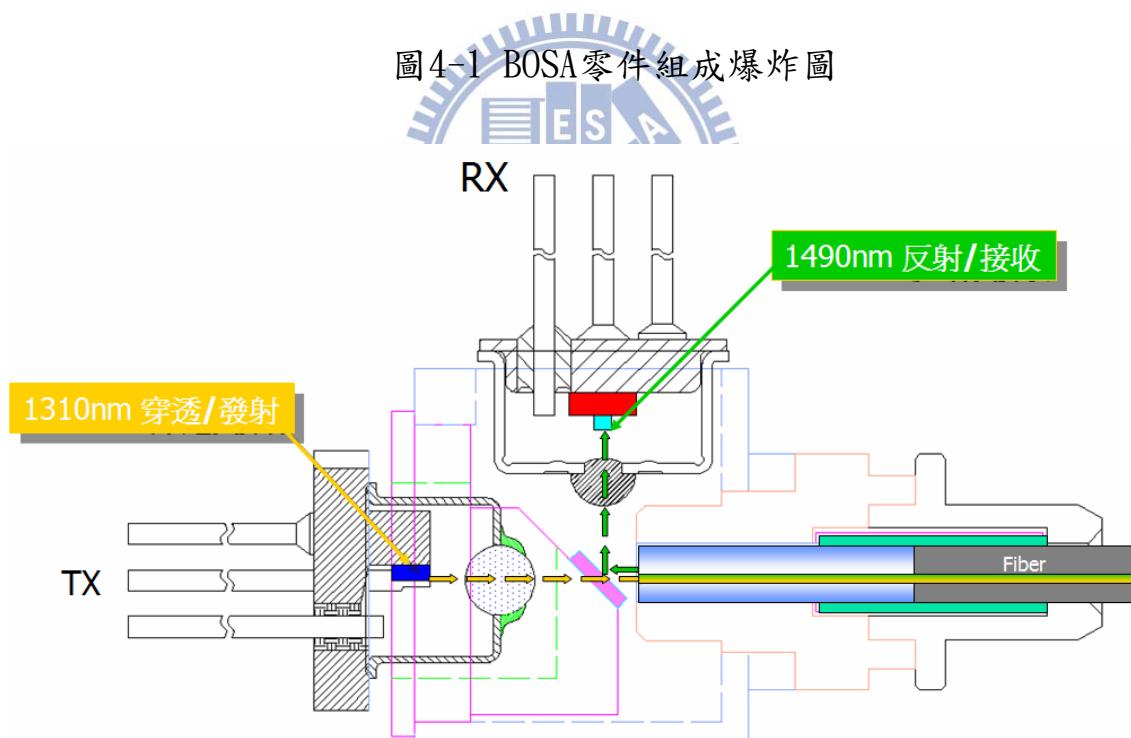
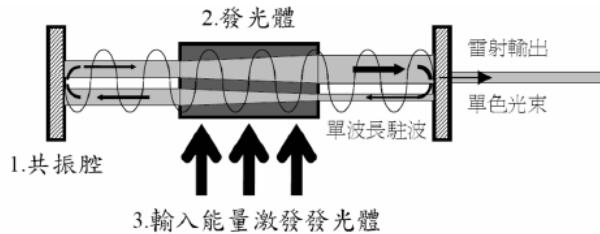


圖4-2 BOSA光信號傳輸示意圖



Resonant cavity	1. 駐波形式儲存光子 2. 駐波與發光體共振而放大光強度	
Gain medium	1. 發單頻光 2. 放大Pumping source的光強度	
Pumping source	1. 提供能量 2. 激發發光體產生光子	

