

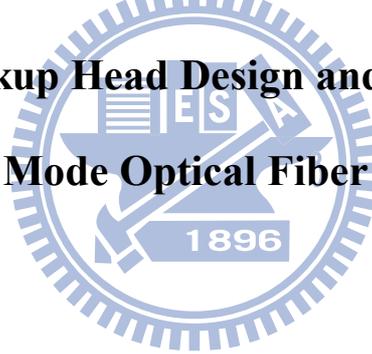
國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

基於單模光纖系統之微光學讀寫機構設計與分析

**Micro Optical Pickup Head Design and Analysis Based on
Single Mode Optical Fiber System**



研究生：江柏融

指導教授：鄭泗東 教授

民國九十八年七月

基於單模光纖系統之微光學讀寫機構設計與分析

Micro Optical Pickup Head Design and Analysis Based on Single Mode
Optical Fiber System

研究生：江柏融

Student : Po-Jung Chiang

指導教授：鄭泗東

Advisor : Stone Cheng

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文



A Thesis
Submitted to Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Mechanical Engineering

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

基於單模光纖系統之微光學讀寫機構設計與分析

摘要

藍光 BD 讀寫系統因其高容量之儲存能力將成為光資訊儲存產品市場主流。但藍光 BD 讀寫系統需與 CD、DVD 碟片兼容，因此不同波長雷射光源裝置造成藍光讀寫頭之體積過於龐大。如何使藍光讀寫系統之讀取寫頭微型化、輕量化便成為當前的研發課題。本文介紹基於單模光纖系統之微光學讀寫機構設計與分析，說明如何藉由單模光纖及其週邊元件，將系統中的雷射光源光學組件及驅動電路由光學讀寫頭分離出來以達到微型化、輕量化的目的。

關鍵詞：單模光纖、物鏡、光纖式光學讀寫頭



Micro Optical Pickup Head Design and Analysis Based on Single Mode Optical Fiber System

Abstract

Blu-ray Disc drive systems become the mainstream on optical data storage products market because of its high storage capacity. However, the BD optical pickup head is quite bulky because it has to be backward compatible with CD and DVD discs caused the BD optical pickup system needs to equip different laser light sources. So, the important subject for research and development of BD pickup head is how to reduce the size and weight. This article introduces the system structure of micro optical pickup head design and analysis based on single mode optical fiber system to separate the laser diode optics modules and driving circuit board from optical pickup head for reducing the size and weight of traditional optical pickup head.

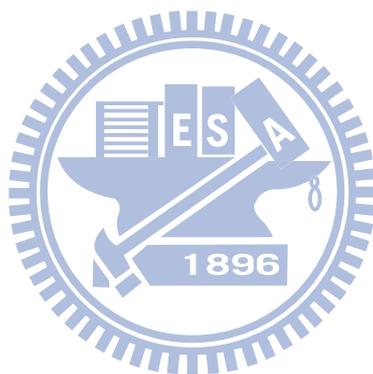
Keywords: Single mode fiber, objective lens, optical fiber pickup head.

致謝

本文能順利完成首先要感謝指導教授鄭泗東博士這兩年來細心的栽培，不僅在研究與實驗上傳授豐富的知識與支援，同時更分享許多人生上的經驗與道理。在這段學習過程中，不但加深了對研究領域的認知與根基，更提升了自己的想法與眼界，使我得已順利完成碩士學位。

除了老師之外，亦感謝上屆的學長伯謙、凱文、秩維與同學其韋、祥志、義銘以及學弟妹在生活以及學業上的協助，更要感謝過去的老師與同學們，沒有他們就不會有現在的我。

最後還要感謝一路陪伴我的父親、母親、妹妹、女友。不但在生活、心靈與經濟上給予鼓勵、包容與支持，並在沮喪、失落時提供了避風港，讓我可以繼續奮鬥下去。

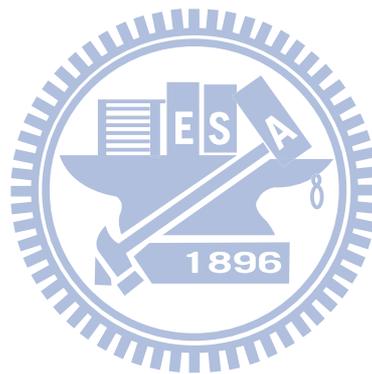


目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
一、緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	3
1.3 光學讀寫頭之演變.....	6
1.4 光學讀寫頭之循軌原理.....	7
1.5 光學讀寫頭之聚焦原理.....	9
1.6 文獻回顧.....	11
二、系統架構.....	16
2.1 設計概念.....	16
2.2 系統架構.....	16
2.3 系統參數與數學推導.....	17
三、系統設計模擬與分析.....	25
3.1 軟體簡介.....	25
3.2 光學讀寫頭物鏡之設計與分析.....	25
3.3 光纖耦合透鏡之設計與分析.....	34
3.4 系統整體之模擬與分析.....	40
3.5 模擬結果與分析.....	51
四、系統實驗平台架設與配置.....	53
4.1 實驗架設與操作.....	53
4.2 光偵測器之製作.....	61
4.3 紅光、綠光與藍光系統之實驗結果與分析.....	64
五、結論與未來展望.....	71
六、參考文獻.....	72
附錄 A- Sterhl ratio 之定義.....	74
附錄 B-單模與多模波導.....	75

表目錄

表 1.1.1 BD 與 HD-DVD 之比較	3
表 3.2.1 BD、DVD、CD 所對應之規格	25
表 3.2.2 物鏡於不同工作環境下所對應之規格.....	26



圖目錄

圖 1.1.1 (a) SONY 之藍光讀寫頭	2
圖 1.1.1 (b) LG 之藍光讀寫頭.....	2
圖 1.2.1(a) 紅光 DVD 讀寫頭(左)與藍光 BD 讀寫頭(右)之比較.....	4
圖 1.2.1(b) 紅光 DVD 讀寫頭(下)與藍光 BD 讀寫頭(上)之比較.....	4
圖 1.2.2 (a) 藍光 DVD 讀寫頭之光路圖	5
圖 1.2.2 (b) 紅光 DVD 讀寫頭之光路圖	5
圖 1.3.1 第一代光學讀寫頭[6].....	6
圖 1.3.2 第三代光學讀寫頭[6].....	7
圖 1.4.1 三光束法於光學讀寫頭循軌之應用[7].....	7
圖 1.4.2 推挽法於光學讀寫頭循軌之應用[7].....	8
圖 1.4.3 相位差分法於光學讀寫頭循軌之應用	9
圖 1.5.1 像散法於光偵測器上之應用[8].....	10
圖 1.5.2 刀緣法於光偵測器上之應用[8].....	10
圖 1.5.3 光點法於光偵測器上之應用[8].....	11
圖 1.6.1 SONY 專利 6966707 之光學讀寫頭架構圖[1].....	12
圖 1.6.2 SONY 專利 6966707 之光纖系統架構圖[1].....	12
圖 1.6.3 SONY 專利 6349082 之光學讀寫頭架構圖[2].....	13
圖 1.6.4 SONY 專利 6349082 中保偏光纖之銜接架構圖[2].....	13
圖 1.6.5 單模光纖彎曲之曲率與雙折射率於波長 633 nm 之對應圖[4]	14
圖 1.6.6 單模光纖做為波片之架構圖[5].....	14
圖 1.6.7 單模光纖作為偏振控制器之架構圖[5].....	15
圖 2.2.1 光纖光學讀寫頭之系統架構圖	17
圖 2.3.1 雷射入射至光纖之示意圖[10].....	18
圖 2.3.2 單模光纖受應力產生形變之示意圖[4].....	20
圖 2.3.3 單模光纖受應力產生折射率改變之區塊[4]	20
圖 2.3.4 單模光纖做為波片之架構圖[5].....	23
圖 3.2.1 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 405 nm)	28
圖 3.2.2 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 650 nm)	28
圖 3.2.3 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 780 nm)	29
圖 3.2.4 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 405 nm)	29
圖 3.2.5 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 650 nm)	30
圖 3.2.6 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 780 nm)	30
圖 3.2.7 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 405 nm)	31
圖 3.2.8 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 650 nm)	31

圖 3.2.9 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 780 nm)	32
圖 3.2.10 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 405 nm)	32
圖 3.2.11 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 650 nm)	33
圖 3.2.12 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 780 nm)	33
圖 3.3.1 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 405 nm)	36
圖 3.3.2 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 650 nm)	37
圖 3.3.3 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 780 nm)	37
圖 3.3.4 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 405 nm)	38
圖 3.3.5 由 Code V 分析之 MTF (入射光波長 650 nm)	38
圖 3.3.6 由 Code V 分析之 MTF (入射光波長 780 nm)	39
圖 3.4.1 TracePro 光路之元件配置(上：Y-Z 平面；下：X-Z 平面)	40
圖 3.4.2 由 TracePro 模擬之光路圖(X-Z 平面)	41
圖 3.4.3 由 TracePro 模擬之光路圖(Y-Z 平面)	41
圖 3.4.4 由 TracePro 模擬之光路圖(X-Y-Z 平面)	42
圖 3.4.5 由 TracePro 設定之雷射光源(50mW)	42
圖 3.4.6 由 TracePro 分析對焦時光碟片之光強度圖(1.1669 mW)	43
圖 3.4.7 由 TracePro 分析對焦時光偵測器之光強度圖(1.1423 mW)	44
圖 3.4.8 由 TracePro 分析離焦 0.05 mm 時光偵測器之光強度圖(1.117 mW)	45
圖 3.4.9 由 TracePro 分析離焦 0.01 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1528 mW)	46
圖 3.4.10 由 TracePro 分析離焦 0.005 mm 時光偵測器之光強度圖(1.151 mW) ..	47
圖 3.4.11 由 TracePro 分析離焦 -0.005 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1325 mW) ..	48
圖 3.4.12 由 TracePro 分析離焦 -0.01 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1207 mW) ..	49
圖 3.4.13 由 TracePro 分析離焦 -0.05 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1185 mW) ..	50
圖 3.5.1 由近焦至遠焦光偵測器之光強度變化	52
圖 4.1.1 整體系統架構示意圖	53
圖 4.1.2 整體系統架構圖	54
圖 4.1.3 紅光雷射光源(波長 635 nm)	54
圖 4.1.4 綠光雷射光源(波長 532 nm)	55
圖 4.1.5 藍光雷射光源(波長 405 nm)	55
圖 4.1.6 偏振分光鏡	56
圖 4.1.7 光纖耦合器與單模光纖	56
圖 4.1.8 光纖偏振控制器	57
圖 4.1.9 單模光纖出射之光斑(紅光)	57
圖 4.1.10 單模光纖出射之光斑(綠光)	58
圖 4.1.11 單模光纖出射之光斑(藍光)	58
圖 4.1.12 物鏡與模擬光碟片用之壓電材料	59
圖 4.1.13 物鏡與光碟片	59
圖 4.1.14 光偵測器及接收之光斑位置	60

圖 4.1.15 隔絕雜光後之光偵測器與光圈	60
圖 4.1.16 檢測回傳雷射光強度之光功率計	61
圖 4.2.1 Si PIN 光偵測器 S5980	62
圖 4.2.2 光偵測器之 A、B、C、D 象限之電路圖	62
圖 4.2.3 經處理後之 A、B、C、D 象透過運算所得之聚焦誤差電路圖	63
圖 4.2.4 光偵測器與隔絕雜光之鐵盒	63
圖 4.2.5 光偵測器之電路板	64
圖 4.3.1 由壓電材料回傳至光偵測器之紅光雷射於示波器所顯示之訊號	65
圖 4.3.2 由光碟片回傳至光偵測器之紅光雷射於示波器所顯示之訊號	65
圖 4.3.3 由光碟片回傳至光偵測器之紅光雷射於光功率計所顯示之讀數	66
圖 4.3.4 由壓電材料回傳至光偵測器之綠光雷射於示波器所顯示之訊號	66
圖 4.3.5 由光碟片回傳至光偵測器之綠光雷射於示波器所顯示之訊號	67
圖 4.3.6 由光碟片回傳至光偵測器之綠光雷射於光功率計所顯示之讀數	67
圖 4.3.7 由壓電材料回傳至光偵測器之藍光雷射於示波器所顯示之訊號	68
圖 4.3.8 由光碟片回傳至光偵測器之藍光雷射於示波器所顯示之訊號	68
圖 4.3.9 由光碟片回傳至光偵測器之藍光雷射於光功率計所顯示之讀數	69
圖 A.1 Sterhl ratio 與點擴散函數圖	74
圖 B.1 步級折射光纖 LP_{01} 模態之電場圖樣	75
圖 B.2 步級折射光纖 LP_{11} 模態(左)與 LP_{21} 模態(右)之電場圖樣	75



一、緒論

1.1 前言

隨著科技的日新月異，對光資訊儲存及應用的領域而言，容量的要求愈來愈大，期望的產品體積愈來愈小。目前市面上常見之 CD、DVD 紅光光碟機所採用的是紅光雷射：CD 紅光光碟機之雷射波長為 780 nm ，光碟片之 NA 值為 0.45、軌距為 $1.6\ \mu\text{m}$ 、記錄點為 $0.83\ \mu\text{m}$ ，資料層深度為 1.2 mm ；DVD 紅光光碟機之雷射波長則是 650 nm ，光碟片之 NA 值為 0.6、軌距為 $0.74\ \mu\text{m}$ ，資料層深度為 0.6 mm 、記錄點為 $0.4\ \mu\text{m}$ 。新一代的 BD、HD-DVD 藍光光碟機則將雷射改用波長更短、頻率更高的藍光雷射：BD 藍光光碟機之雷射波長為 405 nm ，光碟片之 NA 值為 0.85、軌距為 $0.32\ \mu\text{m}$ 、記錄點為 $0.14\ \mu\text{m}$ ，資料層深度為 0.1 mm ；HD-DVD 藍光光碟機之雷射波長為 405 nm ，光碟片之 NA 值為 0.65、軌距為 $0.4\ \mu\text{m}$ 、記錄點為 $0.2\ \mu\text{m}$ ，資料層深度為 0.6 mm 。紅光碟片與藍光碟片兩者間最明顯的差異處在於儲存能力。過去的紅光 DVD 技術所使用的光碟片僅提供 4.7GB 的儲存容量。新一代的藍光碟片在僅只 0.1 mm 厚度的基板上紀錄資料，且藍光光碟片之單層容量已達到 25GB，雙層則更高達 50GB。一個可讀寫的藍光雙層碟片將達到 50GB 的容量。除此之外，藍光光碟片亦可支援 1920×1080 的高解析度。藍光碟片在光資訊儲存的領域帶來重大的變革，若以 160GB 之硬碟備份而言，若以容量 4.7GB 之 DVD 光碟片備分，需要數十張才能完成資訊之儲存，而藍光碟片大約只要三至四張。

隨著影像高畫質的提升與需求，對於儲存媒體之容量要求亦不斷擴大，次世代光儲存技術因應而生。由 SONY 與其他頂尖公司共同推廣的 Blu-ray Disc 藍光光碟技術，除具有容量高、傳輸速度快等優勢，使用者更可自行燒錄藍光碟片。此外，BD 系統具有高度相容性，除相容 BD-R 與 BD-RE 之外，更可支援既有之 CD 與 DVD 格式燒錄備份功能。藍光碟片的高容量、高解析度、高相容性、高自由度在高畫質世界當中扮演關鍵性的地位，在光資訊儲存界中勢必逐漸成為市

場上的主流。

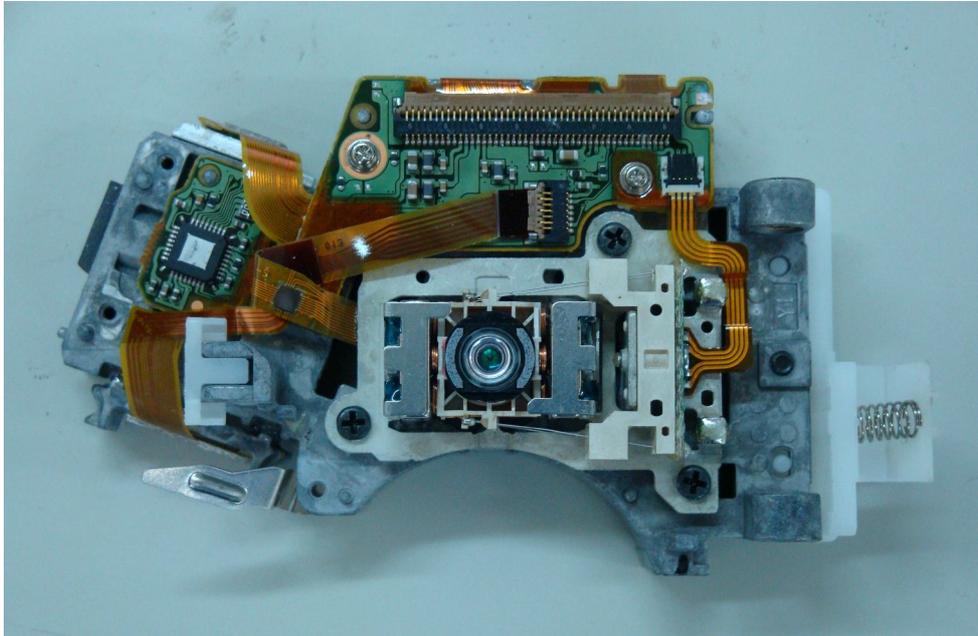


圖 1.1.1 (a) SONY 之藍光讀寫頭

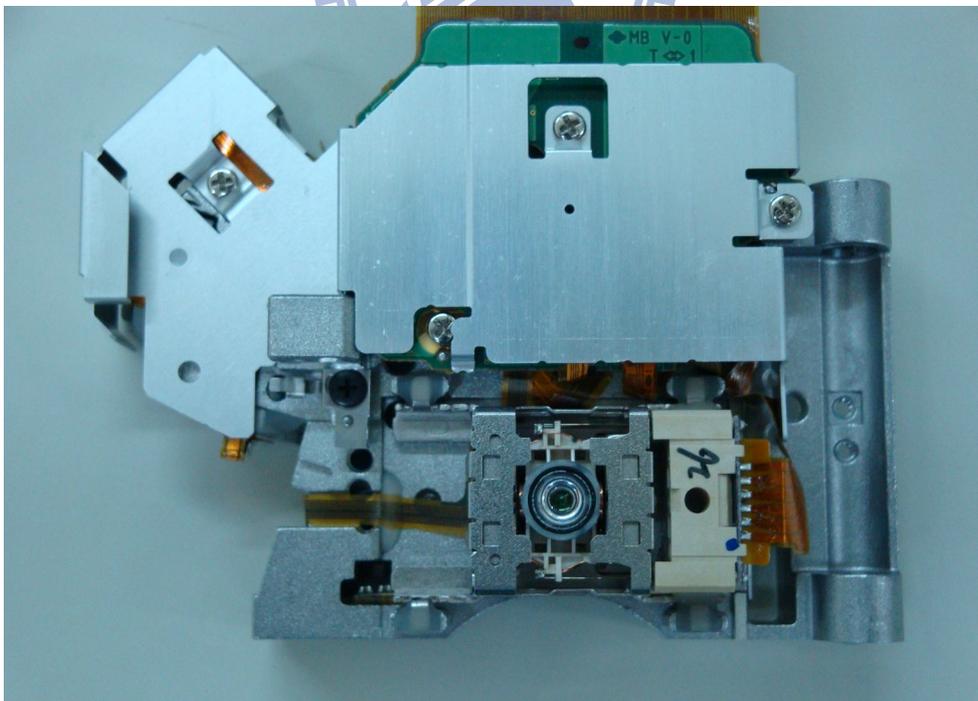


圖 1.1.1 (b) LG 之藍光讀寫頭

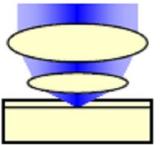
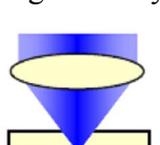
 Blu-ray Disk (BD)	 High Density DVD (HD-DVD)
<ul style="list-style-type: none"> - $\lambda=405\text{nm}$ - $\text{NA}=0.85$ - $d=0.1\text{mm}$ - Track pitch $0.32\mu\text{m}$ - Min feature size: $\sim 0.16\mu\text{m}$ - ROM Capacity: 25GB per layer - Focus depth $< 0.5\mu\text{m}$ - Tilt margin $\sim \text{DVD}$ - Cover layer thickness margin $\pm 2\mu\text{m}$ - 13C format proposal 	<ul style="list-style-type: none"> - $\lambda=405\text{nm}$ - $\text{NA}=0.65$ - $d=0.6\text{mm}$ - Track pitch $0.4\mu\text{m}$ - Min. feature size: $\sim 0.20\mu\text{m}$ - ROM Capacity: 15GB per layer - Focus depth $< 0.8\mu\text{m}$ - Tilt margin $\ll \text{DVD}$ - Cover layer thickness margin $\pm 20\mu\text{m}$ - DVD-Forum format proposal