圖4-3 雷射的三大要素

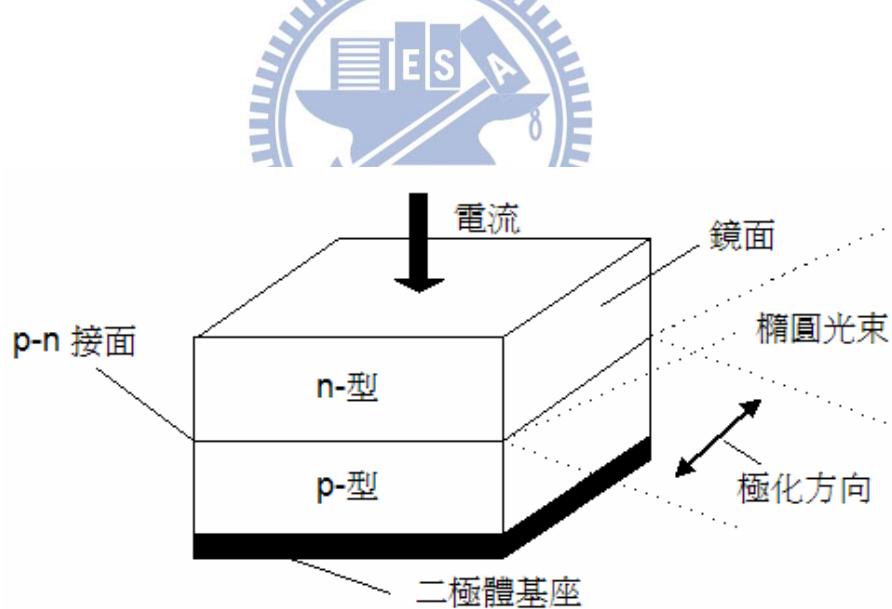


圖4-4 簡單的半導體雷射結構

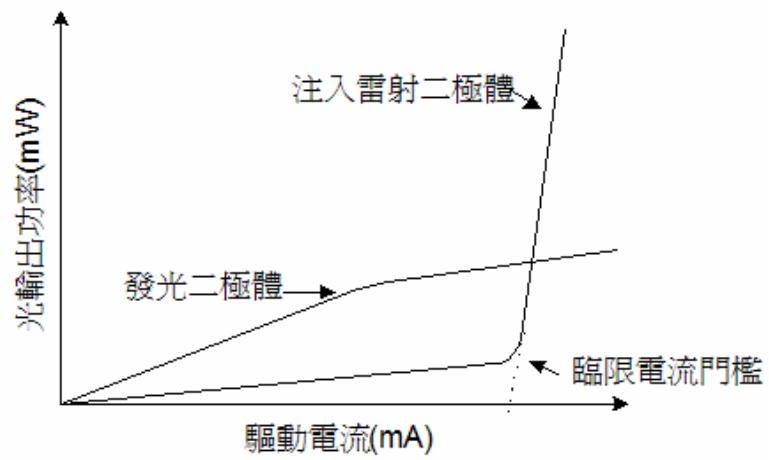


圖4-5 光源之驅動電流與光輸出功率之關係

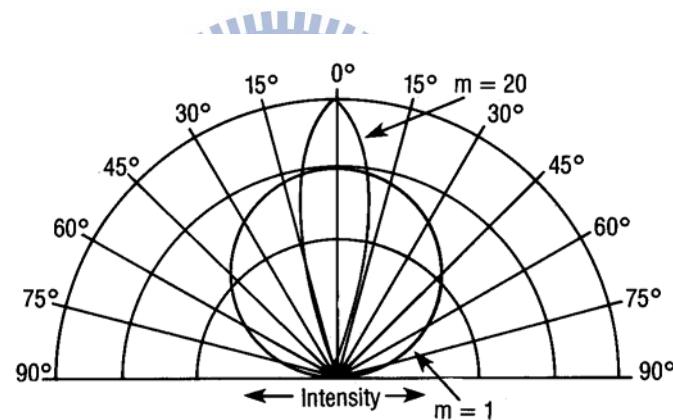


圖4-6 典型發光二極體與雷射二極體之輻射場型

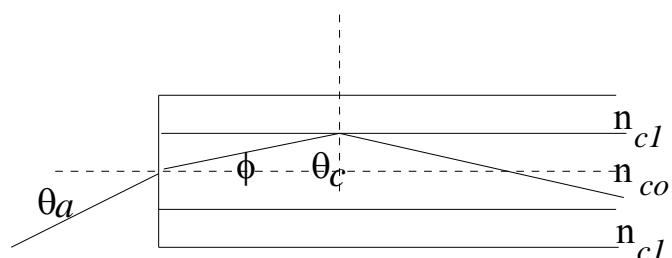


圖4-7 光入射Fiber與折射示意圖

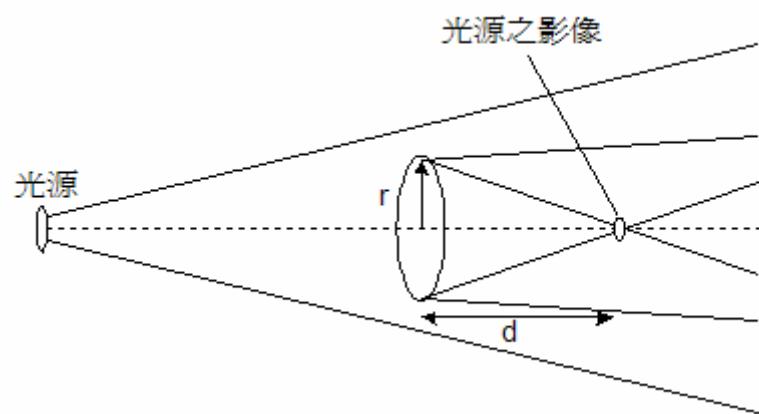


圖4-8 擴散光源之數值孔徑計算

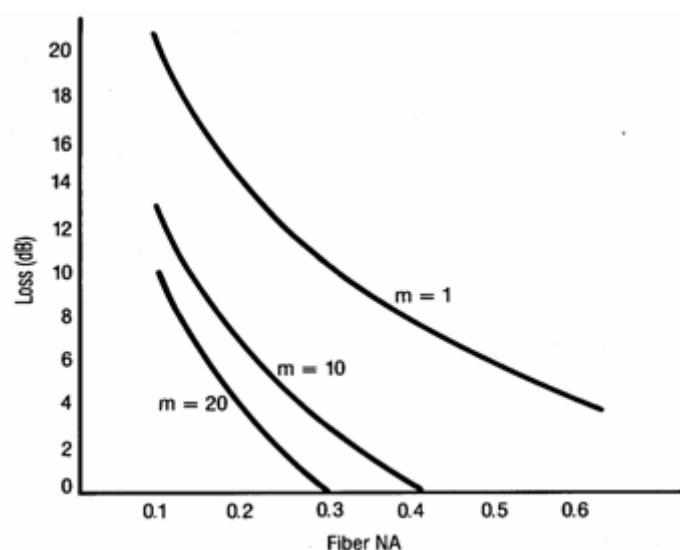


圖4-9 數值孔徑NA與光損失關係

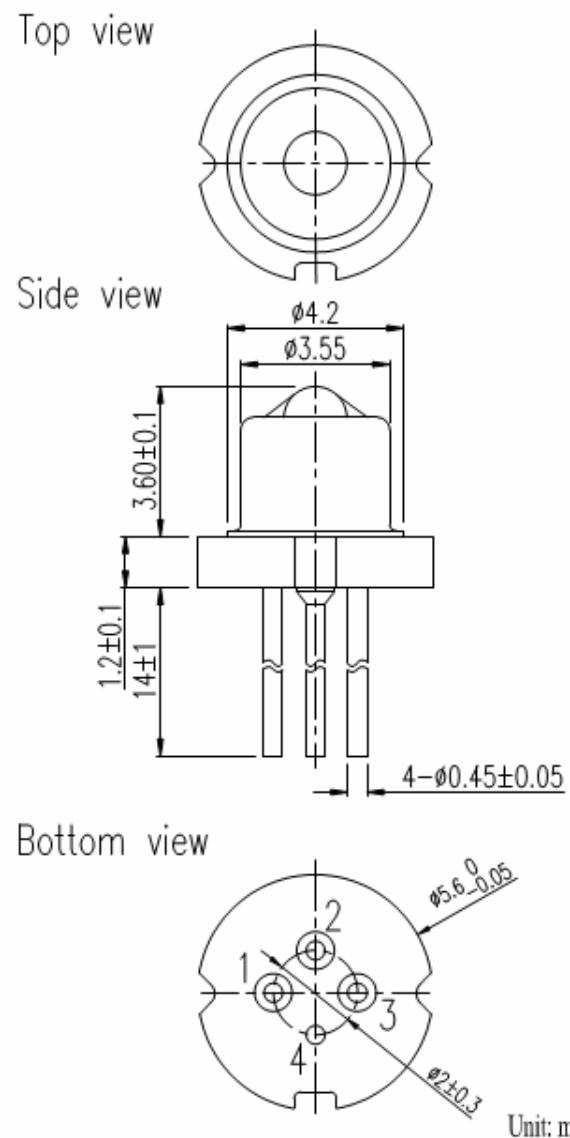


圖4-10 雷射二極體T056外觀尺寸圖

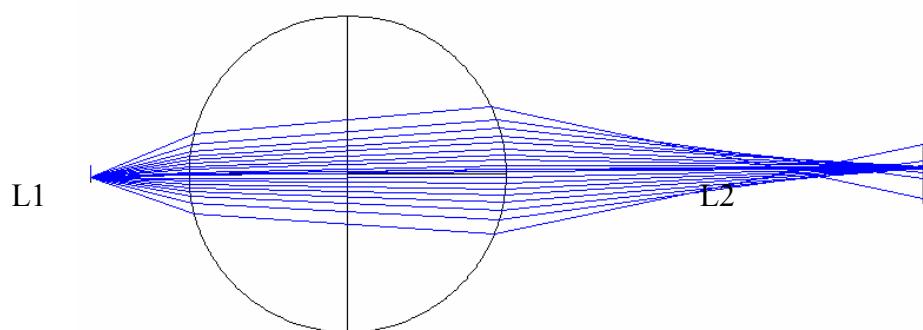


圖4-11 球形透鏡光路圖

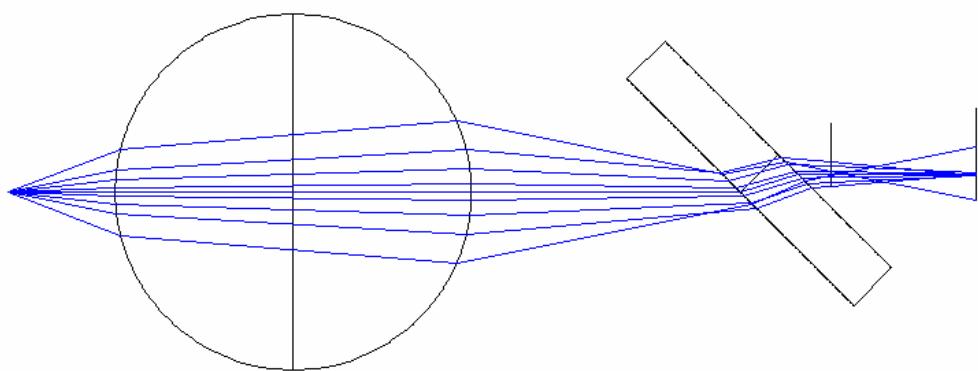
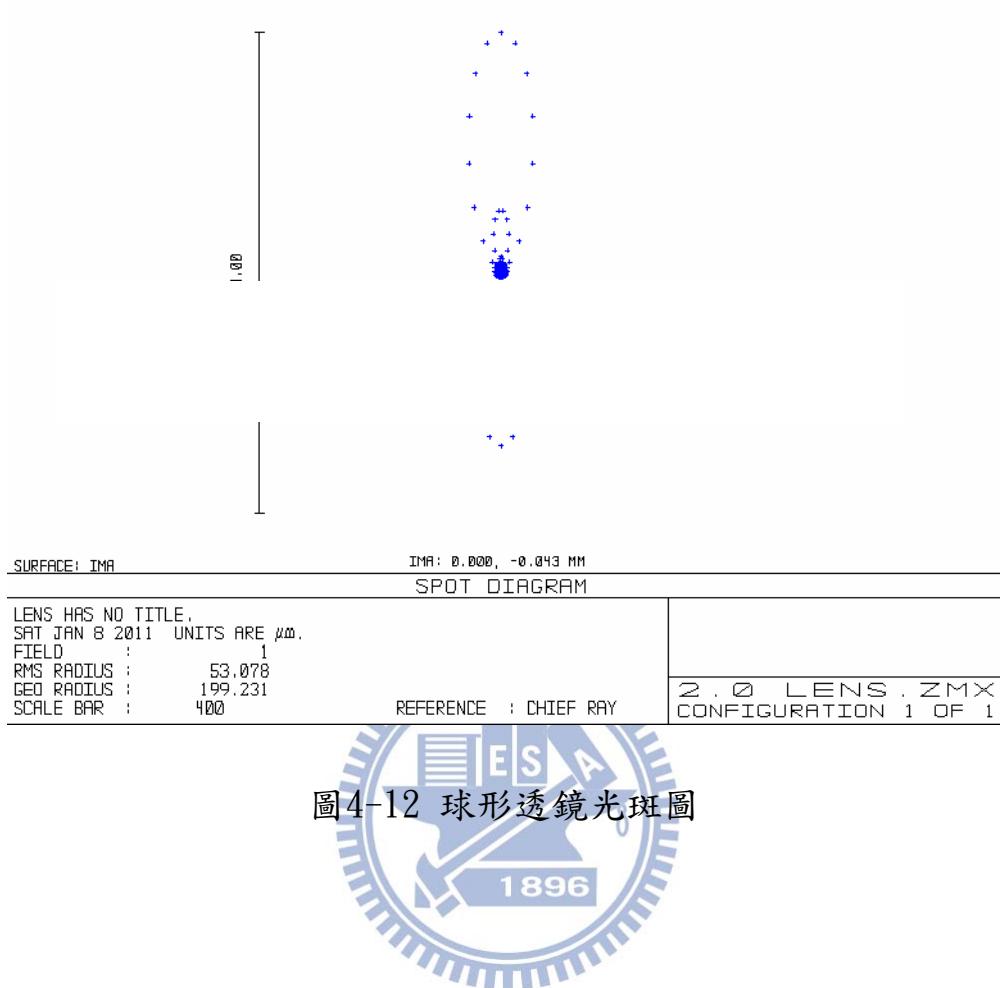