表 1.1.1 BD 與 HD-DVD 之比較

1.2 研究動機

藍光讀寫系統雖具備優異的光資訊儲存能力，但藍光光碟機在讀寫頭的設計上始終無法小型化，原因在於藍光光碟機之讀寫頭是由 CD 紅光雷射、DVD 紅光雷射、BD 藍光雷射、光偵測器等光學元件與控制迴路所組成，因此系統體積龐大，在控制上及微型化上都會面臨相當多的問題。若能將電路板及雷射光之光源由讀寫頭分離出來，即可降低讀寫頭之負載與體積大小，使其在控制上及微型化上能有效改善。本文之研究即是藉由單模光纖之特性，使電路板及雷射光之光源由讀寫頭分離出來，再透過單模光纖將雷射光由光源傳遞至讀寫頭讀取光碟片上之資訊並再次經由單模光纖回傳至光偵器讀取訊號。如此一來便能有效降低讀寫頭上的負載，使讀寫頭更佳利於控制，在設計上也能朝微型化的方向發展。

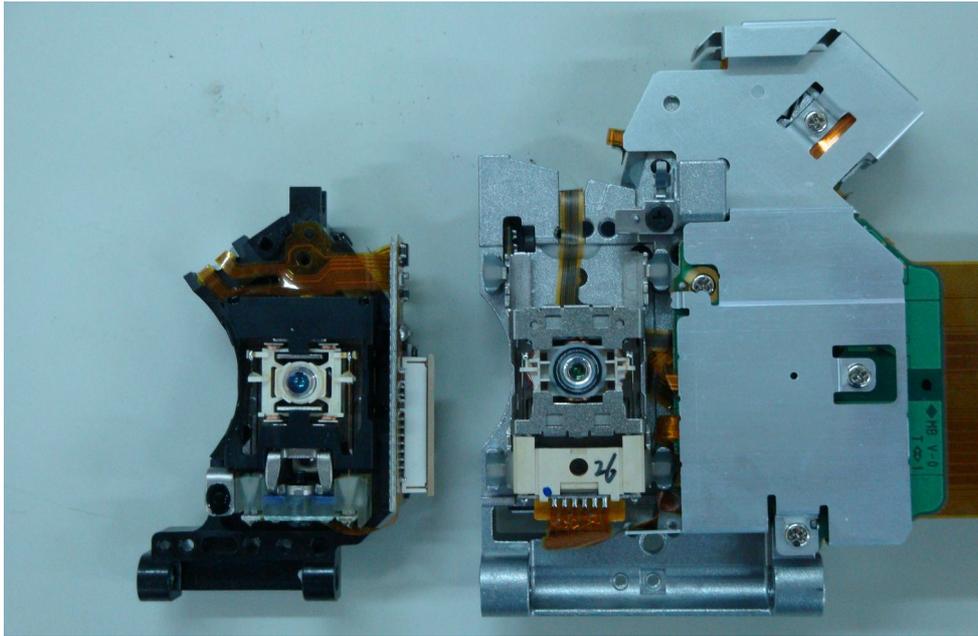


圖 1.2.1(a) 紅光 DVD 讀寫頭(左)與藍光 BD 讀寫頭(右)之比較

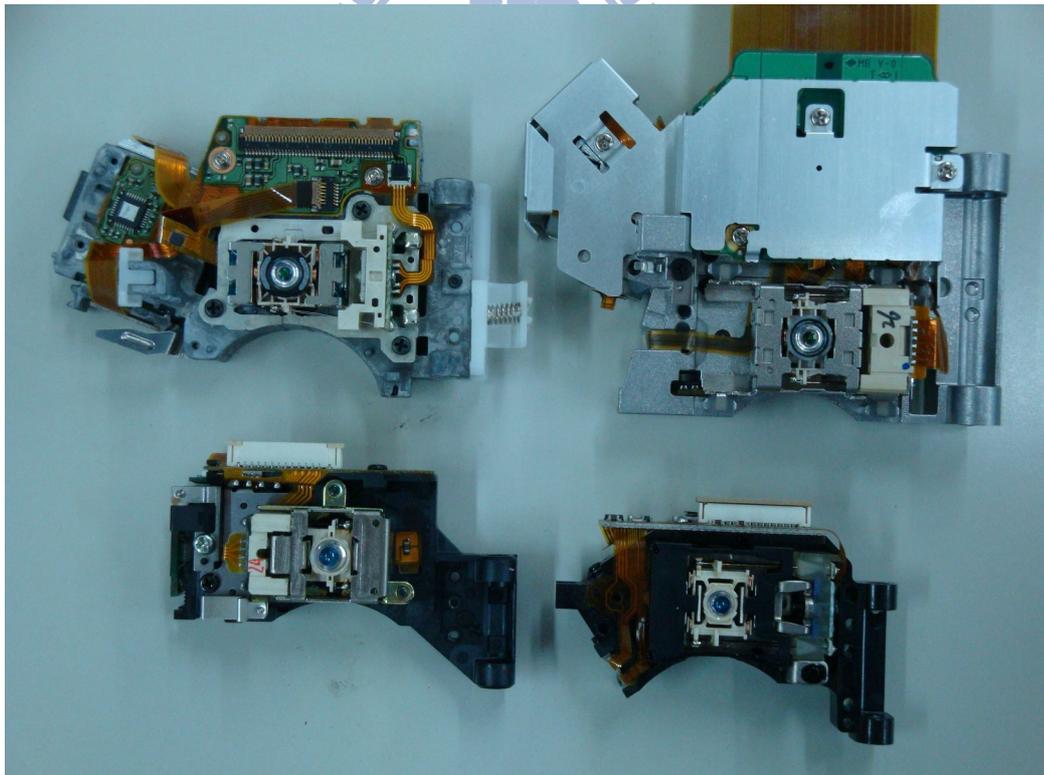


圖 1.2.1(b) 紅光 DVD 讀寫頭(下)與藍光 BD 讀寫頭(上)之比較

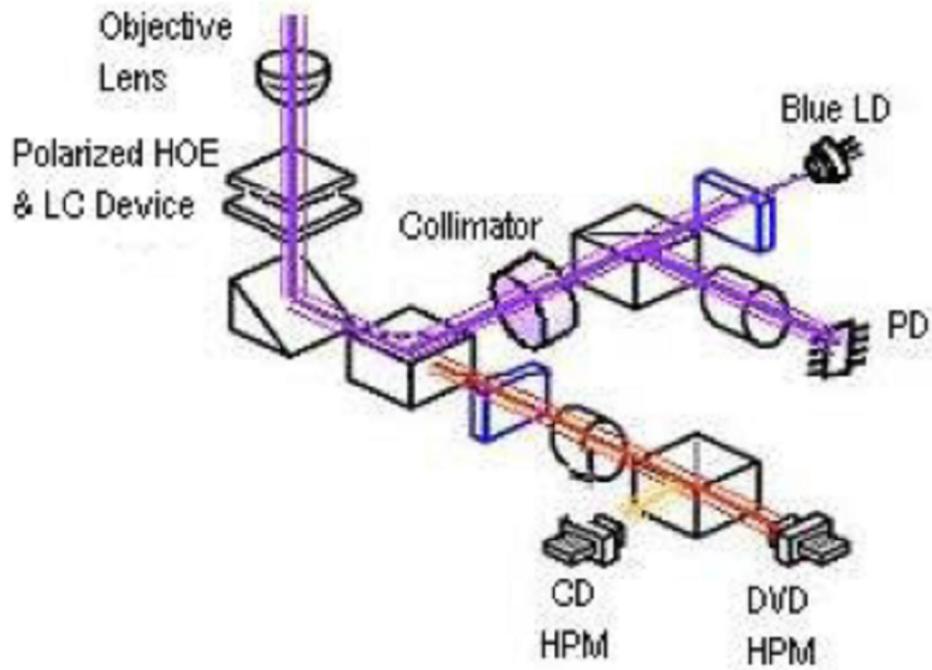


圖 1.2.2 (a) 藍光 DVD 讀寫頭之光路圖

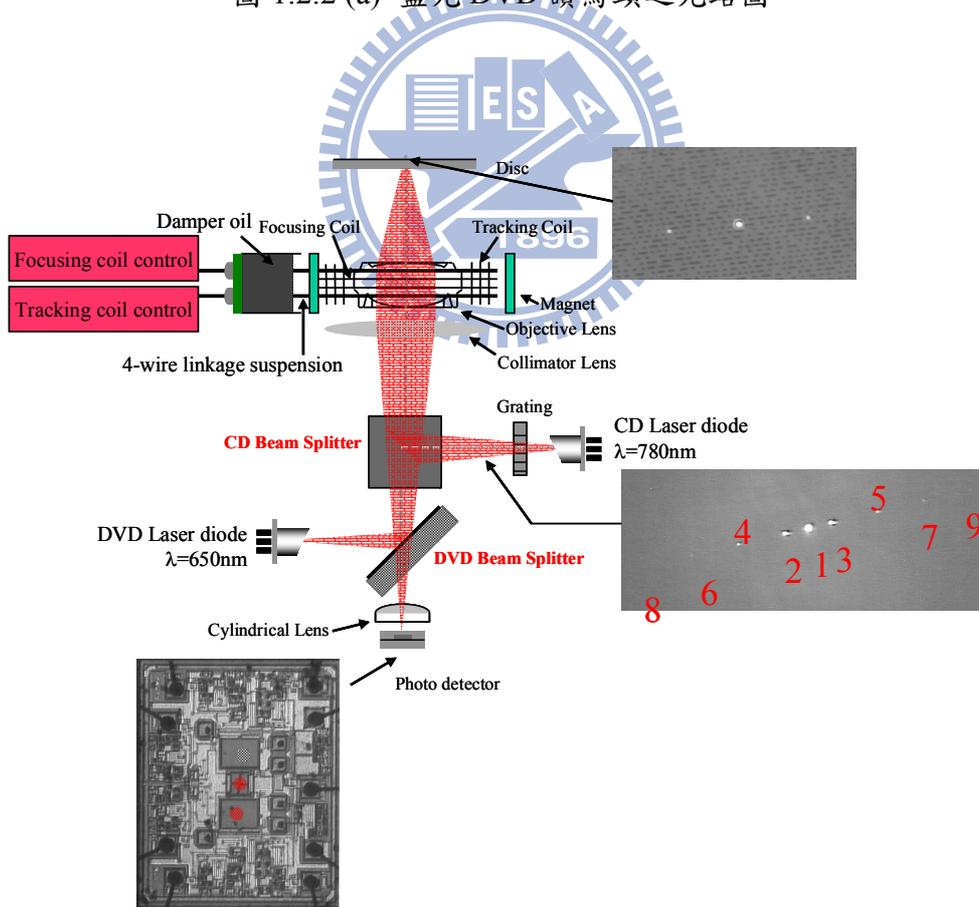


圖 1.2.2 (b) 紅光 DVD 讀寫頭之光路圖

1.3 光學讀寫頭之演變

光學讀寫頭經過長時間改良，原先複雜之光學元件已簡化許多，藉由加厚分光鏡可取代許多光學元件[6]，如圖 1.3.1 與圖 1.3.2 所示。即便如此，相較於同心圓分佈之硬碟磁軌，光碟片之資料軌為由圓心向外之螺旋狀分佈[9]。當光碟片旋轉時，光學讀寫頭需不斷藉由循軌、聚焦之伺服控制維持光點之位置以確實讀取資料。光學讀寫頭基本的偵測原理如循軌與聚焦並無太大改變。循軌之原理分為三光束法與推挽法、相位差分法[7]；聚焦之原理分為像散法、刀緣法及光點法[8]。

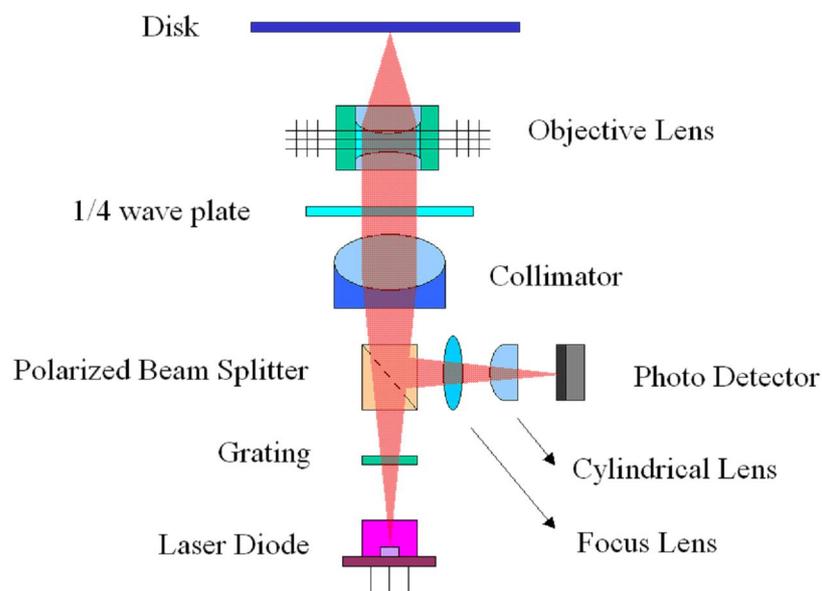


圖 1.3.1 第一代光學讀寫頭[6]

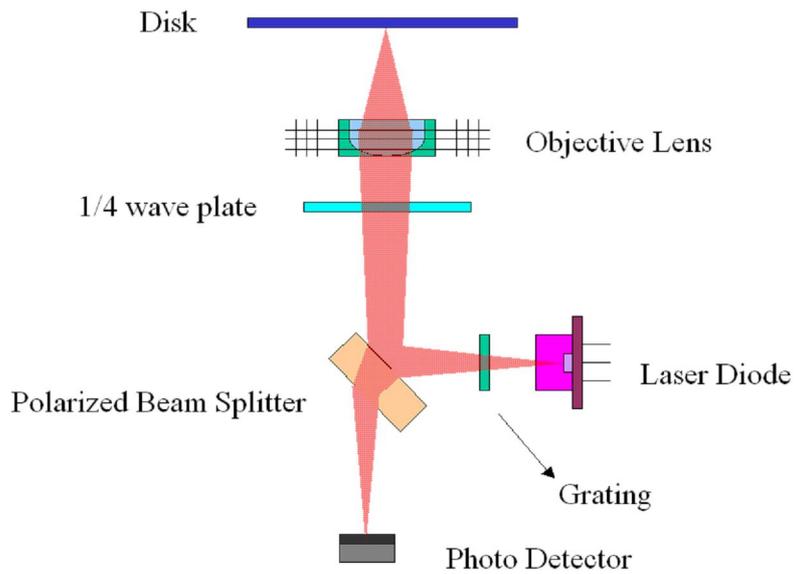


圖 1.3.2 第三代光學讀寫頭[6]

1.4 光學讀寫頭之循軌原理

三光束法(圖 1.4.1)是利用光學繞射元件光柵將雷射光束分為+1 階光、0 階光、-1 階光。當光學頭準確聚焦時，將會如圖 1.4.1 所示。由光碟片回傳之 0 階光將打在四象限光偵測器上，+1 階與-1 階光則分別打在 E 與 F 象限上。當光學頭準確聚焦於資料軌上時，E、F 象限所接收之能量相等。若學光學頭未準確聚焦於資料軌上，E、F 象限之能量便不相當。即可將此法用以偵測循軌誤差。

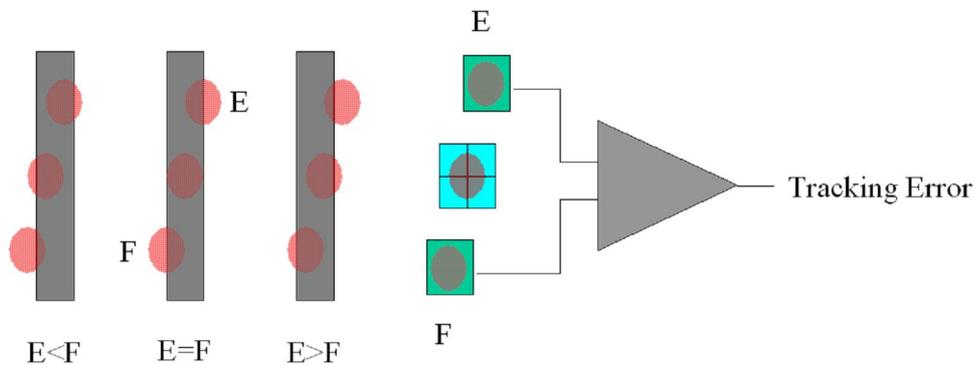


圖 1.4.1 三光束法於光學讀寫頭循軌之應用[7]

推挽法(圖 1.4.2)是利用 DVD、BD 光碟之軌距較小，因此具有反射式光柵之效果，使反射之光束產生繞射現象，回傳之雷射光可分為+1 階光、0 階光、-1 階光。由光碟片回傳至光偵測器之+1 階光、0 階光與-1 階光會因部分重疊而產生干涉現象。當光點準確聚焦於資料軌時，光偵測器所收到的能量相等如圖 1.4.2 (b)所示。若光點未準確聚焦於資料軌，則光偵測上所收到的能量將產生偏差進而偵測出循軌誤差。一般而言，推挽法多半用於可記錄型碟片與磁光碟片。

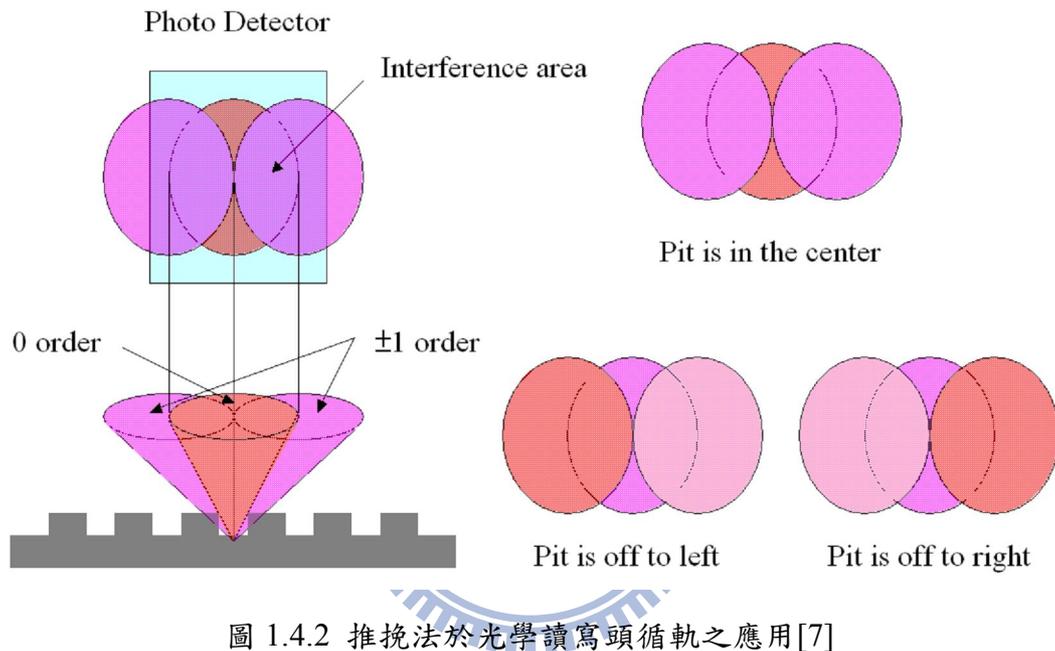


圖 1.4.2 推挽法於光學讀寫頭循軌之應用[7]

相位差分法(圖 1.4.3)亦是利用 DVD、BD 光碟之軌距較小，因此具有反射式光柵之效果，使反射之光束產生繞射現象。雷射光反射後會在 x 與 y 方向產生繞射現象並於四象限光偵測器上彼此干涉。各階繞射將因軌道上之聚焦光點位置不同而有所差異，使回傳之光強度產生變化，進而偵測出循軌誤差。相較於推挽法，相位差分法僅可用於唯讀型光碟片上。