圖4-13 雷射穿過球形透鏡、濾波片之光路圖

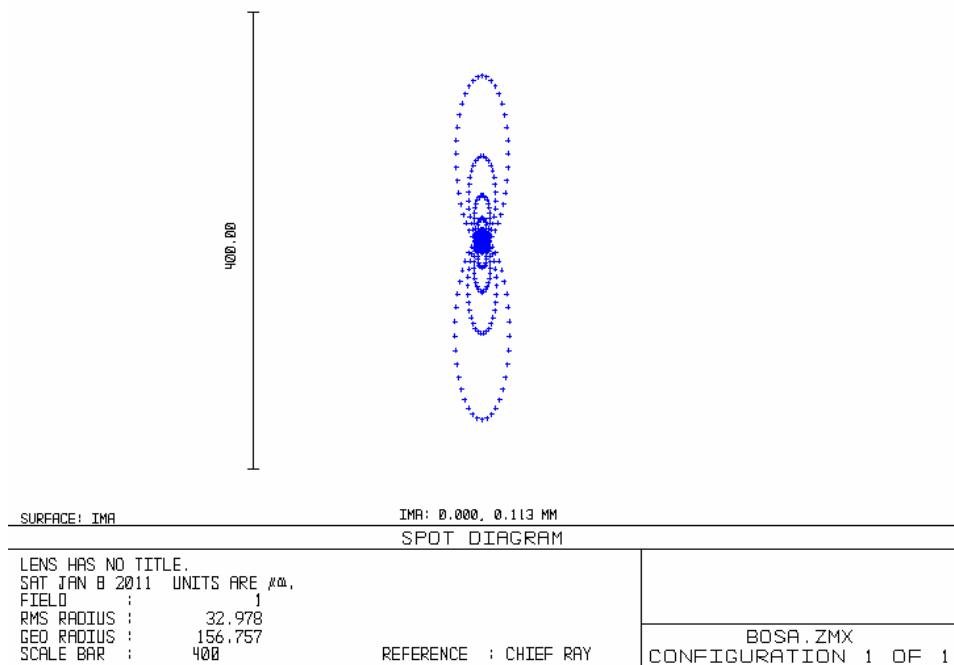


圖4-14 增加45°濾波片的光斑圖

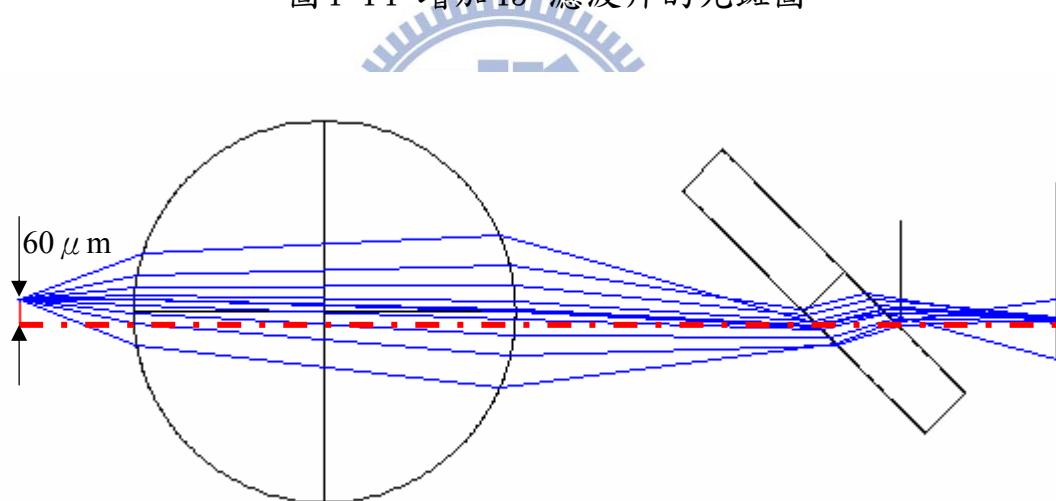


圖4-15 Chip offset下增加45°濾波片之光路圖

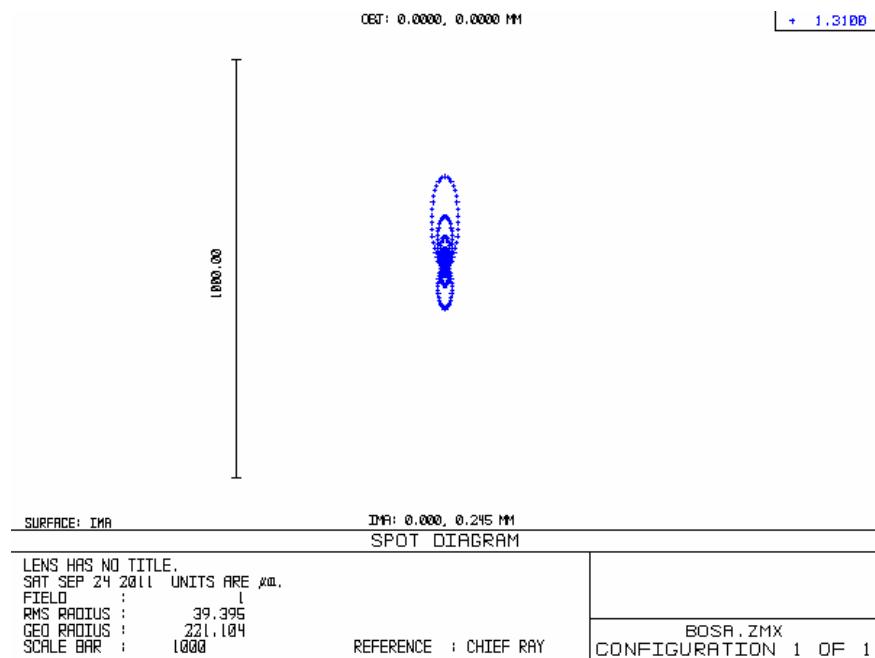


圖4-16 Chip offset下增加45°濾波片的光斑圖

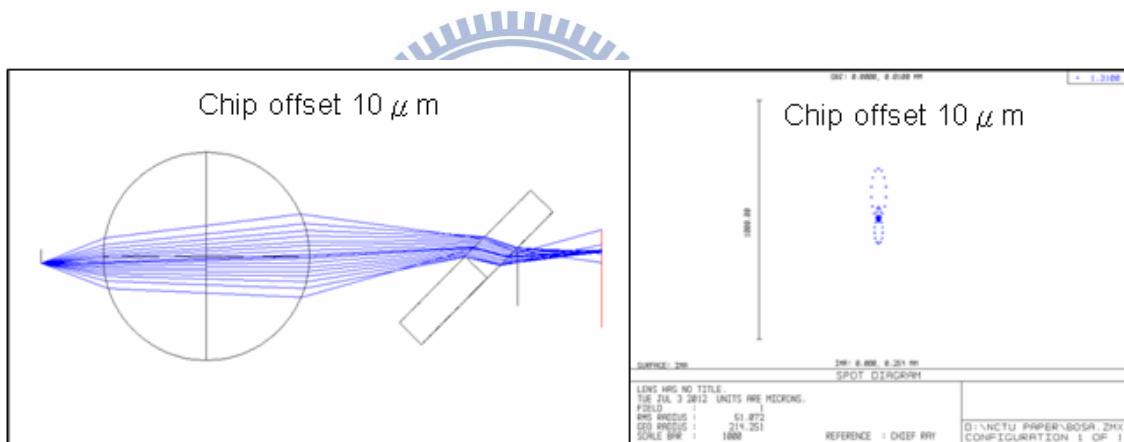


圖4-17 Chip offset 10  $\mu$  m 之光路圖與光斑圖

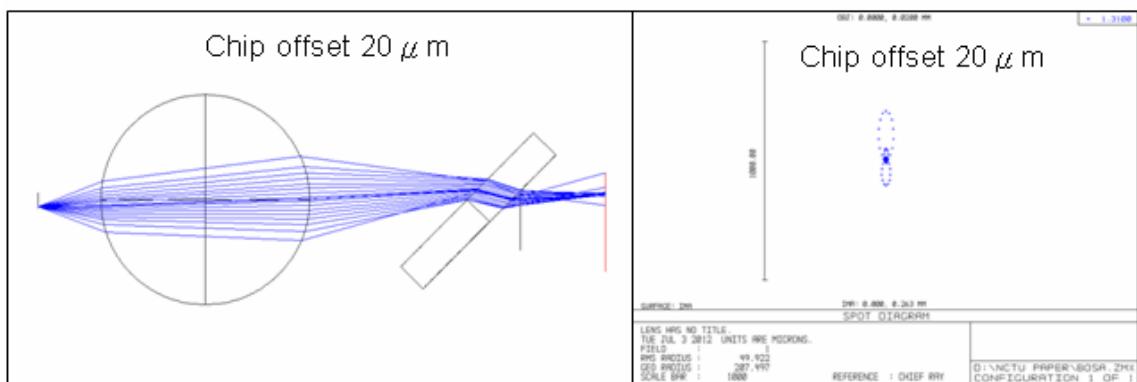


圖4-18 Chip offset 20  $\mu$  m 之光路圖與光斑圖

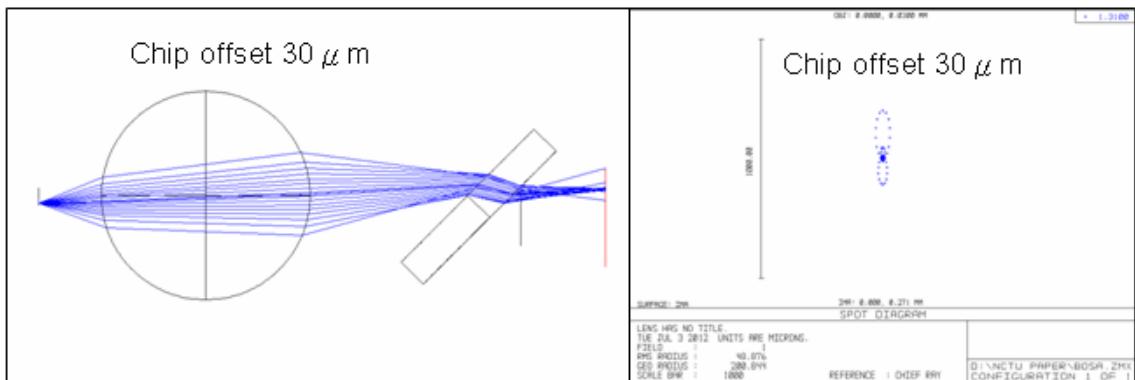


圖4-19 Chip offset  $30 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

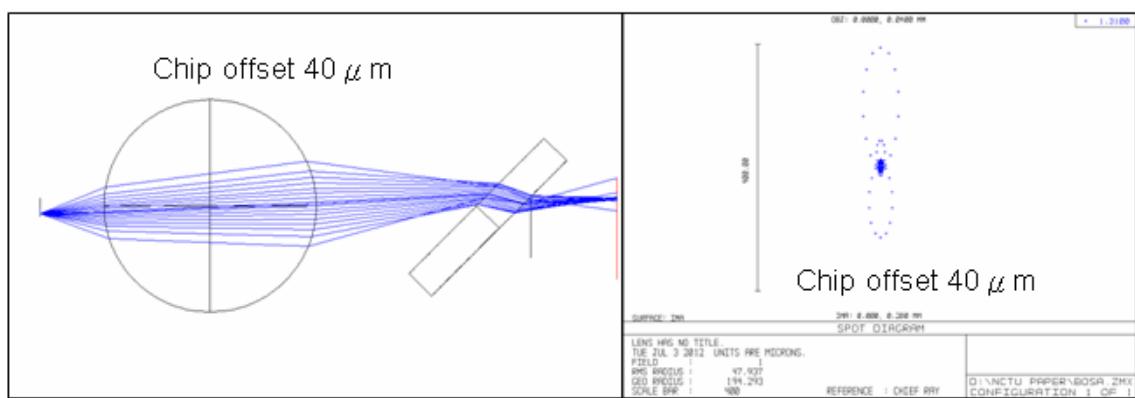


圖4-20 Chip offset  $40 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

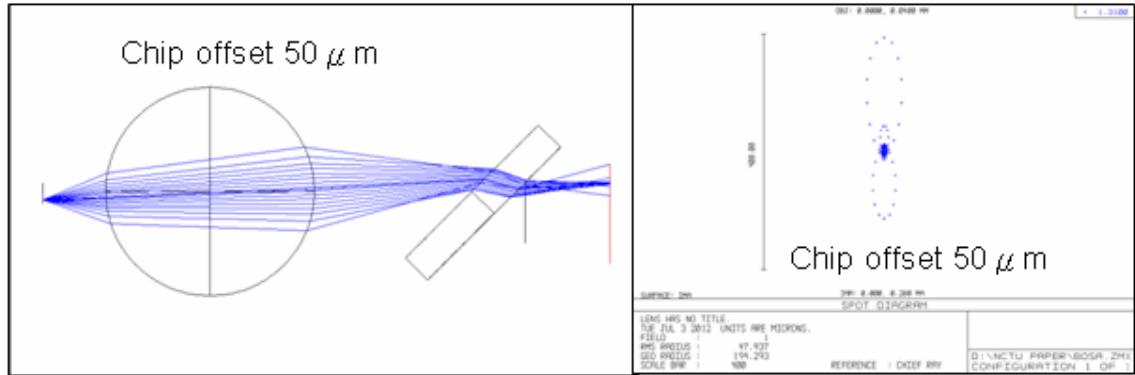


圖4-21 Chip offset  $50 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

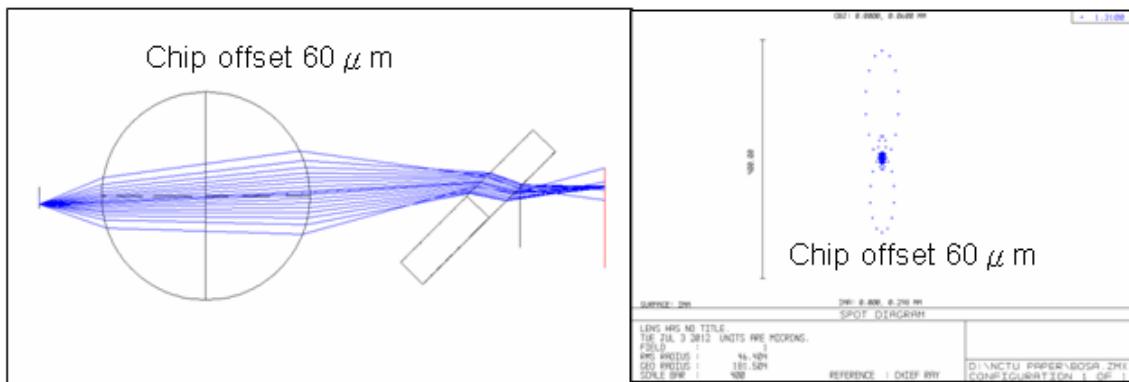


圖4-22 Chip offset  $60 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

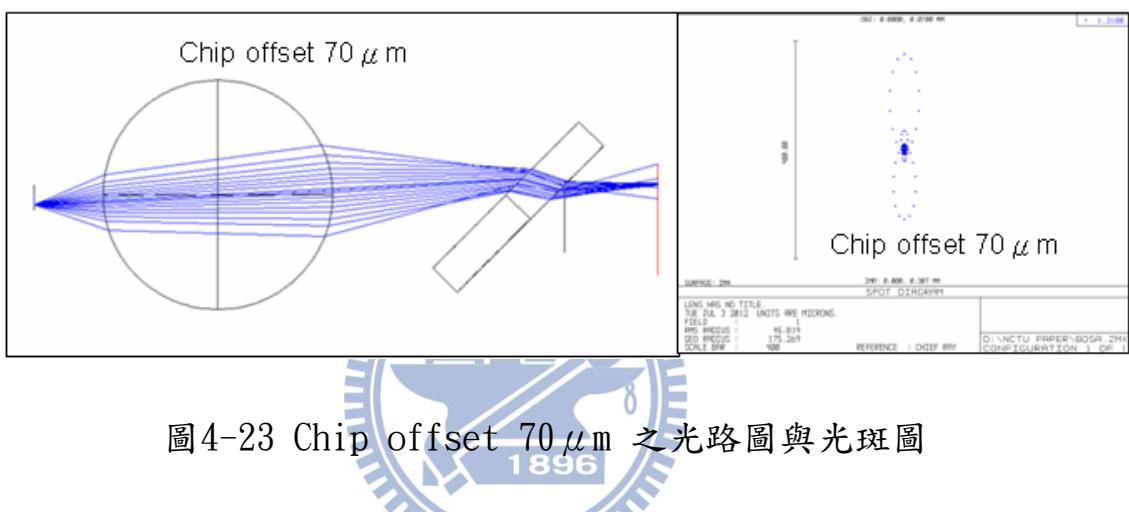


圖4-23 Chip offset  $70 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

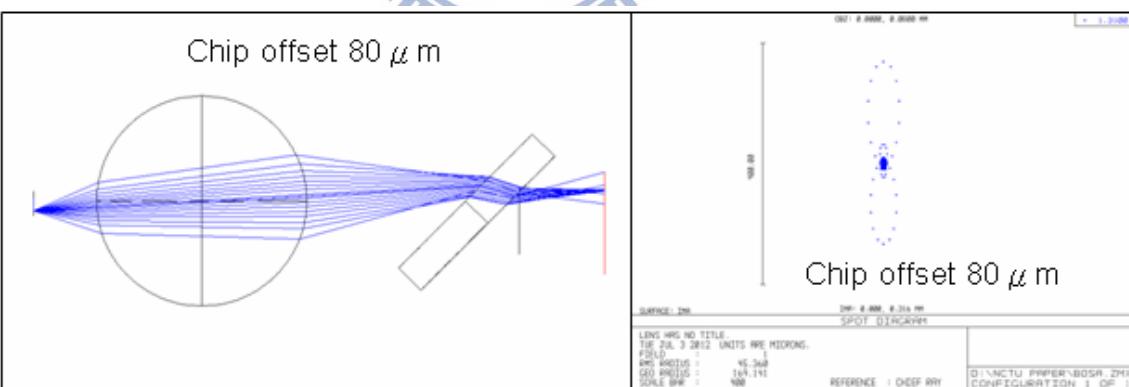


圖4-24 Chip offset  $80 \mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

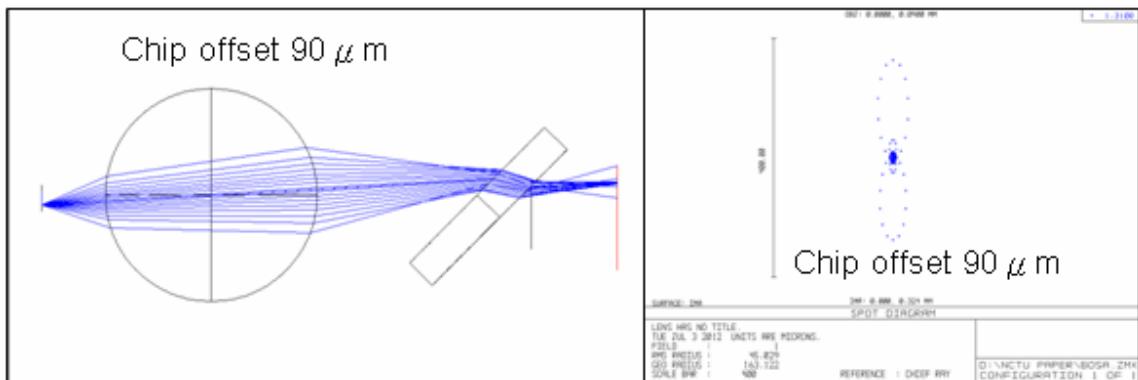


圖4-25 Chip offset 90  $\mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

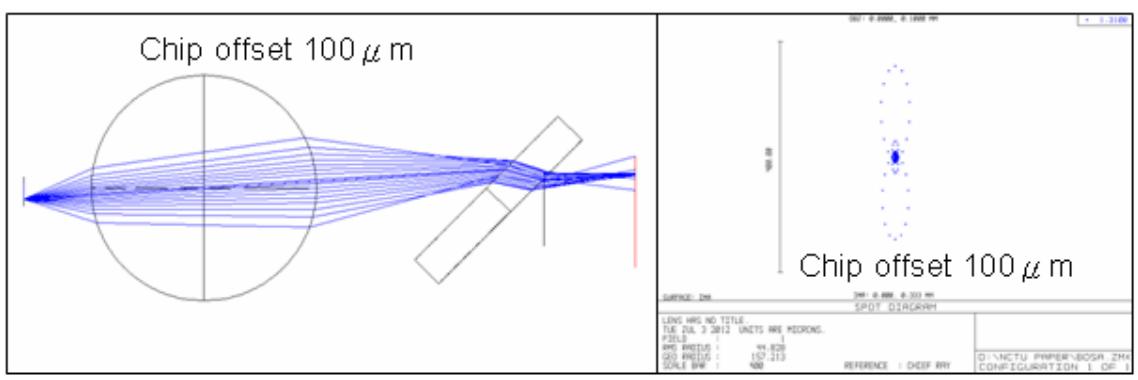


圖4-26 Chip offset 100  $\mu\text{m}$  之光路圖與光斑圖

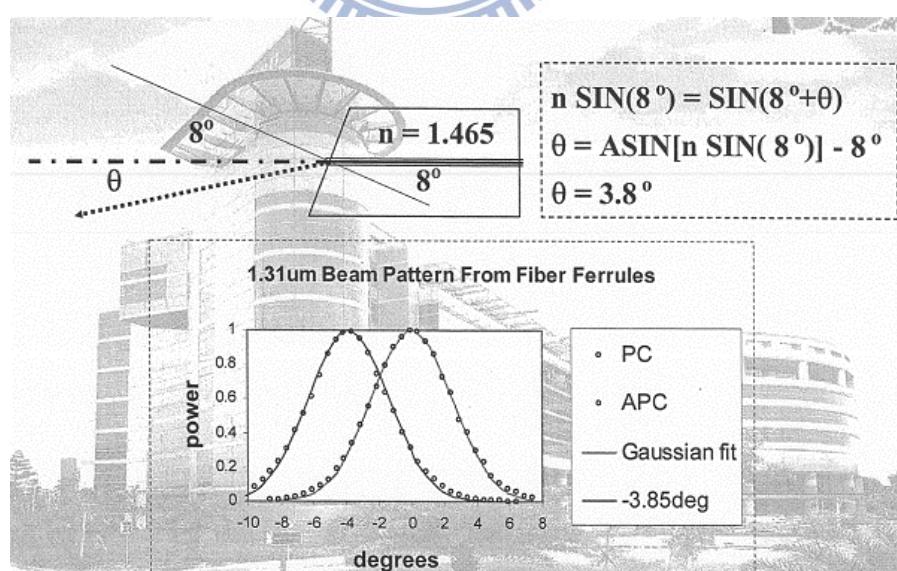


圖 4-27 光纖偏斜角度計算公式

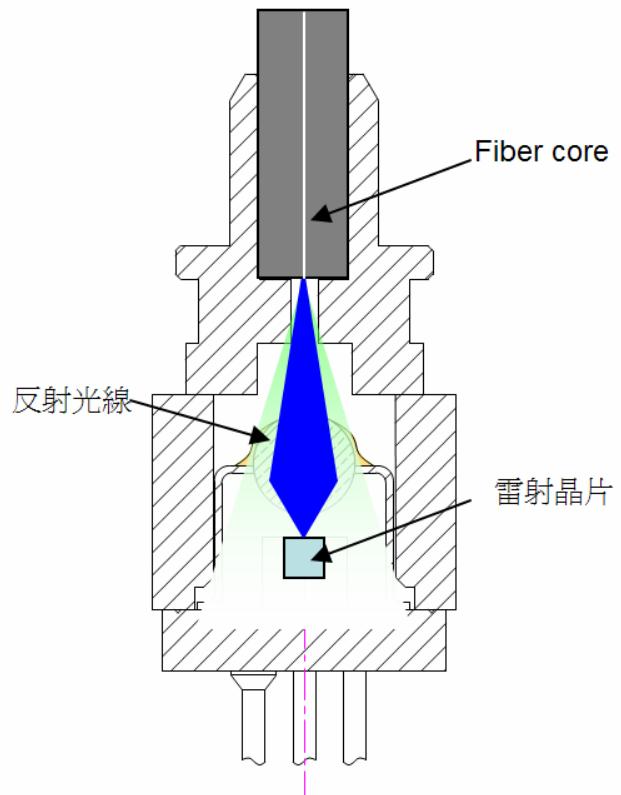


圖 4-28 雷射光反射示意

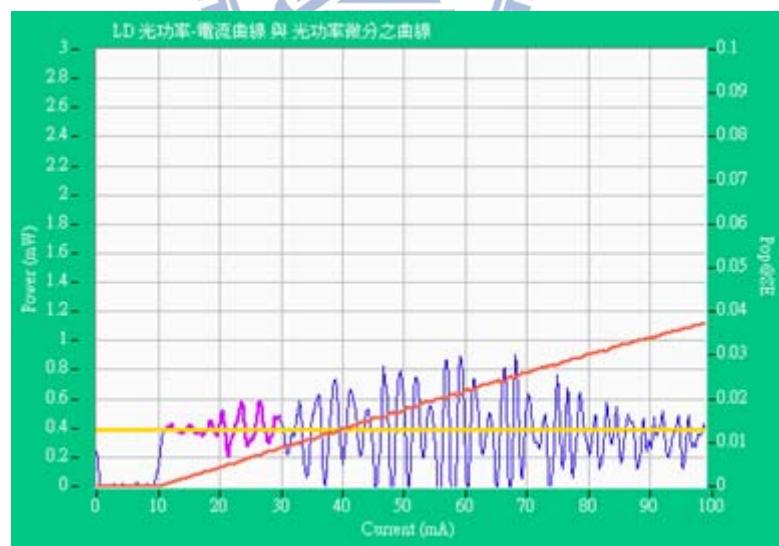


圖 4-29 正常的光功率對應電流之微分曲線

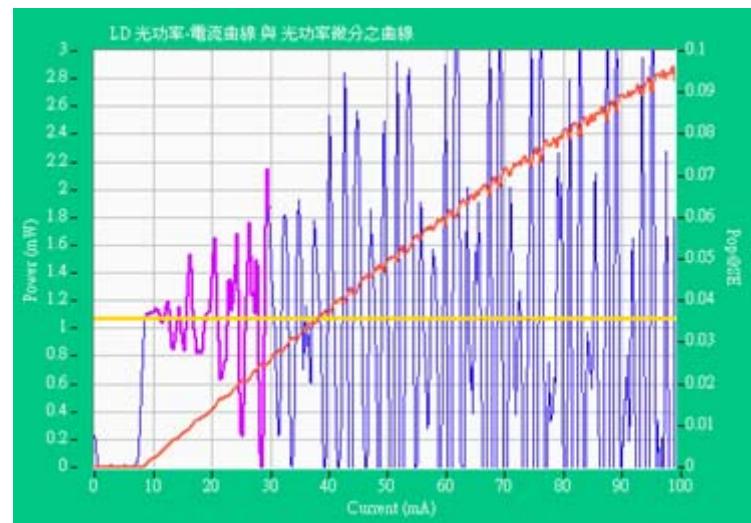


圖4-30 抖動異常之光功率對應電流之微分曲線



圖4-31 各類光纖插芯(Fiber stub)

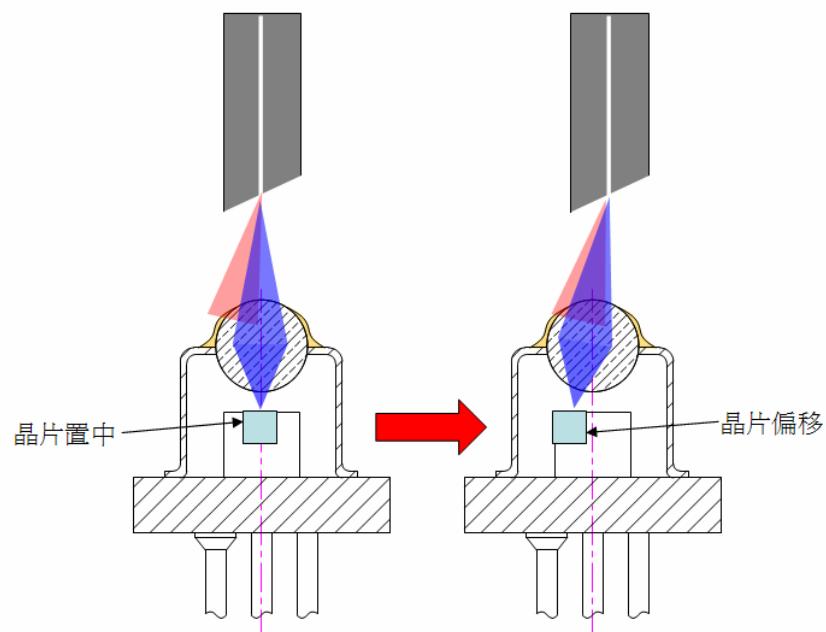


圖4-32 晶片偏移前後收光之示意圖

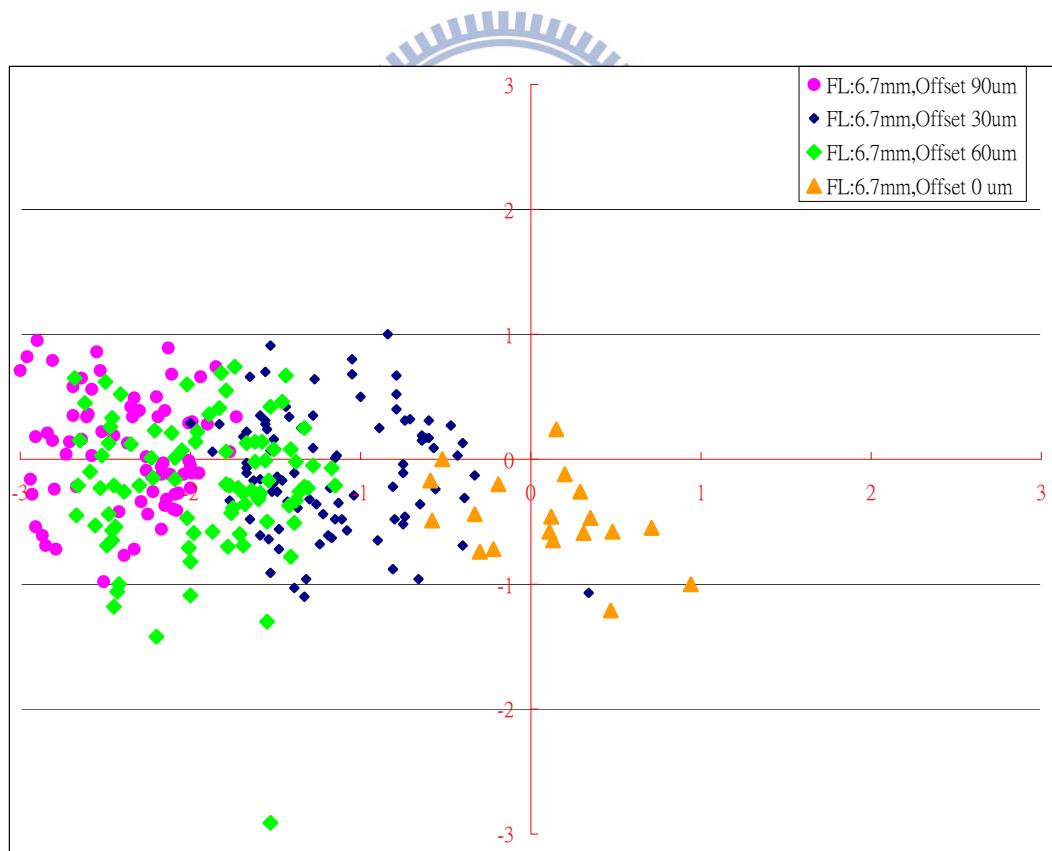