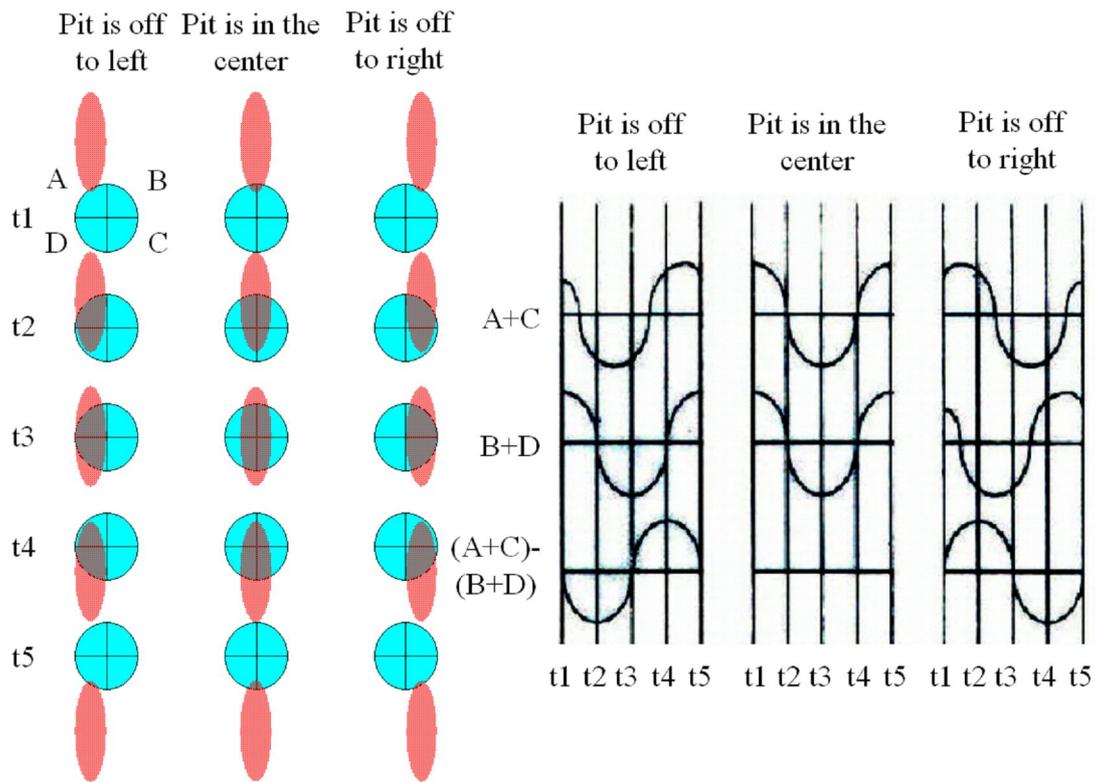


圖 1.4.3 相位差分法於光學讀寫頭循軌之應用

1.5 光學讀寫頭之聚焦原理

像散法(圖 1.5.1)是利用光束在通過圓柱透鏡時，因其子午面與弧矢面之焦距不同，造成聚焦點之前後產生不同光斑之像差來偵測聚焦點時否正確。因此當物鏡未將雷射光束準確聚焦至光碟片上時，雷射光束之路徑將產生變化，即可藉由像散法偵測其聚焦之誤差量並作伺服控制。

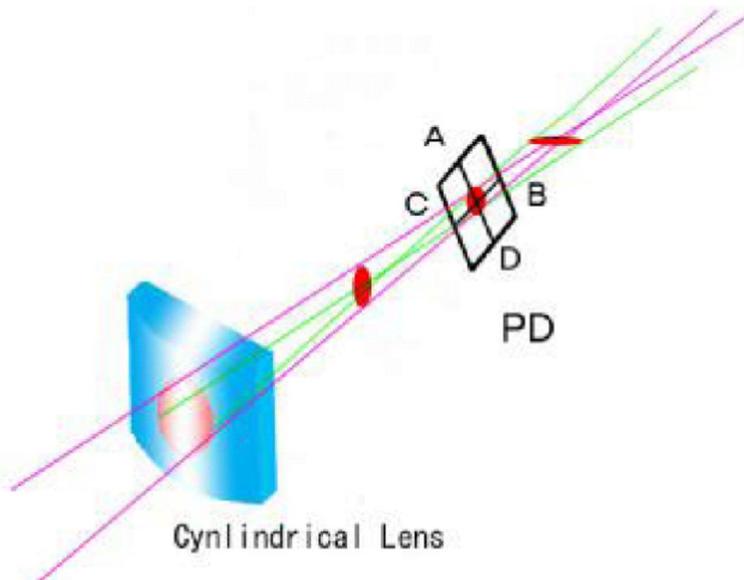


圖 1.5.1 像散法於光偵測器上之應用[8]

刀緣法(圖 1.5.2)是在光路上設置一塊遮光板，使得光束之聚焦點前之產生不同之聚焦光斑。不同之光斑將使二象限光偵測器產生不同之電壓，透過接收到之電壓差即可偵測出光碟片之上之聚焦誤差，進而對物鏡作聚焦之伺服控制。

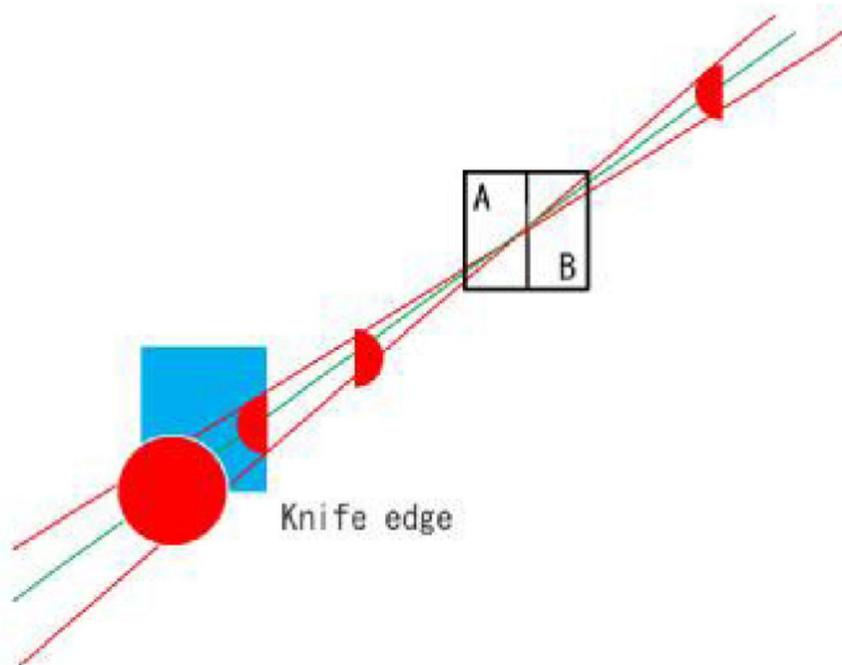


圖 1.5.2 刀緣法於光偵測器上之應用[8]

光點法(圖 1.5.3)是利用六象限之光偵測器進行偵測。當物鏡未將雷射光束準確聚焦至光碟片上時，回傳之光束藉由透鏡聚焦至光偵測器時，其光斑大小將因聚焦點不同而有所改變，使六象限光偵測器之輸出電壓有所改變，因而偵測出其聚焦之誤差量，並做後續之伺服控制。

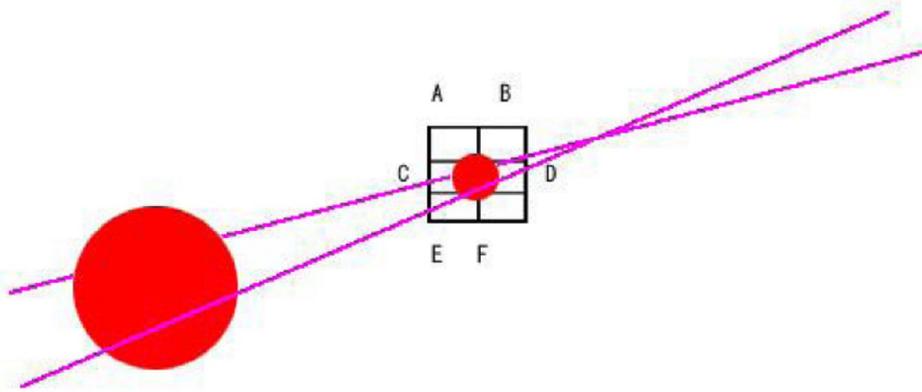


圖 1.5.3 光點法於光偵測器上之應用[8]

1.6 文獻回顧

隨著光碟片之儲存容量與規格之改變，雷射光源亦經過許多變格，由過去 CD 紅光雷射(波長 780nm)變為 DVD 紅光雷射(波長 650nm)直到新一代 BD 藍光雷射(波長 405nm)。隨著雷射光源與其相對應之電路、光學元件的增加，光學讀寫頭之微型化成為現今主要課題。

在 SONY 專利 6966707 中[1]，單模光纖被應用於光學讀寫頭上，如圖 1.6.1。藉由場變換光纖(field-distribution converting fiber)與雙折射光纖(birefringence fiber)之結合如圖 1.6.2。在光纖系統前半段，雷射光束將被整形，在系統後半段，雷射光束將由無偏振之光束轉變為線性偏振光。透過此結構，光學讀寫頭中之菱鏡等光學元件將可以省略，達到微型化之目的。

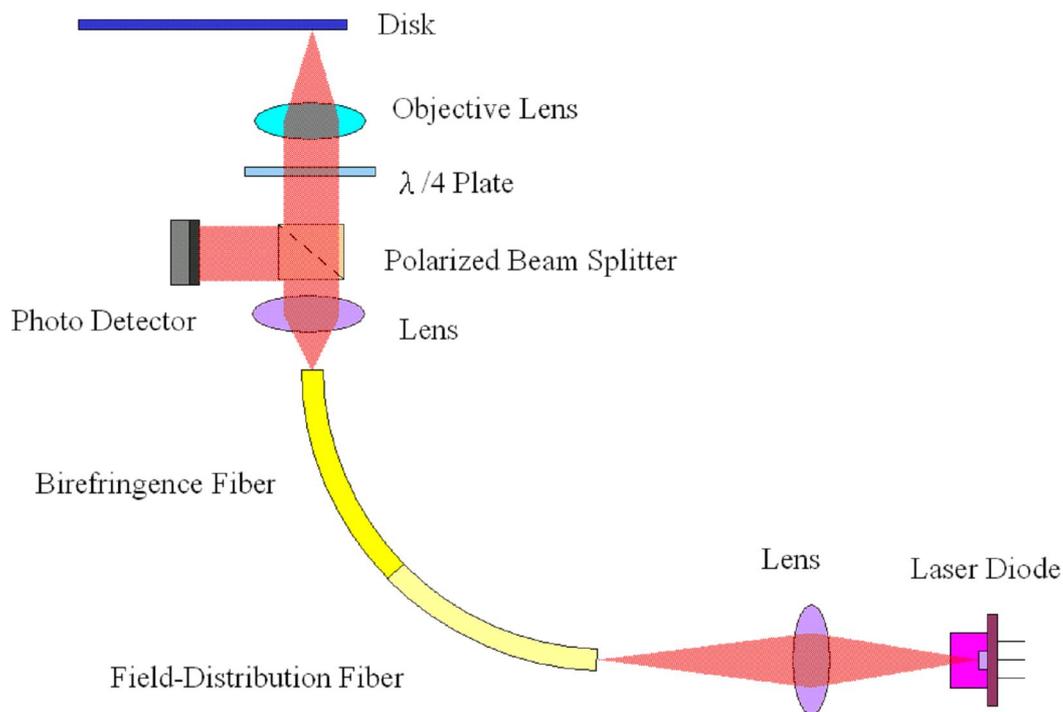


圖 1.6.1 SONY 專利 6966707 之光學讀寫頭架構圖[1]

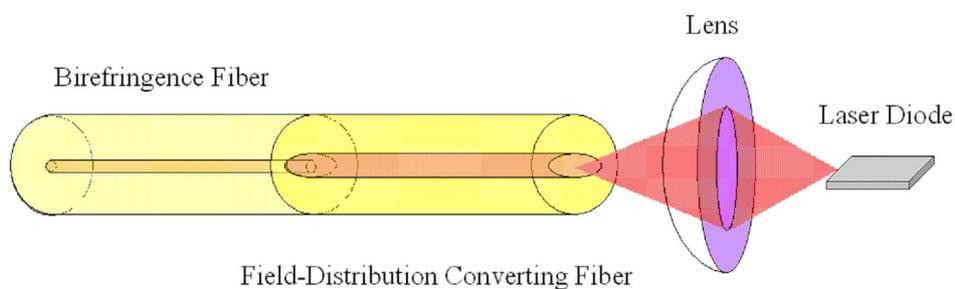


圖 1.6.2 SONY 專利 6966707 之光纖系統架構圖[1]

SONY 專利 6349082 中[2]，將保偏光纖(polarization preserving optical fiber)應用於多重光碟讀寫系統上如圖 1.6.3。透過兩段保偏光偏之結合如圖 1.6.4，可用於維持雷射光之偏振態。不論是讀寫凹槽式光碟(pit pattern disc)、相位變換光碟(phase change disc)或是磁光光碟(magneto-optical disc)，此系統皆能完成資料之存取、循軌、聚焦之偵測。

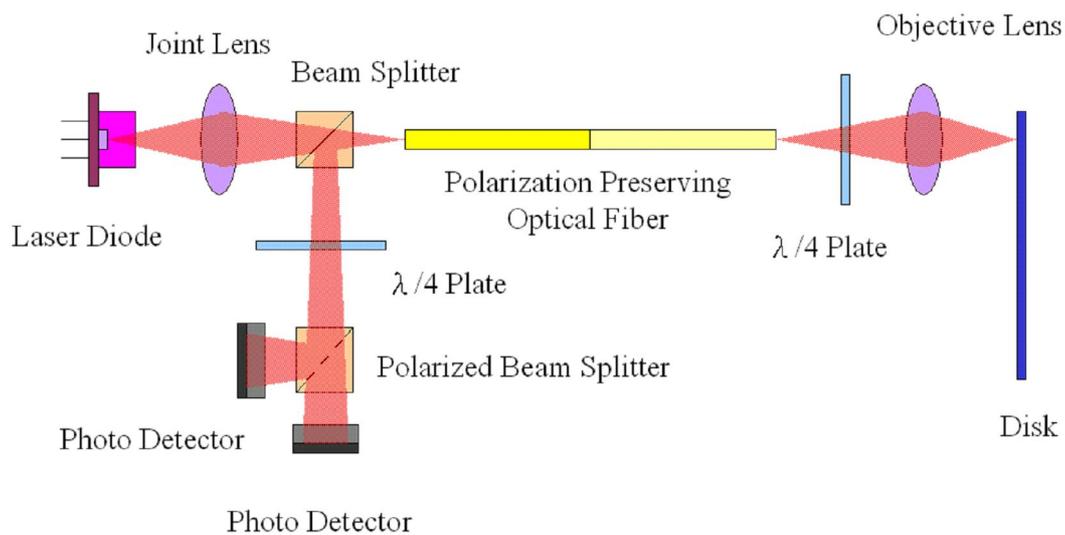


圖 1.6.3 SONY 專利 6349082 之光學讀寫頭架構圖[2]

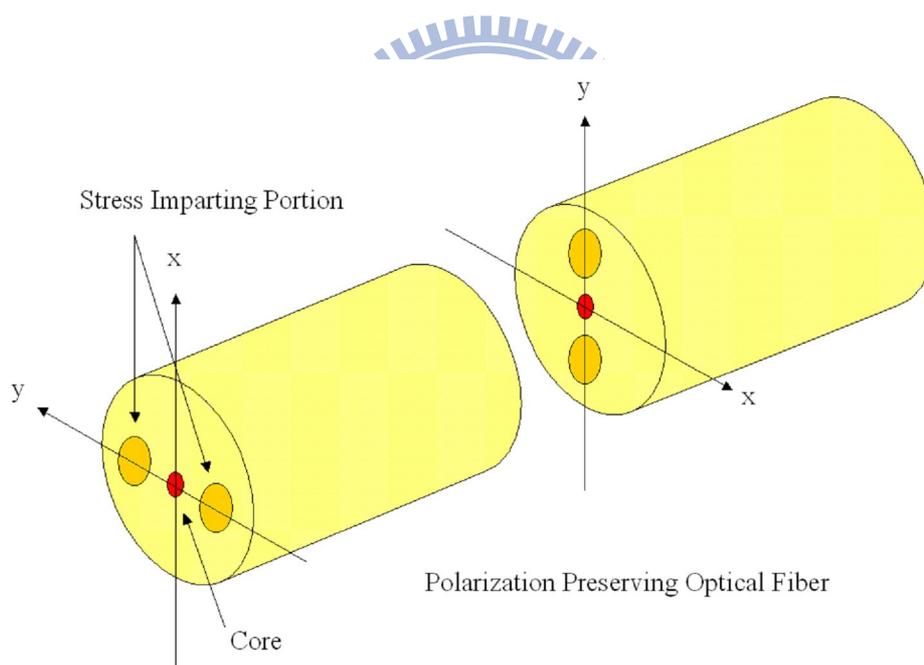


圖 1.6.4 SONY 專利 6349082 中保偏光纖之銜接架構圖[2]

在 R. Ulrich、S. C. Rashleigh 與 W. Eickhoff 所發表的文章中提到[4]，藉由單模光纖受應力彎曲時，單模光纖之折射率將產生改變，進而使單模光纖產生雙折射(birefringence)之現象(圖 1.6.5)。

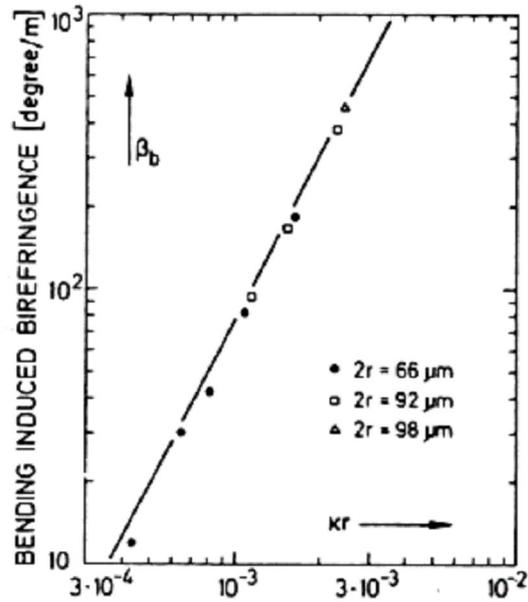


圖 1.6.5 單模光纖彎曲之曲率與雙折射率於波長 633 nm 之對應圖[4]

H. C. Lefevre 在文獻更利用單模光纖受應力彎曲時，單模光纖產生雙折射之現象，即可將單模光纖圈加以應用作為各種波片(Wave plate)，且改變光纖圈之平面可控制快軸之方向如圖 1.6.6[5]。透過不同光纖所組成之波片，即可應用於偏振光之控制如圖 1.6.7。

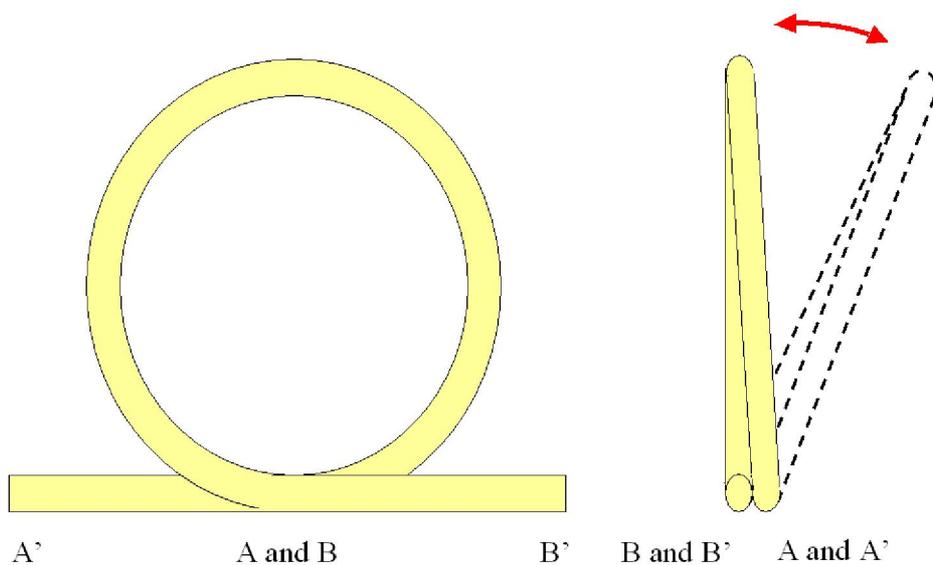


圖 1.6.6 單模光纖做為波片之架構圖[5]