圖4-33 晶片不同偏移對應其出光位置之分布圖

表4-1 相對特性-發光二極體和注入雷射二極體

特性	發光二極體	注入雷射二極體
輸出功率	較低	較高
速度	較慢	較快
輸出圖形(NA)	較高	較低
光譜寬度	較寬	較窄
單模相容性	不是	是
使用便利性	較容易	較難
壽命	較長	長
成本	較低	較高

表4-2 模擬晶片偏移X與出光角度 $\theta$ 關係

X(um)	$\theta$ °
10	0.5
20	1.02
30	1.52
40	2.03
50	2.49
60	3.05
70	3.56
80	4.07
90	4.58
100	4.89

表4-3 ZEMAX模擬晶片偏移相對於耦合效率(C.E)關係

X (u m )	C .E ( % )
10	16.61
20	17.03
30	18.48
40	19.34
50	22.55
60	24.31
70	23.33
80	22.86
90	21.54
100	19.87

表4-4 實驗結果(一)

Chip offset 0 $\mu$ m-Align. 4 direction( mW)(Pop@30mA)							Coupling Efficiency		
NO.	0°	90°	180°	270°	Max	Min	C.E(max)	C.E(min)	Max-min
1	1.56	0.9	1.02	1.59	1.59	0.9	17.67%	10.00%	7.67%
2	1.14	1.07	1.35	1.1	1.35	1.07	15.00%	11.89%	3.11%
3	1.44	1.63	0.78	0.73	1.63	0.73	18.11%	8.11%	10.00%
4	1.55	1.14	1.15	1.37	1.55	1.14	17.22%	12.67%	4.56%
5	1.27	1.57	1.52	1.07	1.57	1.07	17.44%	11.89%	5.56%
6	1.49	1.56	1.24	0.96	1.56	0.96	17.33%	10.67%	6.67%
7	1.47	1.35	1.33	1.42	1.47	1.33	16.33%	14.78%	1.56%
8	0.93	1.05	0.83	0.83	1.05	0.83	11.67%	9.22%	2.44%
9	1.36	1.38	1.24	1.24	1.38	1.24	15.33%	13.78%	1.56%
10	1.37	1.31	1.31	1.23	1.37	1.23	15.22%	13.67%	1.56%
11	1.33	1.32	1.22	1.28	1.33	1.22	14.78%	13.56%	1.22%
12	1.26	1.09	0.59	0.81	1.26	0.59	14.00%	6.56%	7.44%
13	1.15	1.5	1.05	0.83	1.5	0.83	16.67%	9.22%	7.44%
14	1.25	1.55	1.45	0.93	1.55	0.93	17.22%	10.33%	6.89%
15	1.19	1.07	1	0.95	1.19	0.95	13.22%	10.56%	2.67%
16	0.8	0.72	1.25	1.05	1.25	0.72	13.89%	8.00%	5.89%
17	1.63	1.14	1.07	1.32	1.63	1.07	18.11%	11.89%	6.22%
18	1.37	1.4	1.13	0.9	1.4	0.9	15.56%	10.00%	5.56%
19	1.3	1.25	1.32	1.1	1.32	1.1	14.67%	12.22%	2.44%
20	1.24	0.97	1.47	1.38	1.47	0.97	16.33%	10.78%	5.56%
Avg.	1.31	1.25	1.17	1.10	1.42	0.99	15.79%	10.99%	4.80%
STDV.	0.20	0.25	0.24	0.24	0.16	0.19	0.02	0.02	0.03