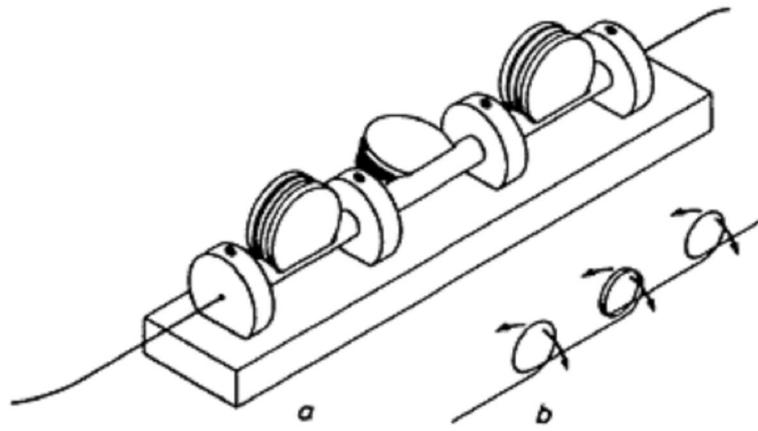
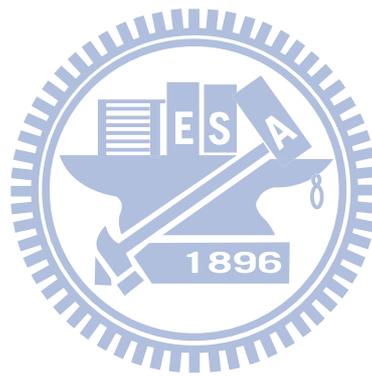


圖 1.6.7 單模光纖作為偏振控制器之架構圖[5]



二、系統架構

2.1 設計概念

由於藍光光碟機之讀寫頭是由 CD 紅光雷射、DVD 紅光雷射、BD 藍光雷射所組成，體積龐大的雷射光源及其控制迴路佔據了光學讀寫頭大部分的空間，因此在微型化及控制上都提高困難度。若能將電路板及雷射光之光源由讀寫頭分離出來，即可降低其負載，使讀寫頭在控制上及微型化上能有效改善。但本文之系統需與已發表之專利有所區別，故由光纖之部分著手加以改良。

光纖全內反射之特性，可將雷射光束由光纖之一端傳遞至光纖的另一端。藉由此光纖之特性，可將雷射光與電路板由讀寫頭分離出來。而單模光纖受應力彎曲後，因其折射率改變進而產生雙折射之效應，若將此現象加以應用，既可將單模光纖系統作為四分之一波片使用，一來可簡化系統上之光學元件，二來可與已發表於專利上之光纖讀寫頭有所區別。

若能藉由單模光纖之特性，將雷射光束由光源傳遞至光學讀寫頭讀取光碟片上的資訊再由單模光纖回傳讀取訊號，電路板及雷射光源將可由光學讀寫頭分離出來並簡化其中之光學元件。此系統一來可降低光學讀寫頭上的負載，二來可簡化光學讀寫頭上的元件，讀寫頭將因負載降低更佳利於控制，在設計上也能朝微型化的方向發展。

2.2 系統架構

由單模光纖為核心所構成之光學讀寫頭之架構如圖 2.2.1 所示。雷射光束由雷射半導體(laser diode)射出，經由偏振分光鏡(polarized beam splitter)由非偏振光轉變為線性偏振光，再由光纖耦合透鏡聚焦至單模光纖中。當雷射光通過單模光纖時，因單模光纖受應力彎曲產生相位延遲之效果，雷射光由單模光纖出射時將改變為圓偏振光。之後藉由光纖耦合透鏡使出射之雷射光束準直為平行光，再由物鏡(objective lens)將雷射光束聚焦至光碟片上讀取其資訊。當雷射光由光碟片

回傳時，將透過物鏡、光纖耦合透鏡等元件回到單模光纖中，由單模光纖回傳時將透過偏振分光鏡，將雷射光傳遞至光偵測器(photo detector)上接收訊號，並做後續之循軌與聚焦伺服動作。

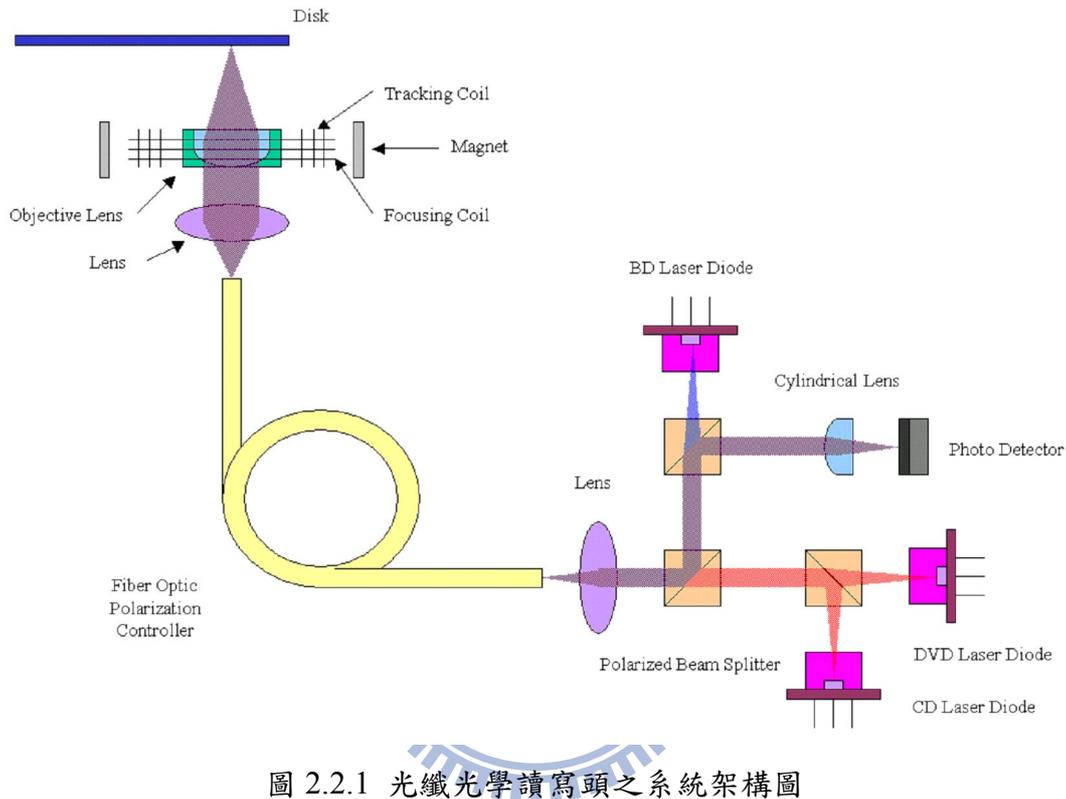


圖 2.2.1 光纖光學讀寫頭之系統架構圖

2.3 系統參數與數學推導

單模光纖入射之數值孔徑(numerical aperture)推導[10]：

光纖主要是由核心(core)、包層(cladding)所構成。只要光線能在介質邊界經歷全內反射(total internal reflection)，就能以曲折的方式傳播。當入射角大於全內反射的臨界角(critical angle)，且不在邊界產生破壞性干涉時，光就能在光纖中傳播。由圖 2.2.1 可知光纖光學讀寫頭之系統架構，其中雷射光進入纖部分如圖 2.3.1 所示：

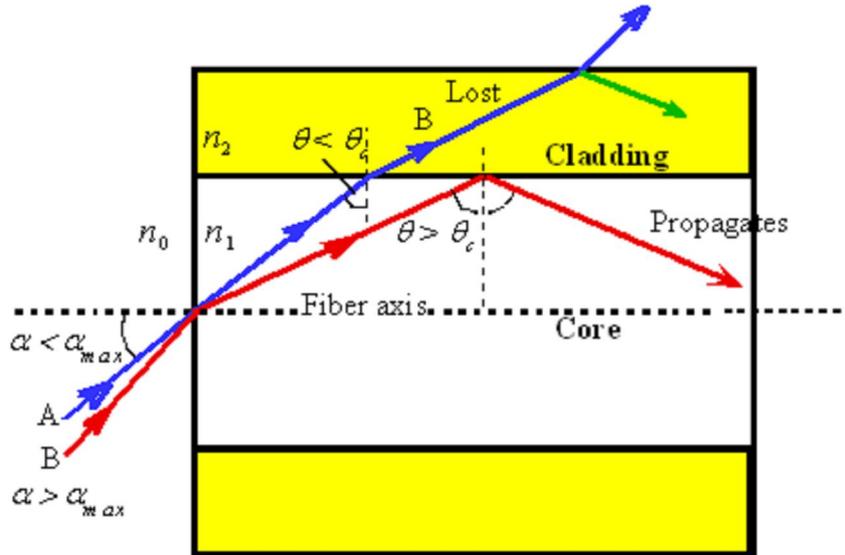


圖 2.3.1 雷射入射至光纖之示意圖[10]

NA : 光纖之數值孔徑(the numerical aperture of optical fiber)

n_0 : 入射光所在介質之折射率(the index where the laser light beam emit from)

n_1 : 光纖核心之折射率(the index of optical fiber's core)

n_2 : 光纖包層之折射率(the index of optical fiber's cladding)

α : 雷射光入射至光纖核心之角度(the angel that laser light beam emit to optical fiber's core)

α_{max} : 雷射光入射至光纖核心且能發生全內反射之角度(the maximum acceptance angle when laser light beam emit to optical fiber's core, which gives total internal reflection at the core-cladding interface)

θ : 雷射光於光纖核心入射至包層之角度(the angel that laser light beam emit to optical fiber's cladding from core)

θ_c : 雷射光可在光纖中進行全內反射之角度(the maximum acceptance angle when laser light beam emit to optical fiber's cladding from core, which gives total internal reflection at the core-cladding interface)

由圖 2.3.1 可知：

$$n_0 \sin \alpha = n_1 \cos \theta \quad (1)$$

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta_C \quad (2)$$

雷射光能在光纖中產生全反射之條件為 $\theta_C = 90^\circ$ ，故可得：

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \quad (4)$$

其中，入射光所在之介質為空氣，光纖核心之折射率為 1.468，光纖核心之折射率為 1.467，即：

$$n_0 = 1 \quad (5)$$

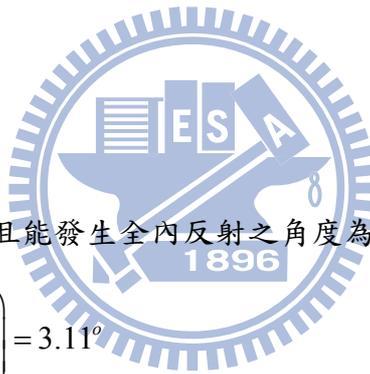
$$n_1 = 1.468 \quad (6)$$

$$n_2 = 1.467 \quad (7)$$

故雷射光入射至光纖核心且能發生全內反射之角度為：

$$\alpha_{\max} = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \right) = 3.11^\circ \quad (8)$$

$$NA = n_0 \sin \alpha_{\max} \approx 0.055 \quad (9)$$



光纖雙折射之數學推導[4]：

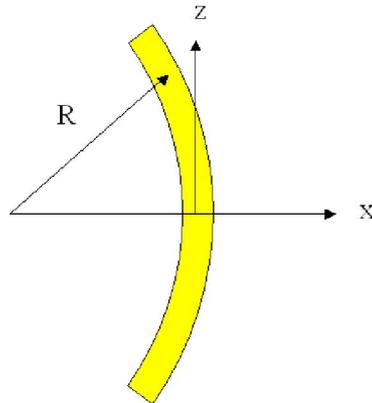


圖 2.3.2 單模光纖受應力產生形變之示意圖[4]

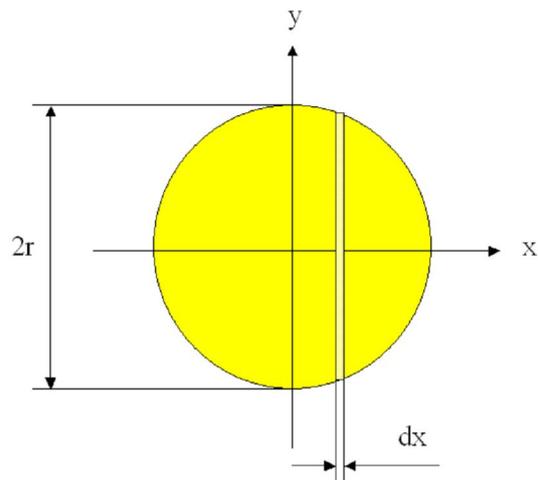


圖 2.3.3 單模光纖受應力產生折射率改變之區塊[4]

σ_x ：光纖延 x 方向之應力分量(stress component)

σ_z ：光纖延 z 方向之應力分量(stress component)

$\kappa = \frac{1}{R}$ ：光纖彎曲之曲率(curvature)

E ：楊氏係數(Young's modulus)

n ：光纖纖心之折射率(index of optical fiber's core)

r ：光纖纖心之半徑(radius of optical fiber's core)

β_b : 雙折射(birefringence) ν : 卜瓦松常數(Poisson's ratio)

Δn_i : 光彈折射率(elasto-optic index)

p_{ij} : 光彈係數(stain-optical coefficients, photo elastic tensor)

ε_j : 元件伸長量(the component of strain)

k_x : 在 HE_{11} 之模態下，延 x 軸偏振之傳遞常數(the propagation constant of HE_{11} mode polarized along the x axes)

k_y : 在 HE_{11} 之模態下，延 y 軸偏振之傳遞常數(the propagation constant of HE_{11} mode polarized along the y axes)

k : 自由空間波向量 (free-space wavevector, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$)

n_e : 異常射率(the extraordinary index)

n_o : 尋常折射率(the ordinary index)

對本文中之矽質光纖(silica fiber)而言：

$$n = 1.468$$

$$\nu = 0.17$$

$$p_{11} = 0.121$$

$$p_{12} = 0.270$$

在彎曲的光纖中，其應力之關係式為：

$$\sigma_z = \kappa Ex \quad (10)$$

其中 $x > 0$ 時， σ_z 為張力； $x < 0$ 時 σ_z 為壓力。

當光纖如圖 2.3.2 彎曲時， $\kappa r \ll 1$ ，由材料力學可知對每層的出力而言，

$|\sigma_x| \ll |\sigma_z|$ ，則張力 $\sigma_x(x)$ 可表示為：

$$\sigma_x(x+dx) - \sigma_x(x) = \frac{dx}{(R+x)} \sigma_z(x) \quad (11)$$

亦即對側向壓力 σ_x 而言， x 方向之應力量 σ_x 與 z 方向之應力量 σ_z 隨位置成比例關係。

對側向壓力 σ_x 而言， $|x| \ll R$ ，可得知：

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{1}{(R+x)} \sigma_z(x) = \frac{1}{(R+x)} \kappa E x \approx \kappa^2 E x \quad (12)$$

忽略彎曲以外之應力 ($\sigma_y = 0$) 並對(12)取 $\sigma_x(\pm r) = 0$ 延 x 軸積分可得：

$$\sigma_x(x) = \kappa^2 \frac{E}{2} (x^2 - r^2) \quad (13)$$

當變曲之曲率固定時，光纖所受之應力將因材質不同而改變，進而影響光纖之雙折射現象。

對單模光纖之核心而言，其雙折射關係式定義為：

$$\beta_b = k_x - k_y \approx k(\Delta n_x - \Delta n_y), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (14)$$

其中，對光彈折射率 Δn_x 與 Δn_y 之改變量於應力 $\sigma_x(0)$ 之光纖軸而言：

$$\Delta n_i = -\left(\frac{n^3}{2}\right) \sum p_{ij} \varepsilon_j \quad (15)$$

$$\Delta n_x - \Delta n_y = -\left(\frac{n^3}{2}\right) (p_{11} - p_{12}) (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \quad (16)$$

由卜瓦松常數 ν 可得：

$$\varepsilon_x - \varepsilon_y = (\sigma_x - \sigma_y) \frac{(1+\nu)}{E} \quad (17)$$

將(16)代入(14)則：

$$\beta_b = k(\Delta n_x - \Delta n_y) = -k \frac{n^3}{2} (p_{11} - p_{12}) (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \quad (18)$$

將(17)代入(18)可得：

$$\beta_b = -k \frac{n^3}{2} (p_{11} - p_{12}) \frac{1+\nu}{E} (\sigma_x - \sigma_y) \quad (19)$$

忽略彎曲以外之應力，即 $\sigma_y = 0$ ，且 $\sigma_x(0) = -\kappa^2 r^2 \frac{E}{2}$ ，則(19)成為：

$$\beta_b = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{n^3}{2} (p_{11} - p_{12}) \frac{(1+\nu)}{2} \kappa^2 r^2 = -0.866 \cdot \frac{\kappa^2 r^2}{\lambda} \quad (20)$$

單模光纖作為四分之一波片之數學推導[5]：

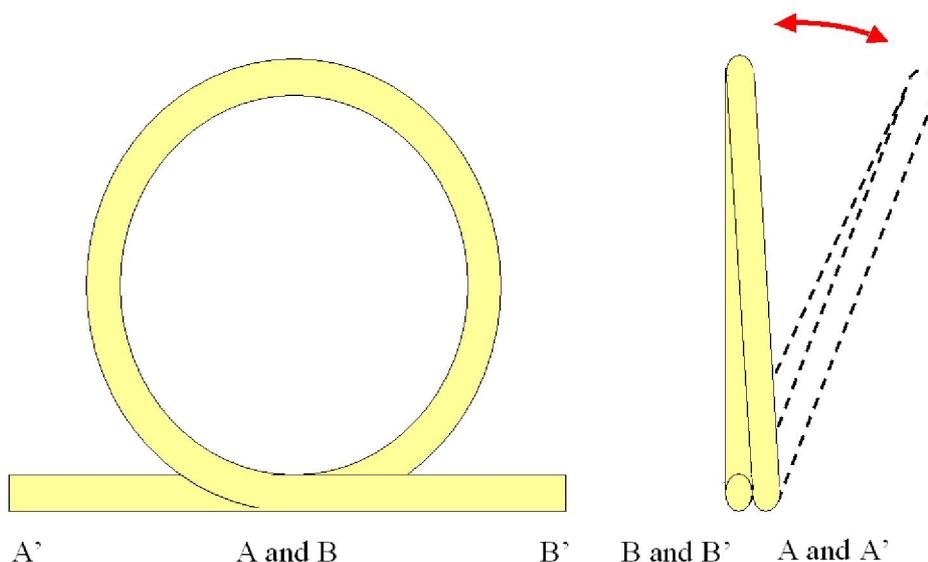


圖 2.3.4 單模光纖做為波片之架構圖[5]

對彎曲為線圈型之單模光纖而言，其核心之光彈折射率改變為：

$$\Delta n_x = n_e - n = \frac{n^3}{4} (p_{11} - 2\nu p_{12}) \left(\frac{r}{R}\right)^2 = 0.023 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (21)$$

$$\Delta n_y = n_o - n = \frac{n^3}{4} (p_{12} - \nu p_{12} - \nu p_{11}) \left(\frac{r}{R}\right)^2 = 0.161 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (22)$$

由(21)與(22)可得：

$$\Delta n = n_e - n_o = \Delta n_x - \Delta n_y = -0.138 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (23)$$

由(14)可知對單模光纖之核心而言，其雙折射關係式定義為：

$$\beta_b \equiv k_x - k_y \approx \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta n_x - \Delta n_y)$$

對圈數為 N 、曲率半徑為 R 之單模光纖而言，其相位延遲為：

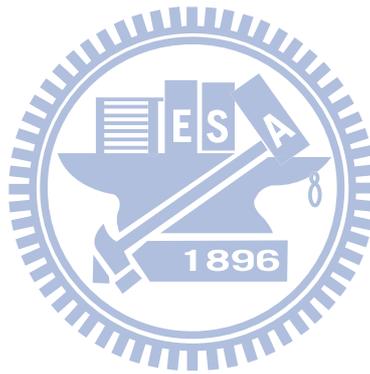
$$|\Delta n| \cdot 2\pi NR = \frac{\lambda}{m} \quad (24)$$

其中，相位延遲量為 π 、 $\frac{\pi}{2}$ 、 $\frac{\pi}{4}$ … (即 $\frac{\lambda}{2}$ 、 $\frac{\lambda}{4}$ 、 $\frac{\lambda}{8}$ … 波片)， $m = 2, 4, 8, \dots$

$$\Rightarrow |\Delta n_x - \Delta n_y| \cdot 2\pi NR = \frac{\lambda}{m} \quad (25)$$

$$\Rightarrow \left| 0.02736 \left(\frac{r}{R} \right)^2 - 0.1641 \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right| \cdot 2\pi NR = \frac{\lambda}{m} \quad (26)$$

$$\Rightarrow R = 0.13674 \cdot \frac{2\pi r^2}{\lambda} Nm \quad (27)$$



三、系統設計模擬與分析

3.1 軟體簡介

Code V 是一套可進行傳統光學設計、建模、分析、優化及報表的仿真光學軟體。其主要應用領域包括：導光管、相機鏡頭、投影顯視系統、照明系統、LED 設計、紅外線成像系統等。

TracePro 是一套能進行傳統光學分析、設計照明系統、分析輻射度和光強度等參數之仿真光學軟體。它也是一套結合真實固體模型、強大光學分析功能、資訊轉換能力強的光學模擬軟體，可將立體模型與光學分析緊密結合。其主要應用領域包括：導光管、背光板、前光板、相機鏡頭、投影顯視系統、雜散光分析、汽車照明系統、照明燈具、LED 設計、紅外線成像系統、薄膜光學等。