表4-5 實驗結果(二)

Chip offset 30 $\mu$ m-Align. 4 direction( mW)(Pop@30mA)							Coupling Efficiency		
NO.	0°	90°	180°	270°	Max	Min	C.E(max)	C.E(min)	Max-min
1	1.91	1.3	1.16	1.64	1.91	1.16	19.85%	12.06%	7.80%
2	1.88	1.25	1.28	1.76	1.88	1.25	18.95%	12.60%	6.35%
3	1.7	1.55	1.32	1.66	1.7	1.32	16.85%	13.08%	3.77%
4	1.93	1.42	1.22	1.76	1.93	1.22	19.40%	12.26%	7.14%
5	1.83	1.35	1.32	1.73	1.83	1.32	19.30%	13.92%	5.38%
6	1.86	1.42	1.11	1.56	1.86	1.11	18.08%	10.79%	7.29%
7	1.91	1.25	1.05	1.51	1.91	1.05	20.36%	11.19%	9.17%
8	1.7	1.42	1.53	1.83	1.83	1.42	18.32%	14.21%	4.10%
9	1.93	1.75	1.72	1.9	1.93	1.72	19.13%	17.05%	2.08%
10	2.06	1.7	1.3	1.66	2.06	1.3	21.02%	13.27%	7.76%

11	<b>1.81</b>	1.31	1.07	1.35	1.81	1.07	18.64%	11.02%	7.62%
12	<b>1.73</b>	1.2	1.44	2.08	2.08	1.2	20.74%	11.96%	8.77%
13	1.89	<b>2.07</b>	1.74	1.76	2.07	1.74	20.33%	17.09%	3.24%
14	2.05	<b>1.61</b>	1.22	1.68	2.05	1.22	20.20%	12.02%	8.18%
15	<b>1.84</b>	1.4	1.56	2.09	2.09	1.4	20.59%	13.79%	6.80%
16	1.8	1.4	<b>1.6</b>	2.04	2.04	1.4	20.38%	13.99%	6.39%
17	<b>1.68</b>	1.6	1.38	1.53	1.68	1.38	17.80%	14.62%	3.18%
18	1.95	<b>1.64</b>	1.63	1.91	1.95	1.63	19.29%	16.12%	3.17%
19	<b>2</b>	1.51	1.21	1.71	2	1.21	19.70%	11.92%	7.78%
20	1.95	1.53	<b>1.18</b>	1.57	1.95	1.18	19.68%	11.91%	7.77%
<b>Avg</b>	<b>1.87</b>	<b>1.48</b>	<b>1.35</b>	<b>1.74</b>	<b>1.93</b>	<b>1.32</b>	<b>19.43%</b>	<b>13.24%</b>	<b>6.19%</b>
<b>STDV.</b>	<b>0.11</b>	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>	<b>0.20</b>	<b>0.12</b>	<b>0.20</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>

表4-6 實驗結果(三)

Chip offset 60 $\mu$ m-Align. 4 direction( mW)(Pop@30mA)							Coupling Efficiency		
NO.	0°	90°	180°	270°	Max	Min	C.E(max)	C.E(min)	Max-min
1	<b>2.22</b>	1.38	1.45	1.92	2.22	1.38	22.89%	14.23%	8.66%
2	<b>2.33</b>	1.07	1.23	1.83	2.33	1.07	23.09%	10.60%	12.49%
3	<b>2</b>	1.51	1.15	<b>2.38</b>	2.38	1.15	24.59%	11.88%	12.71%
4	<b>2.16</b>	1.31	1.03	1.55	2.16	1.03	23.23%	11.08%	12.15%
5	<b>2.4</b>	1.33	1.08	1.64	2.4	1.08	24.02%	10.81%	13.21%
6	<b>2.4</b>	1.46	1.07	1.61	2.4	1.07	23.90%	10.66%	13.25%
7	<b>2.33</b>	1.48	1	1.52	2.33	1	23.56%	10.11%	13.45%
8	<b>2.26</b>	1.63	1.43	1.89	2.26	1.43	22.58%	14.29%	8.29%
9	<b>2.25</b>	1.46	1.14	1.66	2.25	1.14	23.08%	11.69%	11.38%
10	<b>2.43</b>	1.5	1.38	1.88	2.43	1.38	24.28%	13.79%	10.49%
11	<b>2.34</b>	1.48	1.41	2.01	2.34	1.41	23.42%	14.11%	9.31%
12	<b>2.2</b>	1.34	1.3	2	2.2	1.3	22.02%	13.01%	9.01%
13	<b>2.14</b>	1.32	1.2	1.89	2.14	1.2	21.38%	11.99%	9.39%
14	2.34	1.3	1.24	<b>2.5</b>	2.5	1.24	24.93%	12.36%	12.56%
15	1.9	1.29	1.1	<b>2.11</b>	2.11	1.1	21.00%	10.95%	10.05%
16	<b>2.21</b>	1.54	1.34	2	2.21	1.34	21.95%	13.31%	8.64%
17	<b>2.2</b>	1.3	1.2	1.8	2.2	1.2	21.80%	11.89%	9.91%
18	<b>2.43</b>	1.4	1.13	2.1	2.43	1.13	24.04%	11.18%	12.86%
19	<b>2.34</b>	1.44	1.32	2.11	2.34	1.32	23.10%	13.03%	10.07%
20	<b>2.3</b>	1.33	1.2	1.98	2.3	1.2	22.66%	11.82%	10.84%
<b>Avg</b>	<b>2.26</b>	<b>1.39</b>	<b>1.22</b>	<b>1.92</b>	<b>2.30</b>	<b>1.21</b>	<b>23.07%</b>	<b>12.14%</b>	<b>10.94%</b>
<b>STDV.</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>	<b>0.26</b>	<b>0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>

表4-7 實驗結果(四)

Chip offset 90 $\mu$ m-Align. 4 direction( mW)(Pop@30mA)							Coupling Efficiency		
NO.	0°	90°	180°	270°	Max	Min	C.E(max)	C.E(min)	Max-min
1	1.86	0.96	0.87	1.42	1.86	0.87	19.29%	9.02%	10.27%
2	1.8	1.1	0.95	1.52	1.8	0.95	18.35%	9.68%	8.66%
3	1.93	1.58	1	1.36	1.93	1	21.66%	11.22%	10.44%
4	1.89	1.22	1.13	1.78	1.89	1.13	18.79%	11.23%	7.55%
5	1.66	1.37	1.02	1.49	1.66	1.02	17.58%	10.81%	6.78%
6	1.77	1.5	0.97	1.32	1.77	0.97	17.65%	9.67%	7.98%
7	2.02	1.64	1.63	1.22	2.02	1.22	20.70%	12.50%	8.20%
8	1.88	1.57	1.29	1.71	1.88	1.29	18.52%	12.71%	5.81%
9	2.18	1.68	1.18	1.57	2.18	1.18	23.77%	12.87%	10.91%
10	1.88	1.05	0.78	1.45	1.88	0.78	18.58%	7.71%	10.87%
11	1.79	1.26	1	1.43	1.79	1	18.01%	10.06%	7.95%
12	1.7	1.05	0.9	1.45	1.7	0.9	16.92%	8.96%	7.96%
13	1.87	1.48	1.1	1.47	1.87	1.1	18.78%	11.04%	7.73%
14	1.8	1.26	0.96	1.45	1.8	0.96	18.16%	9.69%	8.48%
15	1.82	1.39	1.08	1.5	1.82	1.08	18.20%	10.80%	7.40%
16	2.13	1.44	1.2	1.88	2.13	1.2	21.24%	11.96%	9.27%
17	2	1.45	1.15	1.54	2	1.15	19.69%	11.32%	8.37%
18	2.05	1.53	1.21	1.77	2.05	1.21	20.38%	12.03%	8.35%
19	2	1.26	1.05	1.6	2	1.05	20.47%	10.75%	9.72%
20	1.90	1.36	1.08	1.52	1.90	1.055789	19.30%	10.74%	8.56%
Avg	1.90	1.36	1.08	1.52	1.90	1.06	19.30%	10.74%	8.56%
STDV.	0.13	0.21	0.18	0.16	0.13	0.13	0.02	0.01	0.01