3.2 光學讀寫頭物鏡之設計與分析

光學讀寫頭之物鏡需同時將三種不同波長之雷射光束分別聚焦至三種不同之光碟片上，不同之光碟片有其相對應之規格，表 3.2.1 為各種光碟片所對應規格與讀取之條件。

	BD	DVD	CD
雷射波長	405 <i>nm</i>	650 <i>nm</i>	780 <i>nm</i>
光碟片 <i>NA</i> 值	0.85	0.60	0.45
資料軌距	1.6 μm	0.74 μm	0.32 μm
記錄點大小	0.83 μm	0.4 μm	0.14 μm
資料層深度	0.1 <i>mm</i>	0.6 <i>mm</i>	1.2 <i>mm</i>

表 3.2.1 BD、DVD、CD 所對應之規格

物鏡為讀取光碟片資料之光學讀寫頭中的重要光學元件之一，因此在設計上需滿足光學系統之規格，即光學讀寫頭之物鏡在聚光效能之要求上則需滿足 RMS 波前誤差量小於 0.07 個 waves，Strehl ratio 需大於 0.9。且藍光之 NA 值高達 0.85，因此選用折射率較高之模造玻璃 M-NbFD82 來設計非球面透鏡，光碟片材質則選用常見之 Polycarbonate。

	BD	DVD	CD
雷射波長	405 nm	650 nm	780 nm
光碟片 NA 值	0.85	0.60	0.45
入射光瞳直徑	0.8724 mm	0.6254 mm	0.4721 mm
工作距離	1.4 mm	1.1813 mm	0.8197 mm
聚焦深度	0.1 mm	0.6 mm	1.2 mm

表 3.2.2 物鏡於不同工作環境下所對應之規格

對非球面透鏡之曲面而言，其偶次非球面座標關係式為：

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + \dots + Jr^{20} \quad (28)$$

其中， $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

z ：曲面之深度

c ：非球面中心曲率

k ：圓錐曲線常數

A 、 B 、 \dots ：非球面係數

本文設計之物鏡參數為：

Surface	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass
Object	Sphere	Infinity	Infinity	
Stop	Sphere	Infinity	0	
2	Asphere	1.6732	0.8	MNBFD82
3	Asphere	-0.4400	1.4/1.1813/0.8197	
4	Sphere	Infinity	0.1/0.6/1.2	PCARB
Image	Sphere	Infinity	0	

非球面 2 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
1.6732	0.4104	0.0312	-0.0808	-0.1517	-0.1144
E	F	G	H	J	
0.4369	2.9837	12.2714	40.2124	97.1464	

非球面 3 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
-0.44	-186620	-0.0138	0.2576	0.7477	0.679
E	F	G	H	J	
-7.2716	-70.4844	-441.1674	-2131.9357	-6171.7848	

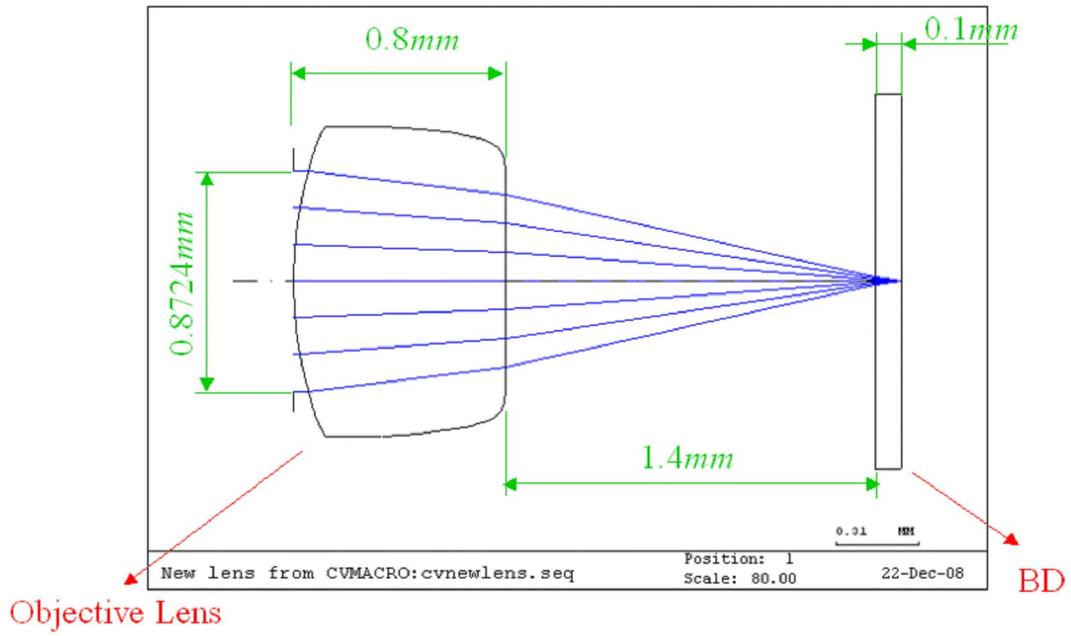


圖 3.2.1 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 405 nm)

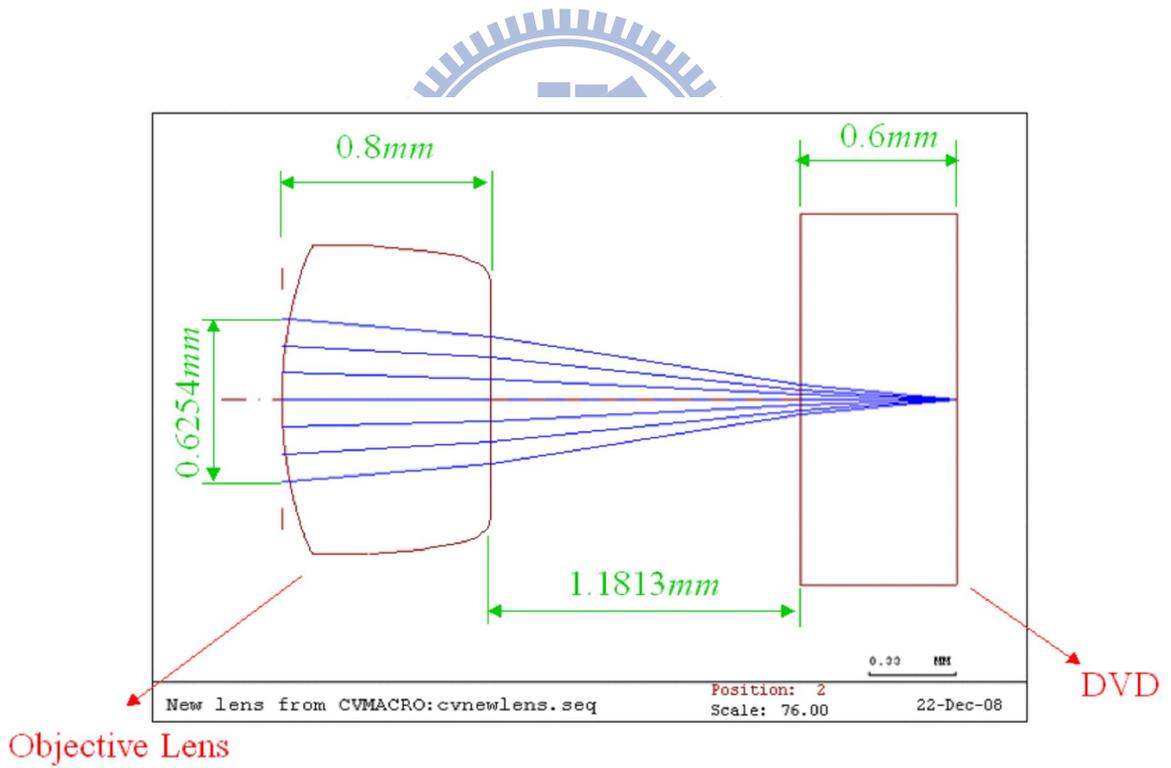


圖 3.2.2 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 650 nm)

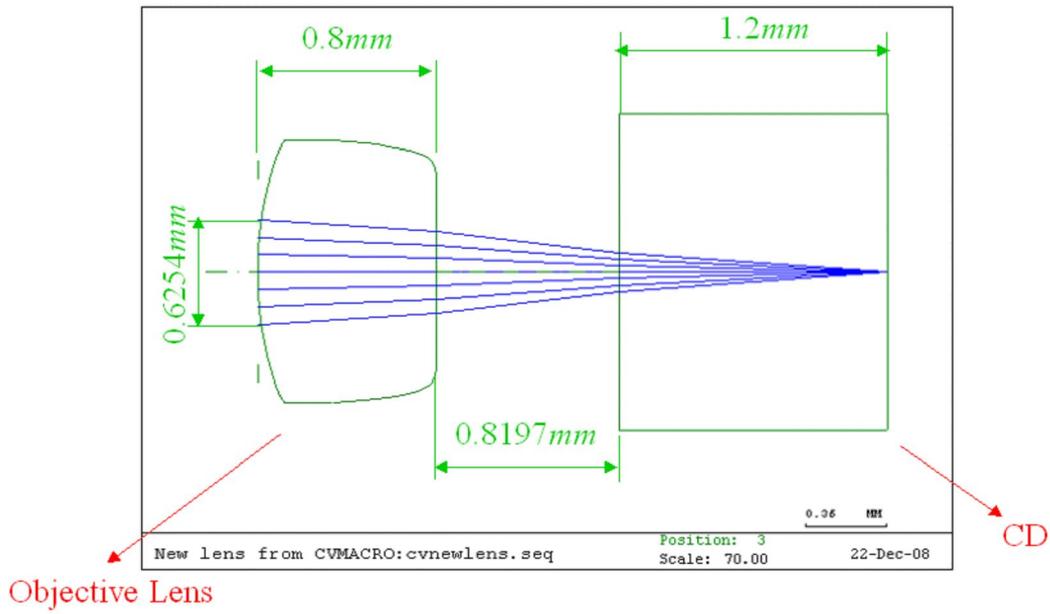


圖 3.2.3 由 Code V 設計之物鏡光路圖(入射光波長 780 nm)

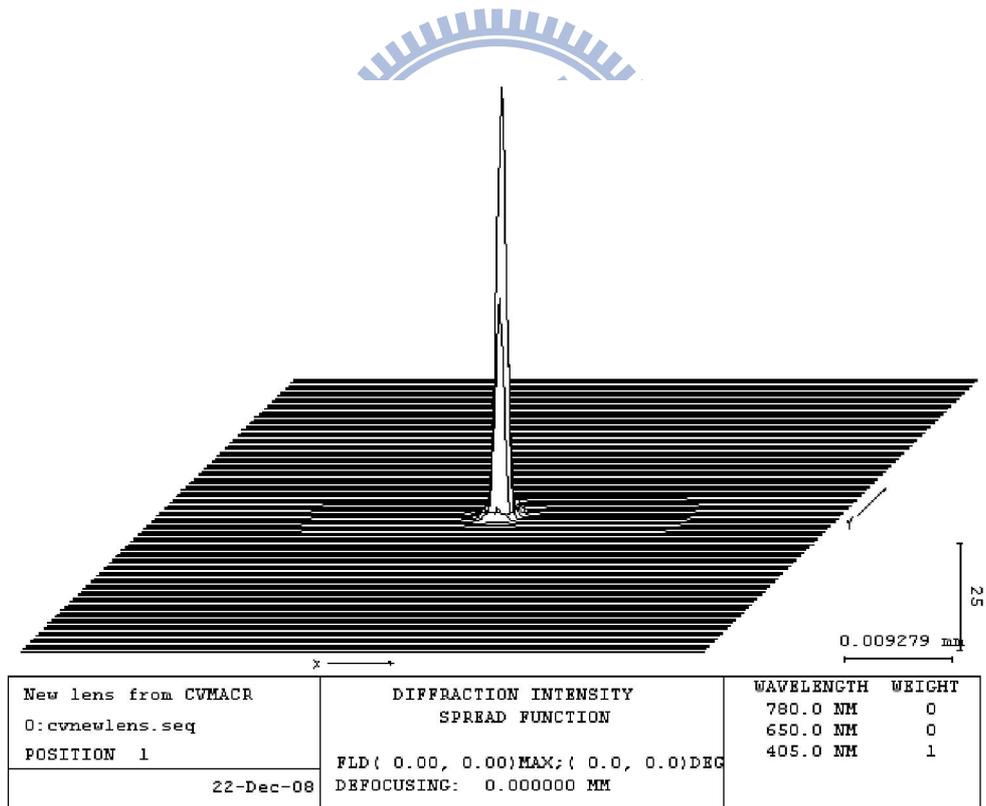


圖 3.2.4 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 405 nm)

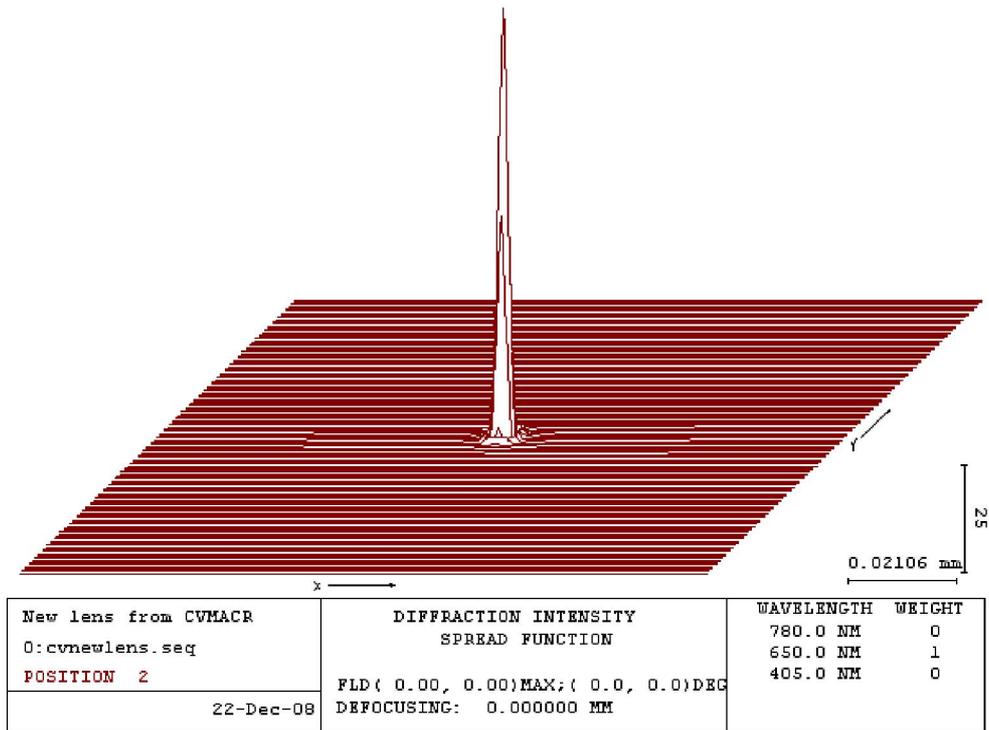


圖 3.2.5 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 650 nm)

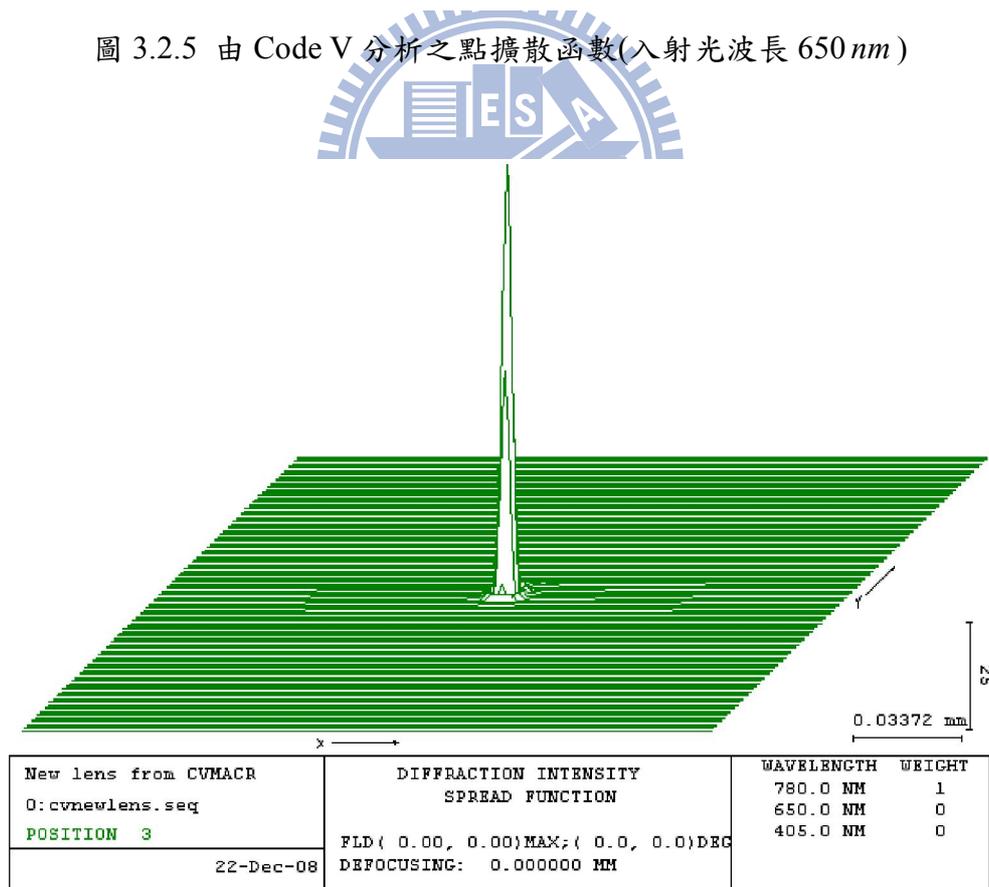


圖 3.2.6 由 Code V 分析之點擴散函數(入射光波長 780 nm)

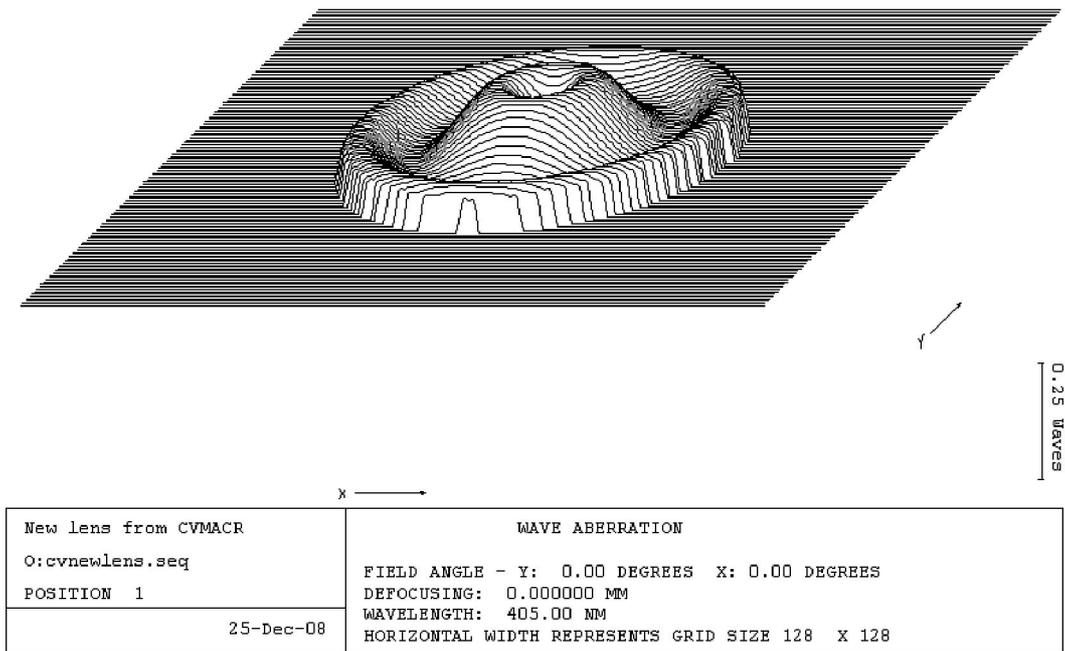


圖 3.2.7 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 405 nm)

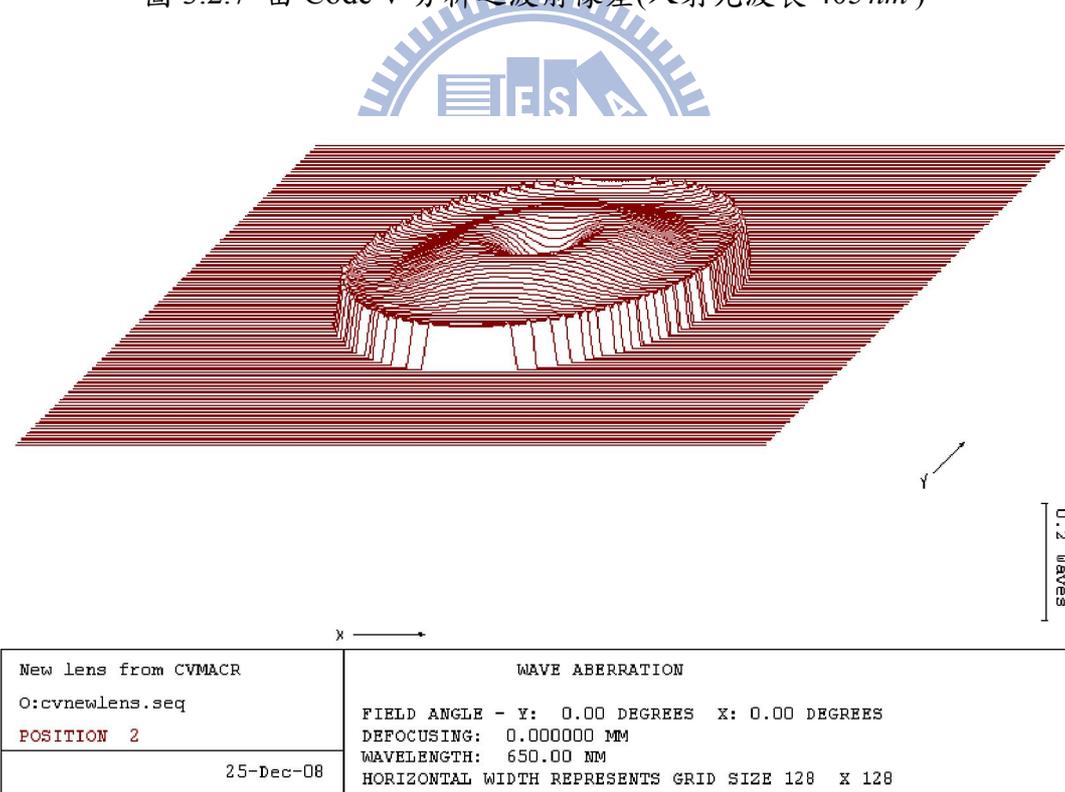


圖 3.2.8 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 650 nm)

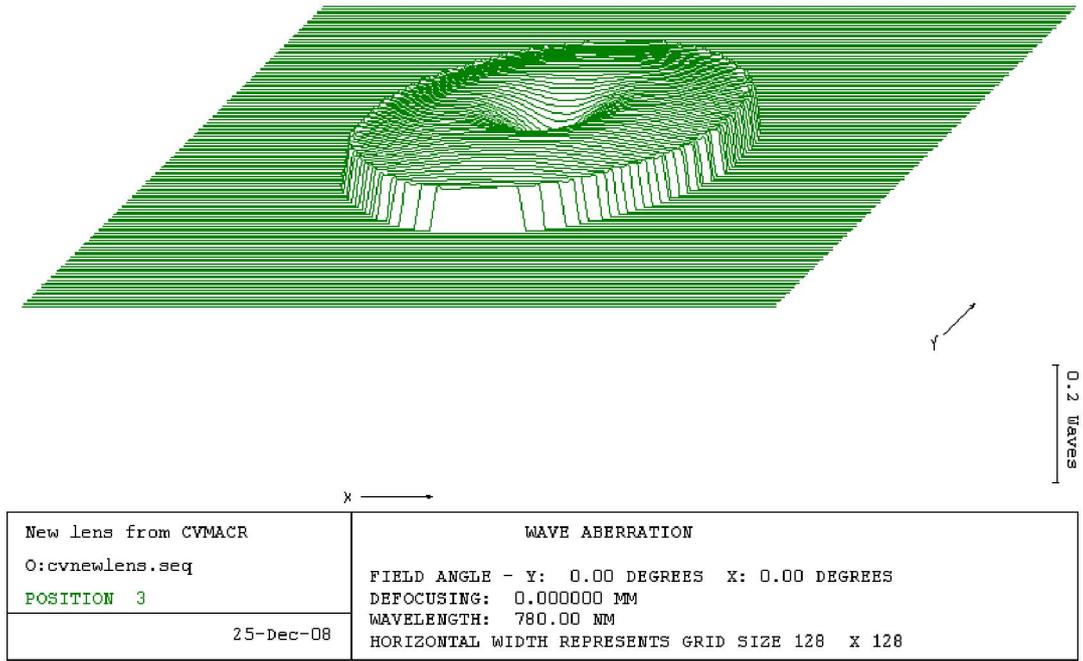


圖 3.2.9 由 Code V 分析之波前像差(入射光波長 780 nm)

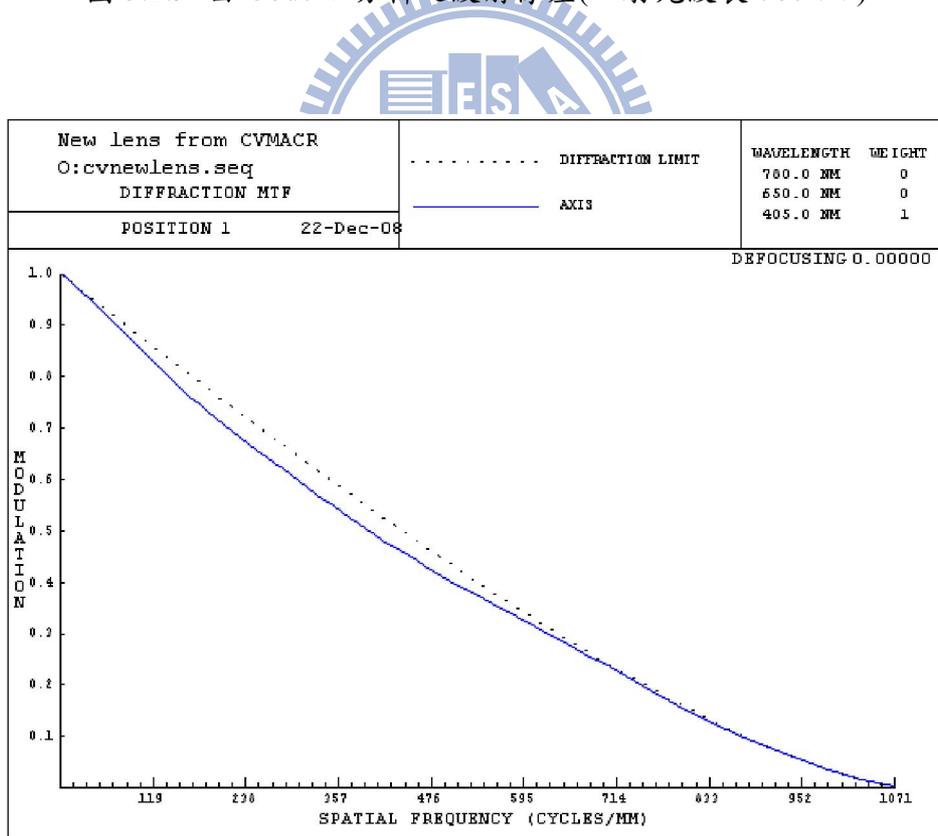


圖 3.2.10 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 405 nm)

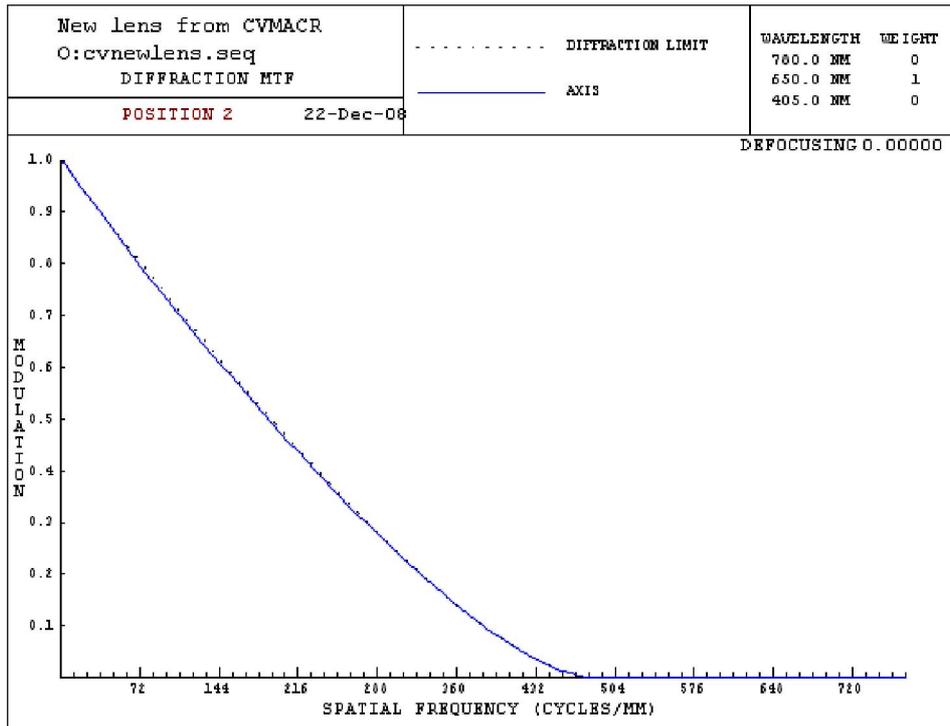


圖 3.2.11 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 650 nm)

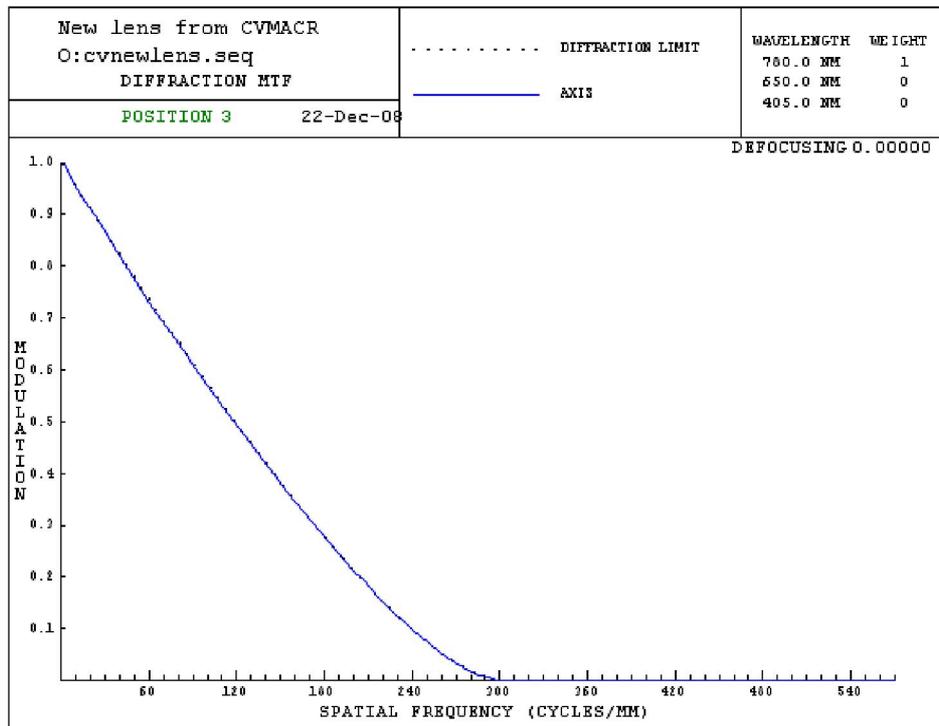


圖 3.2.12 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 780 nm)

經由 Code V 之波前分析可得 RMS 波前誤差量與 Strehl ratio 分別為：

405 nm :

RMS Wavefrom error : 0.0347 waves

Strehl ratio : 0.953

650 nm :

RMS Wavefrom error : 0.0117 waves

Strehl ratio : 0.995

780 nm :

RMS Wavefrom error : 0.0108 waves

Strehl ratio : 0.995

由上述結果可知，此物鏡有足夠的聚光效能可讀取光碟片上之資訊。

3.3 光纖耦合透鏡之設計與分析

光纖耦合透鏡主要之用途為光纖耦合。經由適當的光纖耦合透鏡，可準確的將雷射光束聚焦至單模光纖中，因此在設計上需滿足單模光纖之規格。單模光纖之纖心直徑為 $8\ \mu\text{m}$ ，折射率為 1.468；單模光纖之包層直徑為 $125\ \mu\text{m}$ ，折射率為 1.467，因此光纖耦合透鏡聚焦後之 NA 值需為 0.055。欲使系統微型化，光纖耦合透鏡含工作距離之長度欲控制在 $10\ \text{mm}$ 左右，因此材質選用折射率較高之模造玻璃 M-NbFD82 來設計非球面透鏡，且工作距離設定為 $2\ \text{mm}$ 。考慮讀寫頭之尋軌誤差由物鏡修正，因此光纖耦合透鏡之光瞳直徑需大於 $0.9\ \text{mm}$ ，使物鏡有 $\pm 0.3\ \text{mm}$ 之範圍修正尋軌誤差。

本文設計之光纖耦合透鏡參數為：

Surface	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass
Object	Sphere	Infinity	Infinity	
Stop	Sphere	Infinity	0	
2	Asphere	6.8254	1.0	MNBFD82
3	Asphere	45.2470	5.8705/ 6.3839/ 6.4842	
4	Asphere	28.6813	1.0	MNBFD82
5	Asphere	2086.6297	2.0	
Image	Sphere	Infinity	0	

非球面 2 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
6.8254	5.4123	0.0024	-0.0004	0.0057	0.0251
E	F	G	H	J	
0.0173	-0.0050	0.3100	0.4152	4.9012	

非球面 3 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
45.2470	-353.0409	0.0003	0.0102	0.0229	0.0533
E	F	G	H	J	
0.0071	0.2981	0.8276	2.4204	14.2525	

非球面 4 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
28.6813	3328.3840	-0.2884	8.4576	-29.7571	-4780.9655
E	F	G	H	J	
-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

非球面 5 之參數：

Y Radius	k	A	B	C	D
2086.6297	234989884.1036	0.6009	-17.2006	-1979.0212	30489.1681
E	F	G	H	J	
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

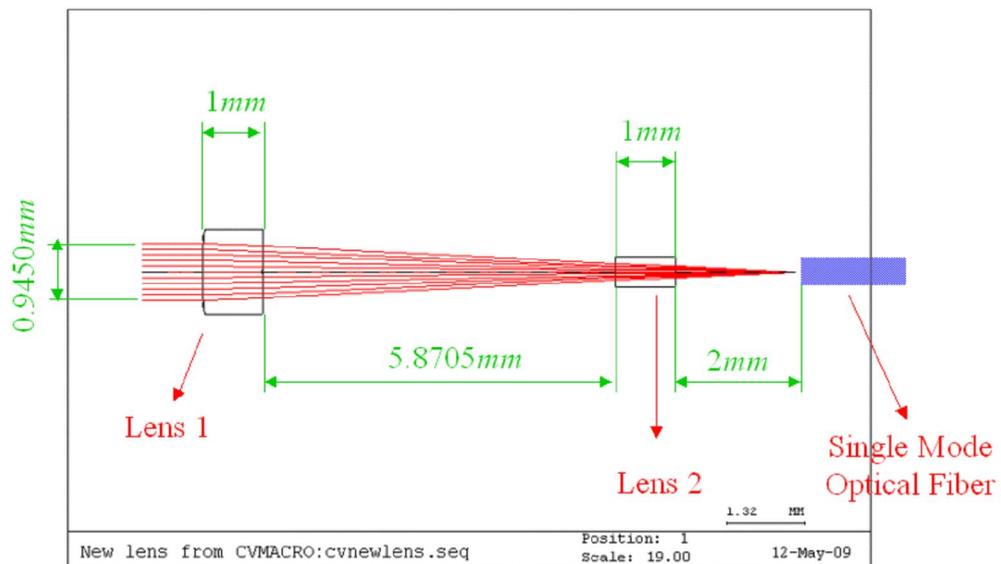


圖 3.3.1 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 405 nm)

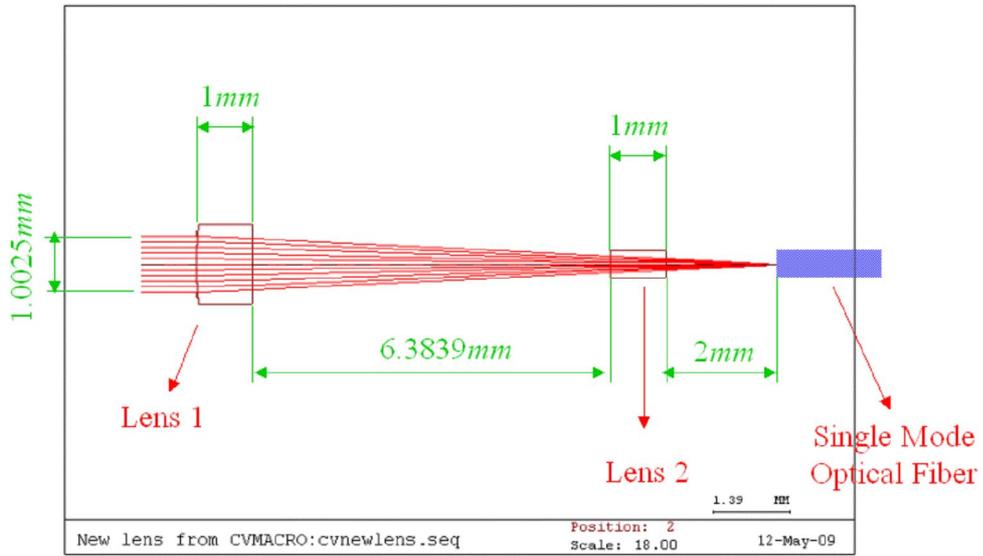


圖 3.3.2 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 650 nm)

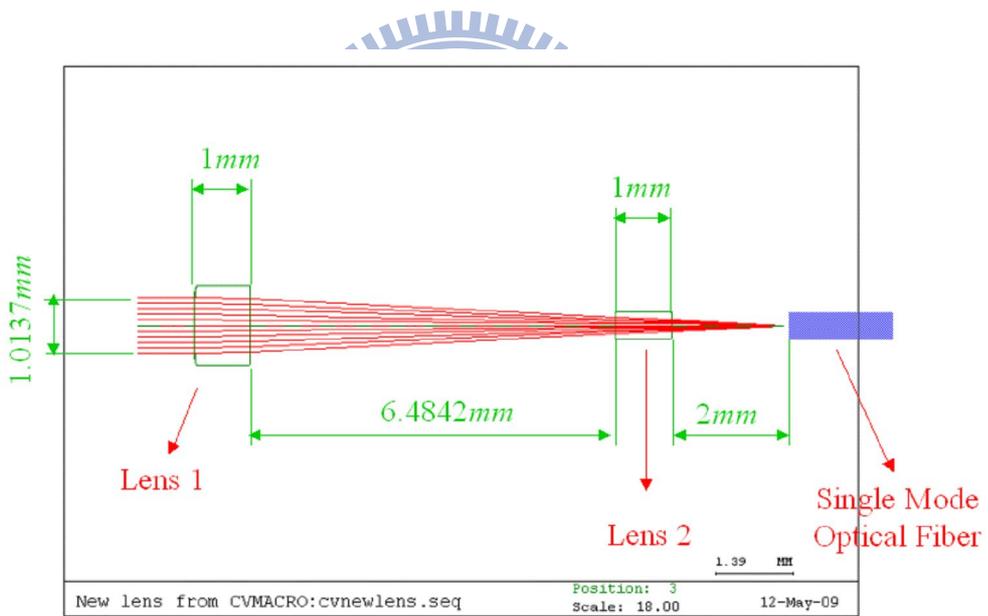


圖 3.3.3 由 Code V 設計之光纖耦合鏡光路圖(入射光波長 780 nm)