表4-8 實驗結果(五)

chip offset 60 $\mu$ m w/o filter- Align. 4 direction with filter( mW)(Pop@30mA)							Coupling Efficiency		
NO.	0°	90°	180°	270°	Max	Min	C.E(max)	C.E(min)	Max-min
1	2.03	1.43	1.14	1.66	2.03	1.14	20.93%	11.75%	9.18%
2	2.2	1.35	1.27	1.87	2.2	1.27	21.80%	12.59%	9.22%
3	1.65	1.6	1.37	2.1	2.1	1.37	21.69%	14.15%	7.54%
4	2.13	1	0.96	1.6	2.13	0.96	22.90%	10.32%	12.58%
5	2.2	1.32	1.02	1.51	2.2	1.02	22.02%	10.21%	11.81%
6	2.3	1.45	1.07	1.48	2.3	1.07	22.91%	10.66%	12.25%
7	2.31	1.24	1.11	1.65	2.31	1.11	23.36%	11.22%	12.13%
8	2.15	1.45	1.29	1.71	2.15	1.29	21.48%	12.89%	8.59%
9	1.26	1.45	1.84	1.98	1.98	1.26	20.31%	12.92%	7.38%

10	2.12	1.46	1.13	1.5	2.12	1.13	21.18%	11.29%	9.89%
11	2.02	1.18	0.92	1.33	2.02	0.92	20.22%	9.21%	11.01%
12	1.89	1.09	1.2	1.71	1.89	1.09	18.92%	10.91%	8.01%
13	1.97	1.44	1.34	1.66	1.97	1.34	19.68%	13.39%	6.29%
14	1.65	1.53	1.21	2.3	2.3	1.21	22.93%	12.06%	10.87%
15	1.71	1.36	1.46	2.1	2.1	1.36	20.90%	13.53%	7.36%
16	2.2	1.32	1.41	1.6	2.2	1.32	21.85%	13.11%	8.74%
17	2.01	1.34	1.23	1.31	2.01	1.23	19.92%	12.19%	7.73%
18	2.11	1.62	1.43	1.71	2.11	1.43	20.87%	14.14%	6.73%
19	2.02	1.07	1.19	1.66	2.02	1.07	19.94%	10.56%	9.38%
20	2.15	1.40	1.08	1.43	2.15	1.08	21.18%	10.64%	10.54%
Avg	2.00	1.36	1.23	1.69	2.11	1.18	21.25%	11.89%	9.36%
STDV.	0.26	0.17	0.21	0.26	0.12	0.14	0.01	0.01	0.02

## 第五章 結論

本研究提供一種雙工次模組本體結構與封裝製程，以及耦光效率提升之方法。在雙工次模組封裝上，因其產品機構設計的不同，其相對應製程夾治具將有很大的差異，對應不同的產品應用，來選擇適合固定相對應機構金屬件的方式，如鋸接、膠封、鉚壓方式…等，其目的都是希望耦光效率能保持在最大數值，以提供後段模組電路的應用。因此除了半導體本身性能上的提昇之外，製程技術的改善也是一個相當重要的課題。本研究的主要成果及結論整理如下：

### 1. 雙工次模組封裝

雙工次模組的本體採粉末冶金的設計比起傳統 CNC 加工金屬件，在大量採購條件下其價格佔有絕對優勢，而本研究中所提供之封裝流程方法，對於雙工次模組的製作上提供一個高度參考價值。

### 2. 光學模擬的準確性

由 ZEMAX 光學軟體所模擬出來的表 4-2 的數據得知，當晶片以每

10  $\mu\text{m}$  單位距離做偏移時，其 T0 的出光角度變化約為 0.5 度，依此結果來推算出實驗所需 6° 光纖斜面所對應的晶片偏移距離應為 60  $\mu\text{m}$ ，在實際的封裝上也佐證其耦光效率的確為最大，以此光學模擬的方式來快速找出適當的實驗條件，將大大地縮短實驗時程，也證明本研究之光學模擬的準確性之高。

### 3. 光纖倒角方向相對於耦光效率的影響

為了在雷射銲接機上找出 T0 出光方向與光纖斜面相對的最大耦合功率位置，研究中依 0, 90, 180, 270 四個角度各別紀錄，發現四方向其最大與最小耦光功率的落差相當大，且當 T0 出光角度越大時，其功率最大之方向將更為一致。因此，如應用於生產製程上，建議可先封裝少量產品找出該批產品偏移的方向與角度，之後由自動化的雷射銲接機紀錄其位置參數進行對光，此法將有效地節省製程時間進而增加產能。

### 4. 晶片偏移距離對應耦光效率的改善

實驗中經由不同的晶片偏移距離而產生不同的出光角度，進而求證模擬數值的確能符合光纖斜面收光角度來找出最大耦光效率，由最後的結果得知，當晶片偏移 60  $\mu\text{m}$  時，其耦合效率比無偏移的晶片條件下的耦合效率還大了 5.46%，可見晶片的封裝偏移對於耦光效率改善是有所幫助的。

### 5. 濾波片對於耦光效率的影響

雙工次模組中為使不同波長光來進行傳送與接收功能，濾波片及扮演相當重要的角色，而實驗中也發現雷射光在經過了 0.3mm 的濾波片穿透後，其耦合效率約略有 1.82% 的損失，因此對於濾波片特性本身，對產品性能的影響也必須列入其設計考量。

## 參考文獻

- [1]W. H. Cheng, W. H. Wang., Y.M. Huang, H. Y. Chen , and H. H. Lin, 1995,"Failure mechanism of hole formation in laser welding technique for optoelectronic packaging,"Electronic Components an Technology Coference,Proceedings.,45<sup>th</sup>,pp.914-916.
- [2]W. H. Cheng, W. H. Wang., Y.M. Huang, and H. H. Lin, 1995,"Reduction of mircomovement in optoelectronic packaging,"Laser welding for Electro-Optics Society Annual Meeting Conference Proceedings 8<sup>th</sup>,Vol.1,pp.248-249 .
- [3]B. Valk,R. Batting, and O. Anthamatten, 1995,"Laser welding for fiber pigtailing with long-term stability and sub micron accuracy,"Opt. Eng.,Vol.34,pp.2675-2682.
- [4]P. Mueller and B. Valk , 2000,"Automated fiber attachment for 980 nm pump modules,"Electronic Components and Technology Conference , Proceedings.50<sup>th</sup>,pp. 5-9.
- [5]J.H. Kuang,M. T. Sheen,Z. C. Wang,G. L. Wang , and W. Cheng,2001,"Post-weld-shift in dual-in-line package,"IEEE Trans. On Advanced packaging.Vol.24,NO.1,pp.81-85.
- [6]趙芝山,「雷射鍔接於光通訊元件封裝之有限元素分析」, 國立交通大學碩士論文, 民國九十年六月.
- [7]蘇麗華,「光收發模組之光軸設計研究」, 國立海洋大學碩士論文, 民國九十六年六月。
- [8]許吉成,「以橢圓透鏡增加光纖訊號耦合效率之研究」, 國立臺灣科技大學碩士論文, 民國九十四年六月。
- [9]胡志允,「橢面微透鏡於雷射與光纖耦合效率」, 國立臺灣科技大學碩士論文, 民國九十七年六月。
- [10]張朝揚,「雷射光次模組中熱效應與耦光效率之分析」, 國立國立高雄應用科技大學碩士論文, 民國九十八年六月。

- [11]施性坤，「雷射銲接技術構裝雷射模組之銲後位移研究」，國立中山大學碩士論文，民國九十年六月。
- [12] D. K. Mynbaev, Lowell L. Scheiner, Fiber-Optic Communications Technology (Hardcover), Prentice Hall , 2000
- [13] B. Elliott, Gilmore, Fiber Optic Cabling, Butterworth-Heinemann, 2001
- [14]楊國輝、黃宏彥，雷射原理與量測概論，五南圖書，台北，民國九十年二月。
- [15]山下真司，光纖通訊原理與最新應用技術，建興文化事業有限公司，民國九十三年一月。
- [16]孫強、周虛，光纖通信系統及其應用，交通大學出版社，2004
- [17]玉田，光電子學與光纖傳感器技術，國防工業出版社，2003
- [18]吳翼峽，現屈光纖通信技術，國防工業出版社，2004
- [19]董天臨，光纖通信與光纖訊息網，清華大學出版社，2005
- [20]尹樹華、張尚發，光纖通信工程與工程管理，民眾郵電出版社，2005