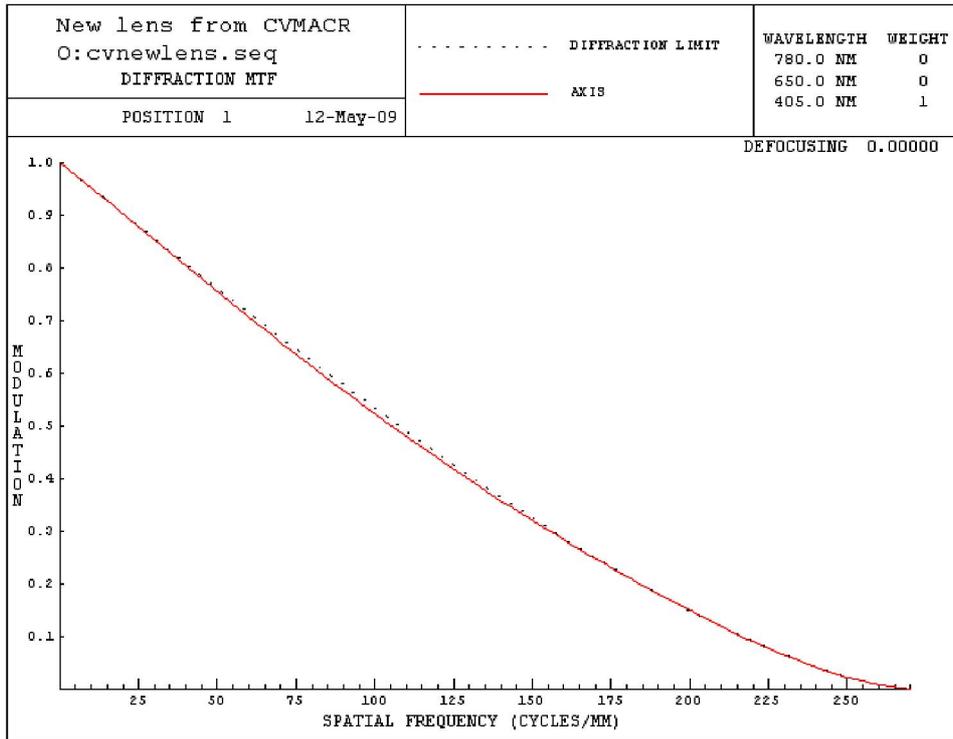


圖 3.3.4 由 Code V 分析之 MTF(入射光波長 405 nm)

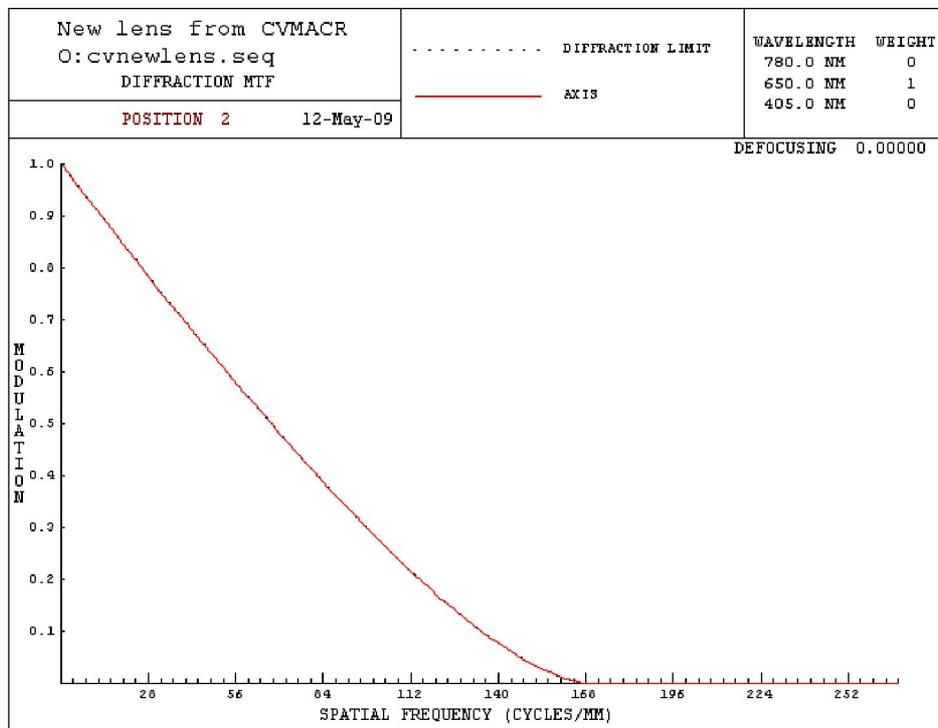


圖 3.3.5 由 Code V 分析之 MTF (入射光波長 650 nm)

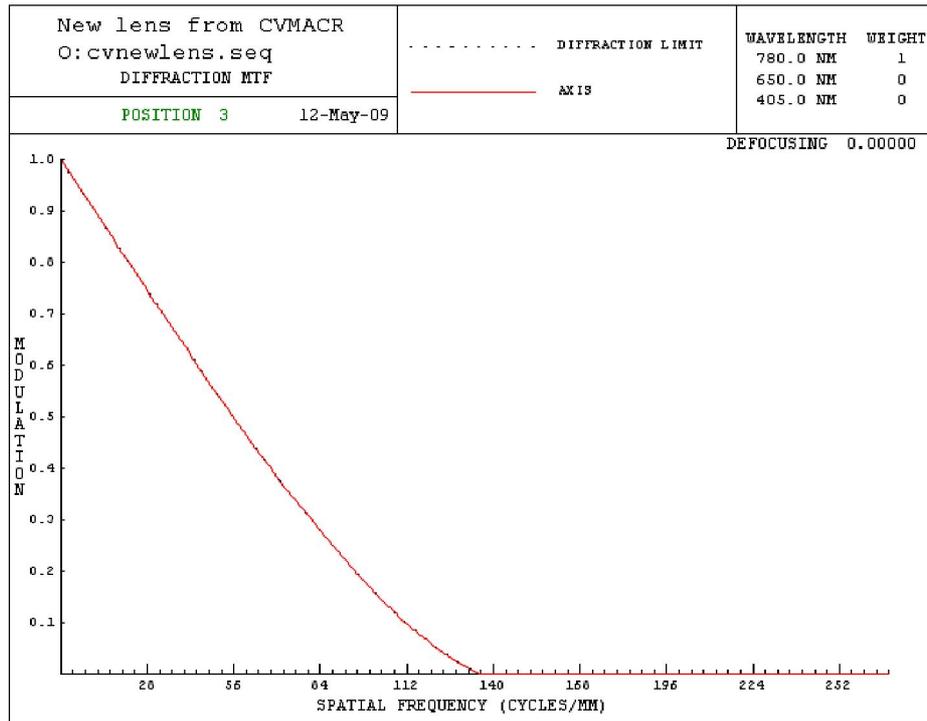


圖 3.3.6 由 Code V 分析之 MTF (入射光波長 780 nm)

經由 Code V 之光纖耦合效能分析可得耦合物鏡於不同入射波長之光纖耦合率分別為：

405 nm 之 Coupling efficiency : 0.69167

650 nm 之 Coupling efficiency : 0.75576

780 nm 之 Coupling efficiency : 0.73112

由上述結果可知，當波長 405 nm 之雷射光束入射至光纖時，有 69.167% 的雷射光束會入射至單模光纖中；當波長 650 nm 之雷射光束入射至光纖時，有 75.576% 的雷射光束會入射至單模光纖中；當波長 780 nm 之雷射光束入射至光纖時，有 73.112% 的雷射光束會入射至單模光纖中。

3.4 系統整體之模擬與分析

將設計後之物鏡、顯微物鏡由光學軟體 TracePro 作全系統之分析，其中雷射光源之光通量約為 50 mW 、光線數目為 20 萬條，光碟片分別為對焦、離焦 0.05 mm 、 0.01 mm 、 0.005 mm 、 -0.005 mm 、 -0.01 mm 、 -0.05 mm 之不同情況模擬與分析。雷射光束經由偏振分光鏡起偏再由光纖耦合鏡聚焦至單模光纖。當光束由單模光纖射出時再由光纖耦合鏡轉變為平行光，並透過物鏡聚焦之光碟片上。當雷射光由光碟片回傳時再循原光路將雷射光傳遞至光偵測器上讀取其訊號。

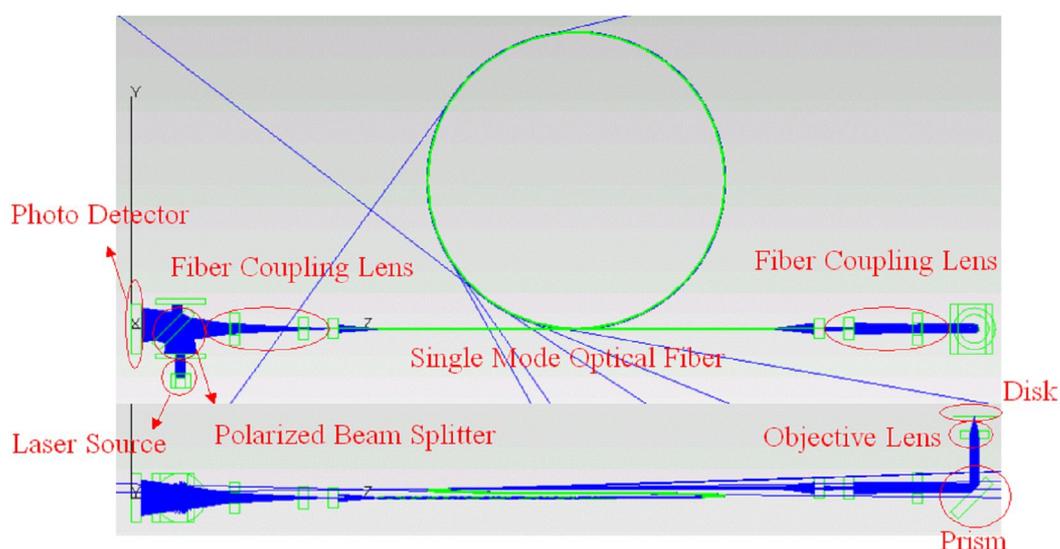


圖 3.4.1 TracePro 光路之元件配置(上：Y-Z 平面；下：X-Z 平面)

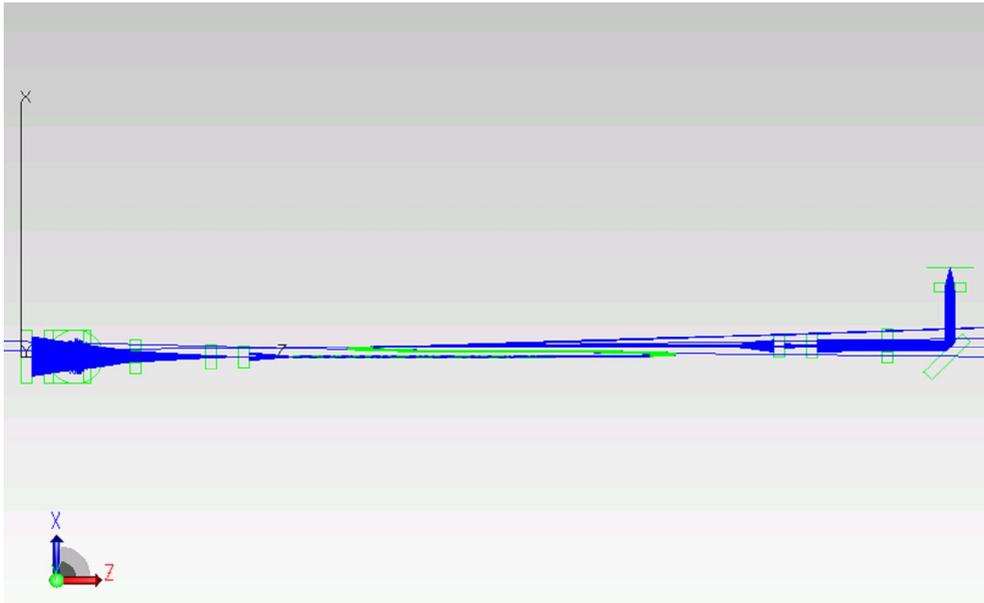


圖 3.4.2 由 TracePro 模擬之光路圖(X-Z 平面)

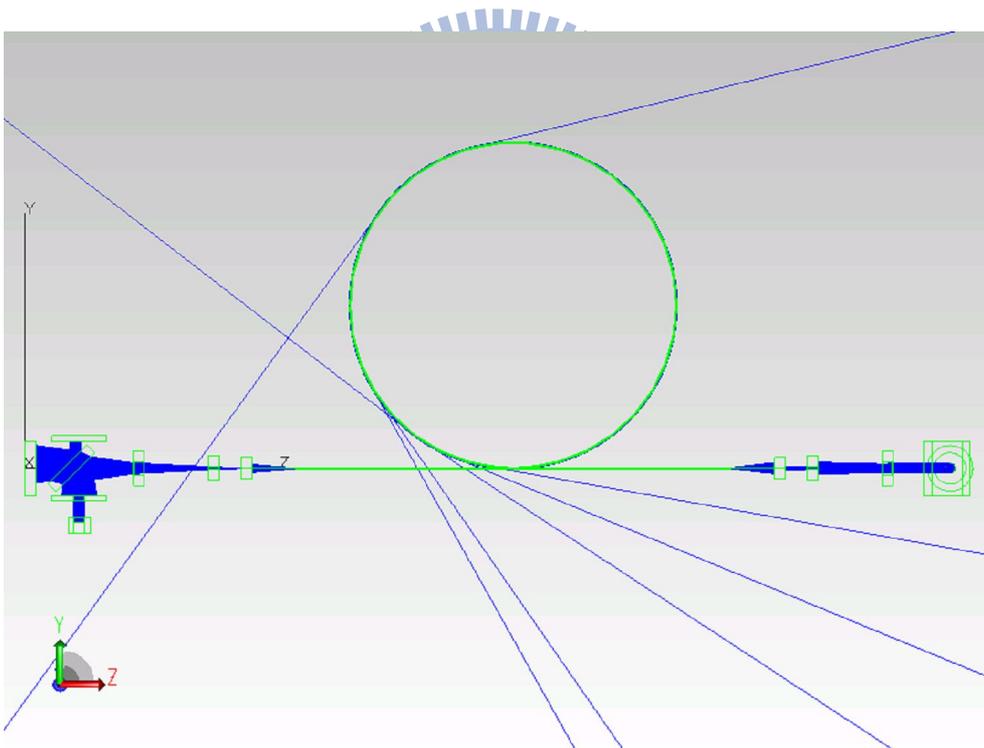


圖 3.4.3 由 TracePro 模擬之光路圖(Y-Z 平面)

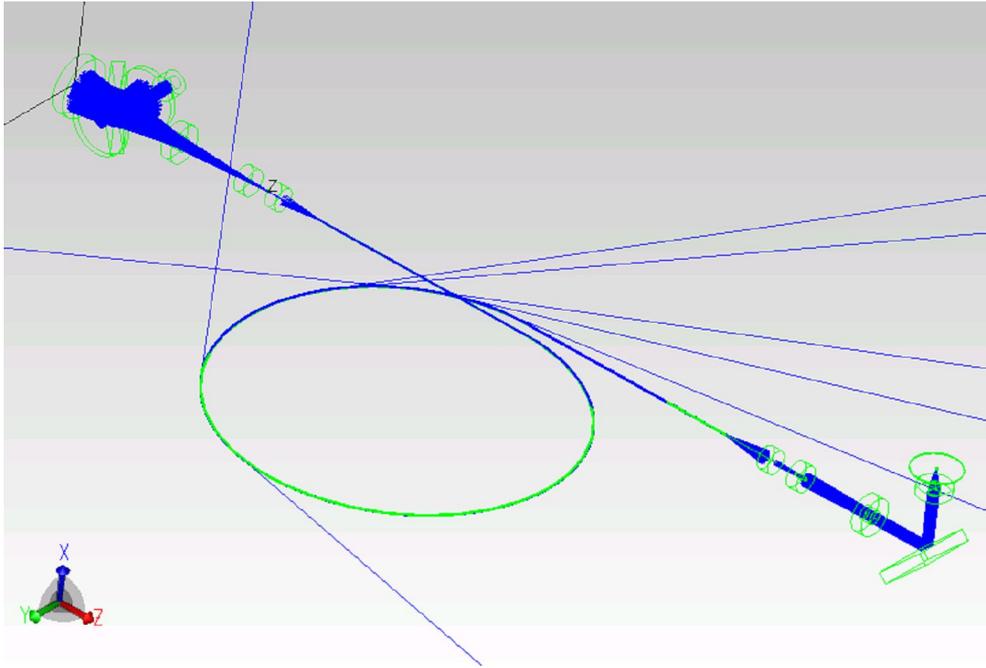


圖 3.4.4 由 TracePro 模擬之光路圖(X-Y-Z 平面)

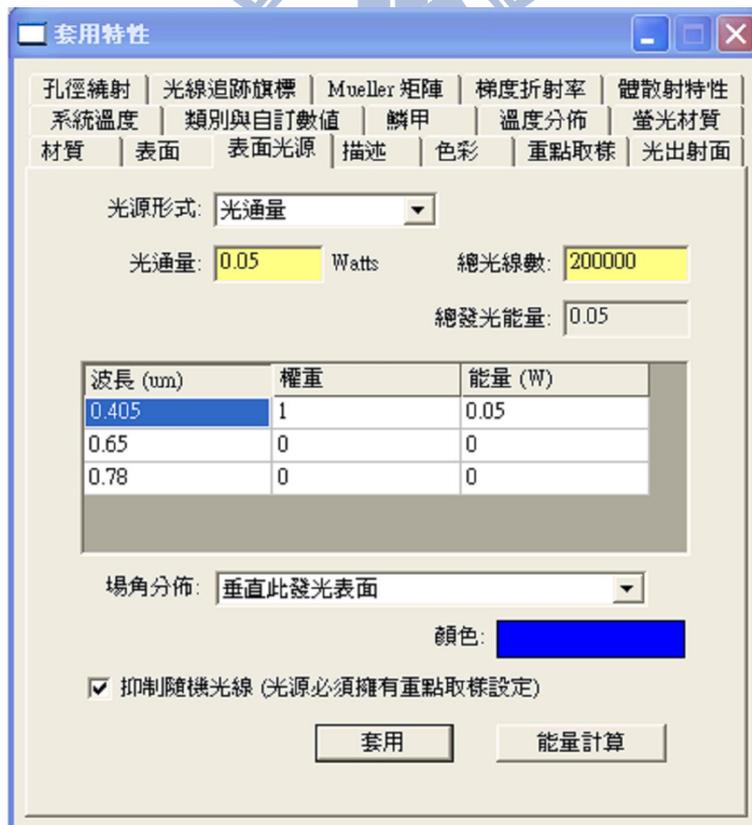


圖 3.4.5 由 TracePro 設定之雷射光源(50mW)

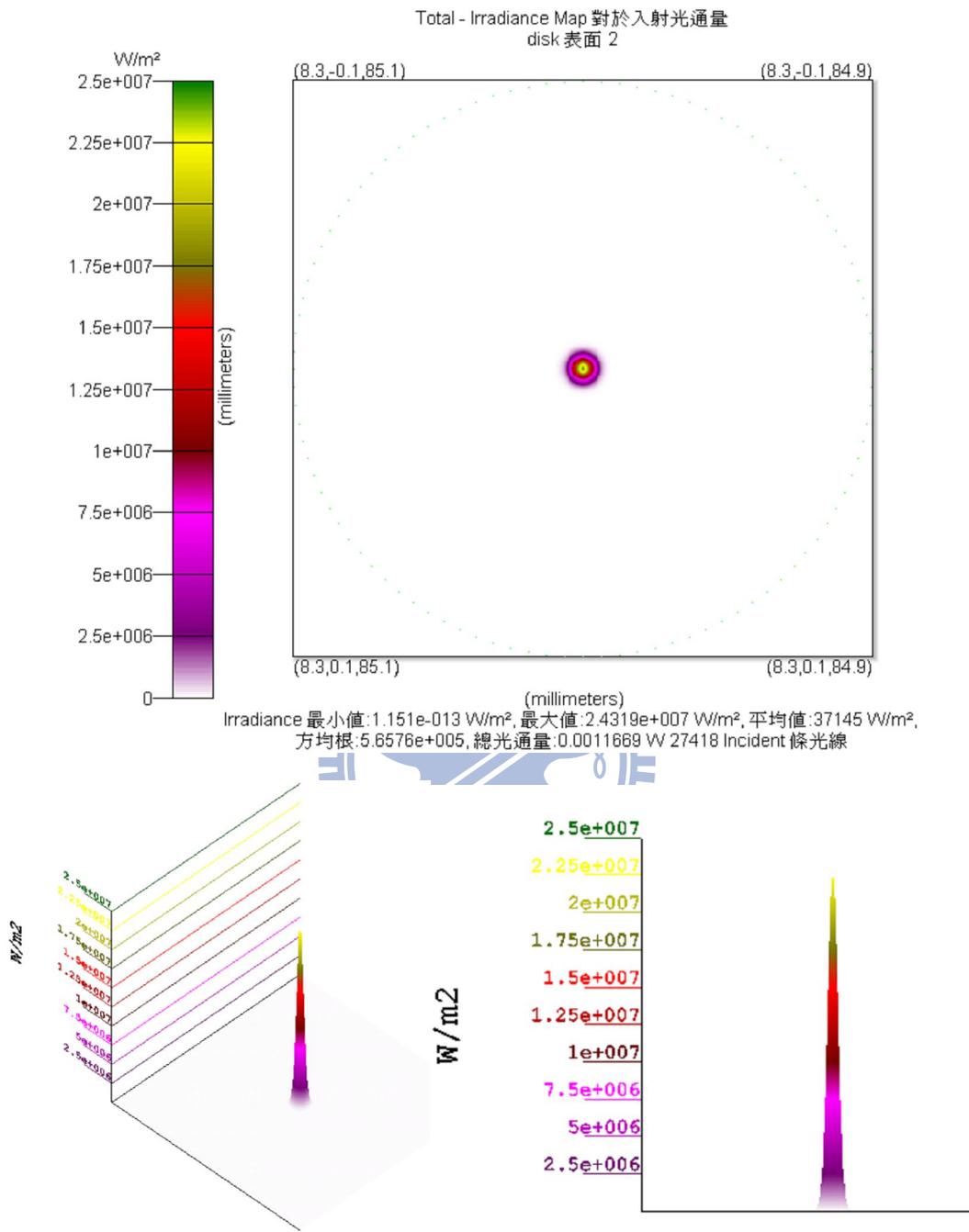


圖 3.4.6 由 TracePro 分析對焦時光碟片之光強度圖(1.1669 mW)

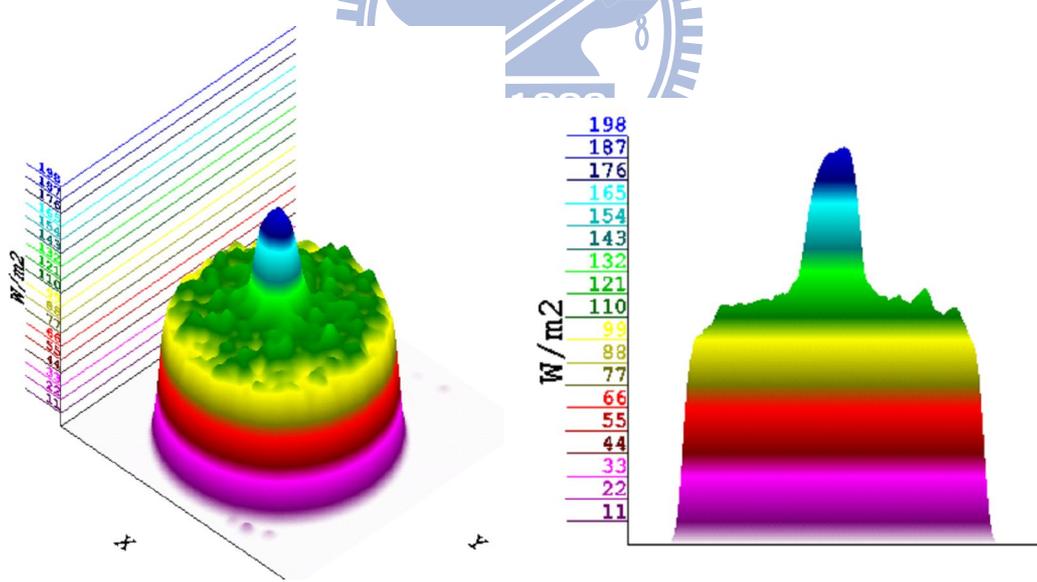
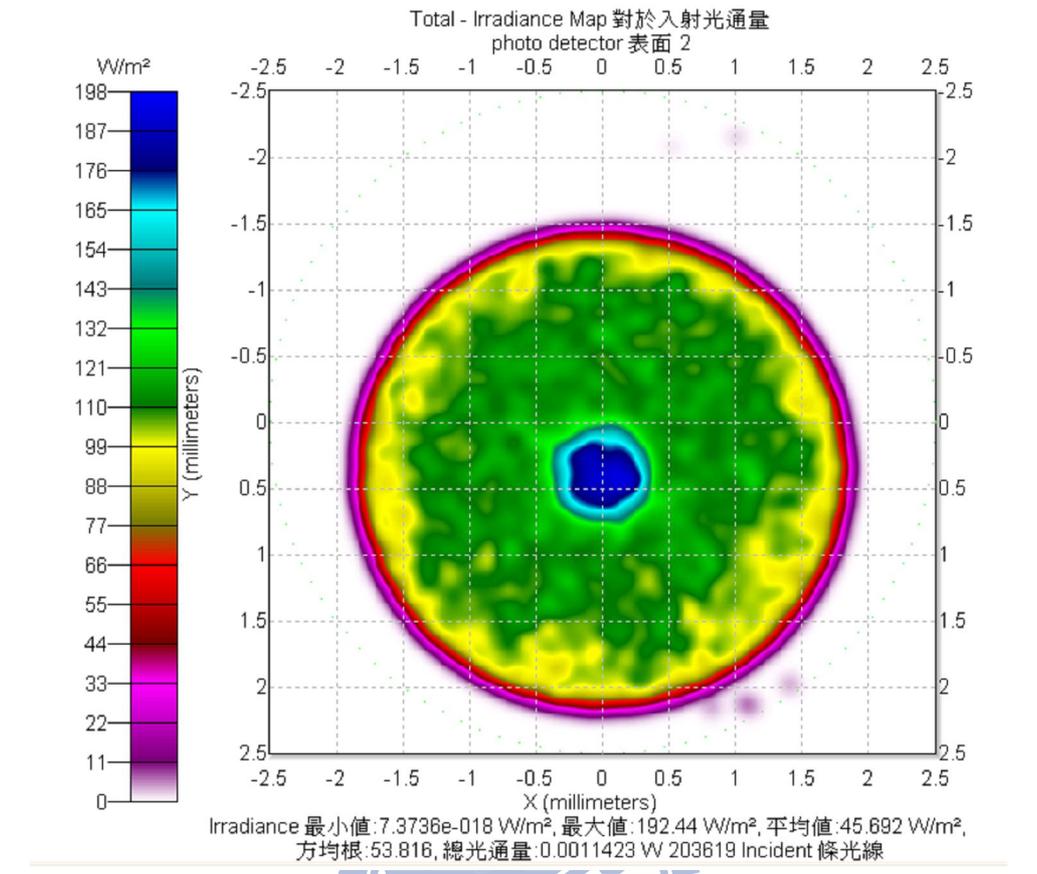


圖 3.4.7 由 TracePro 分析對焦時光偵測器之光強度圖(1.1423 mW)

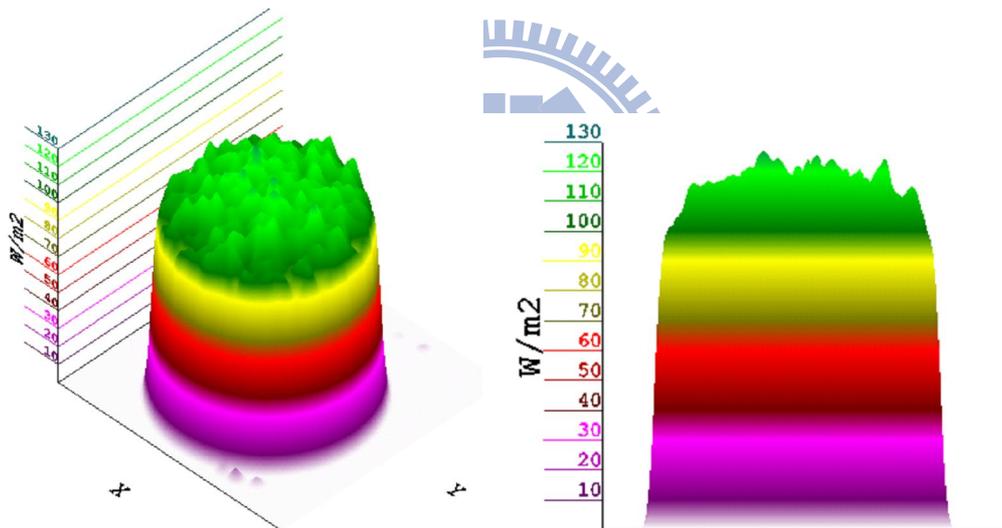
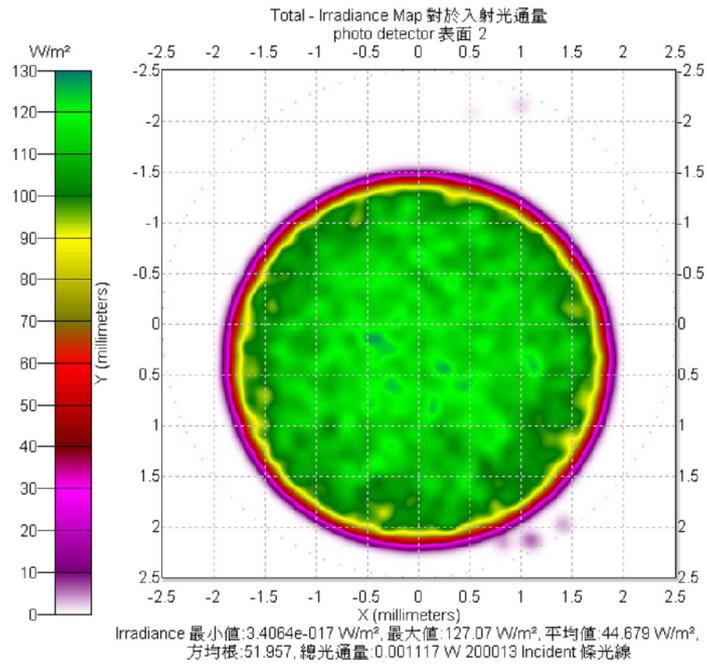


圖 3.4.8 由 TracePro 分析離焦 0.05 mm 時光偵測器之光強度圖(1.117 mW)

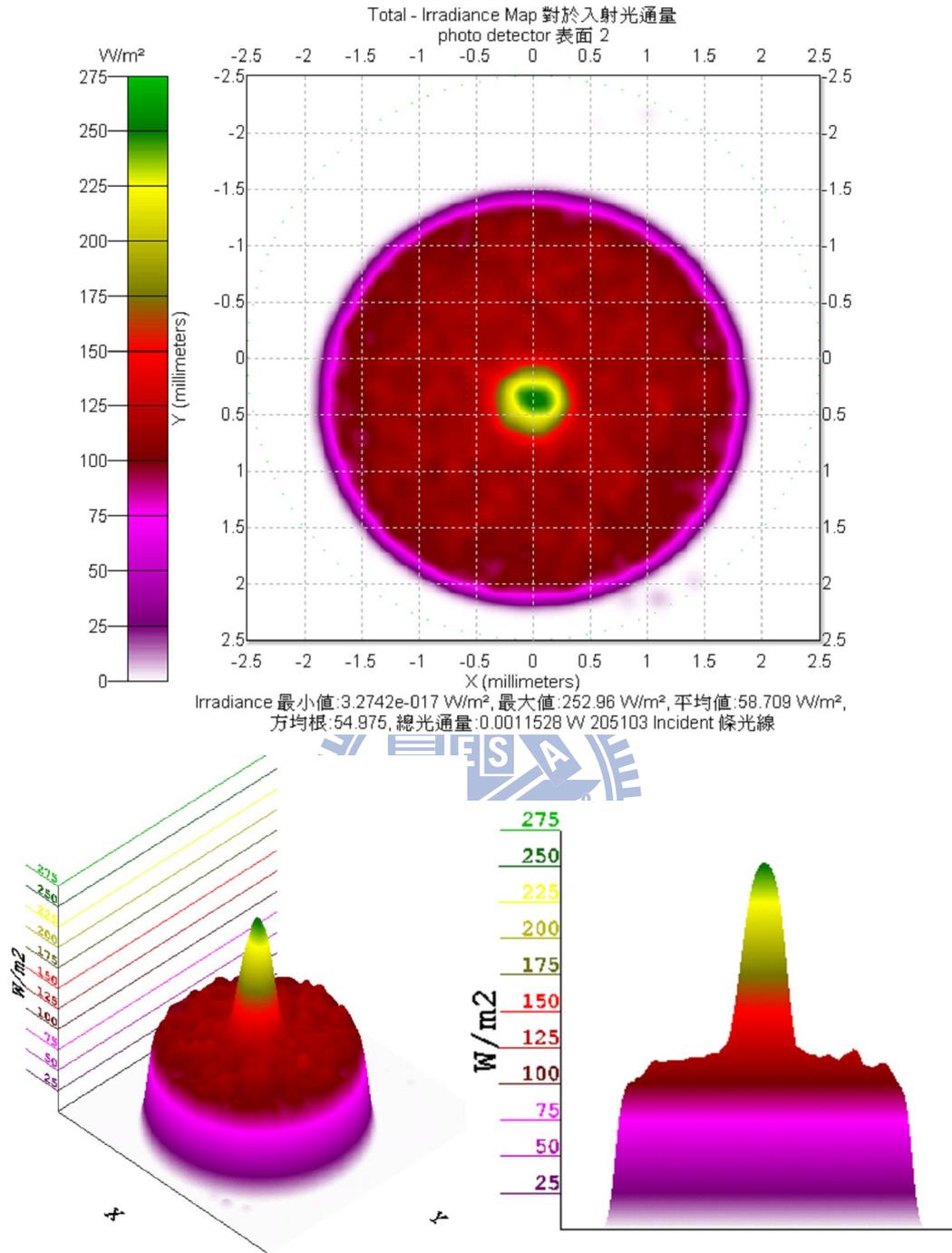


圖 3.4.9 由 TracePro 分析離焦 0.01 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1528 mW)

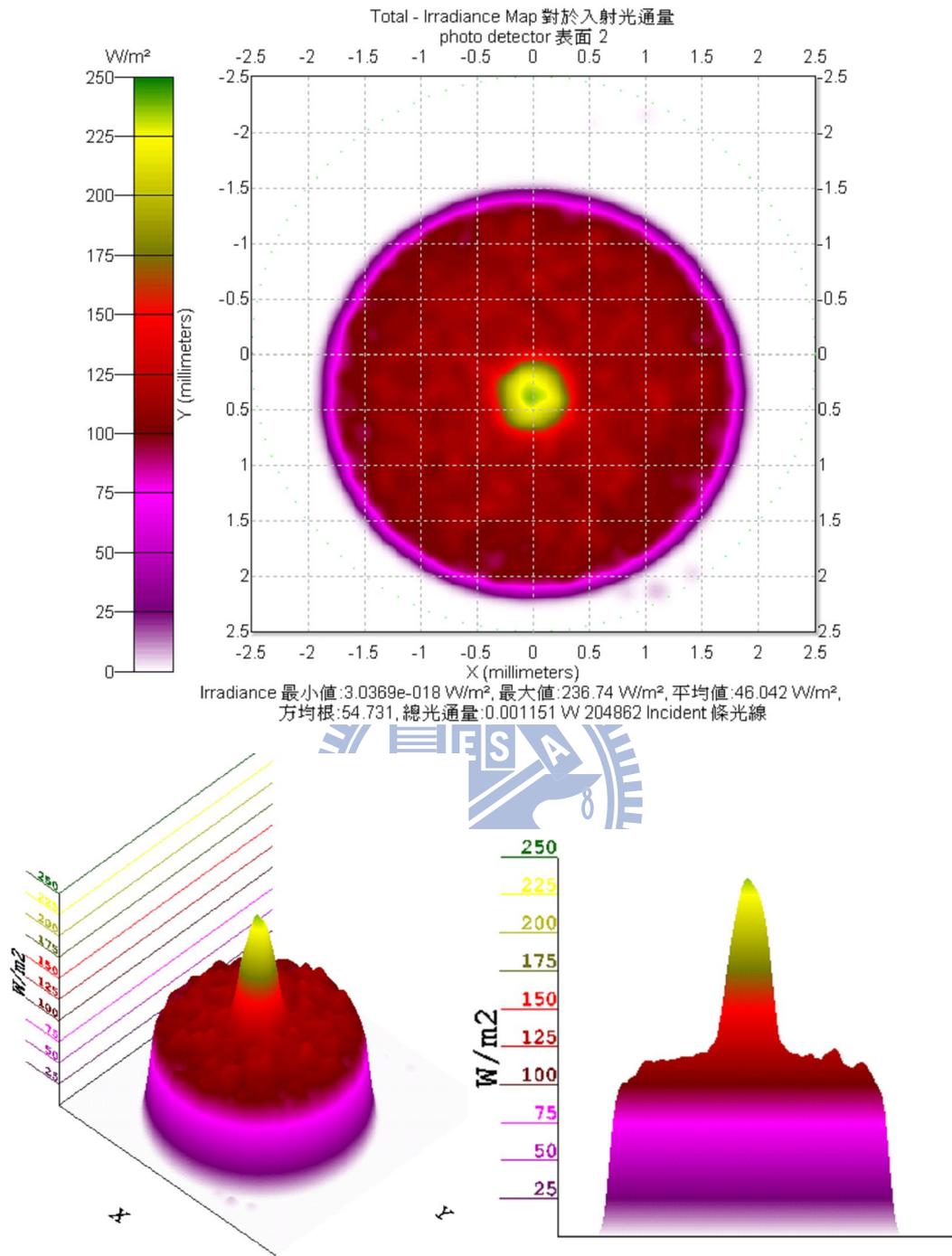


圖 3.4.10 由 TracePro 分析離焦 0.005 mm 時光偵測器之光強度圖(1.151 mW)

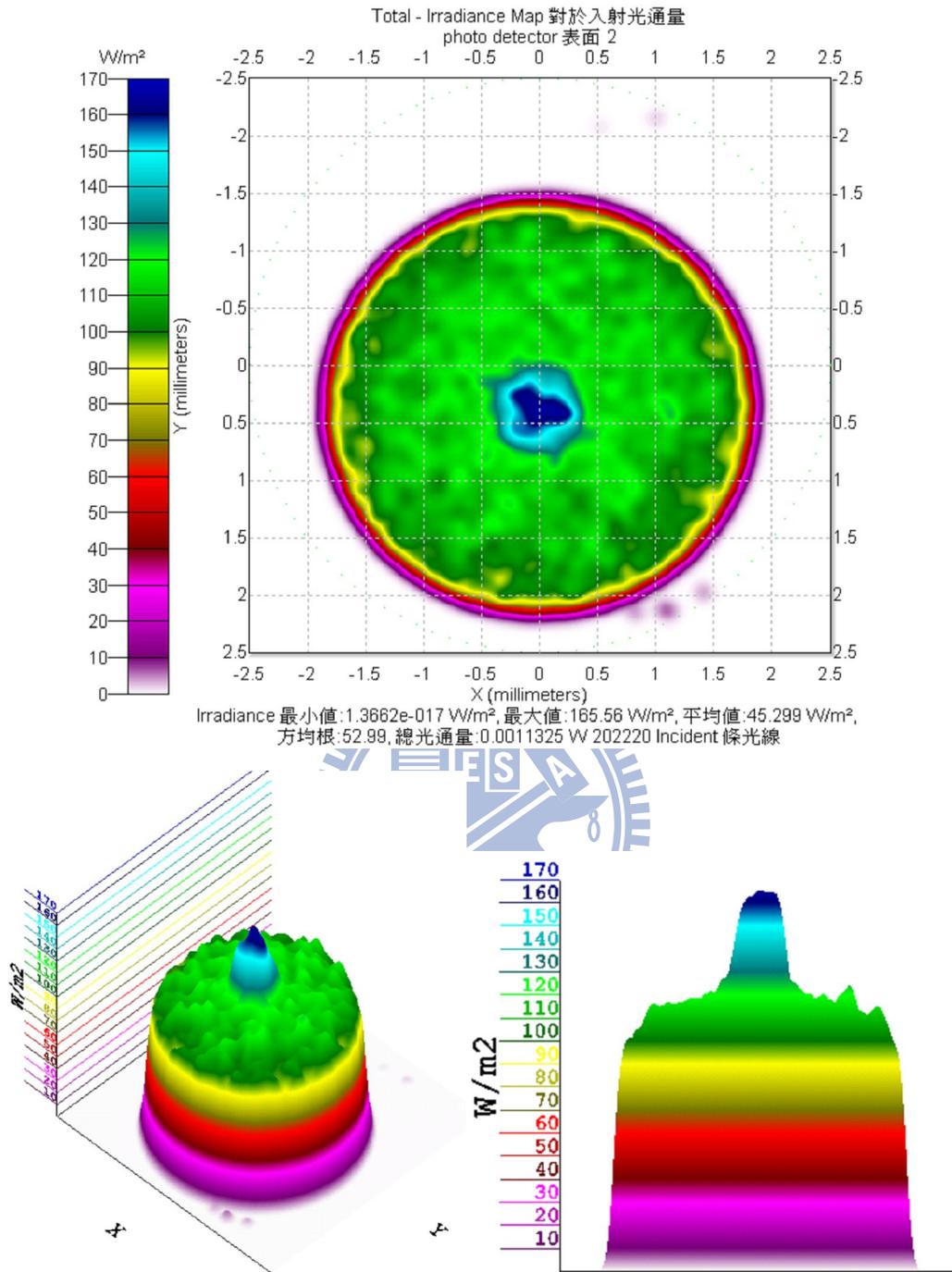


圖 3.4.11 由 TracePro 分析離焦-0.005 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1325 mW)

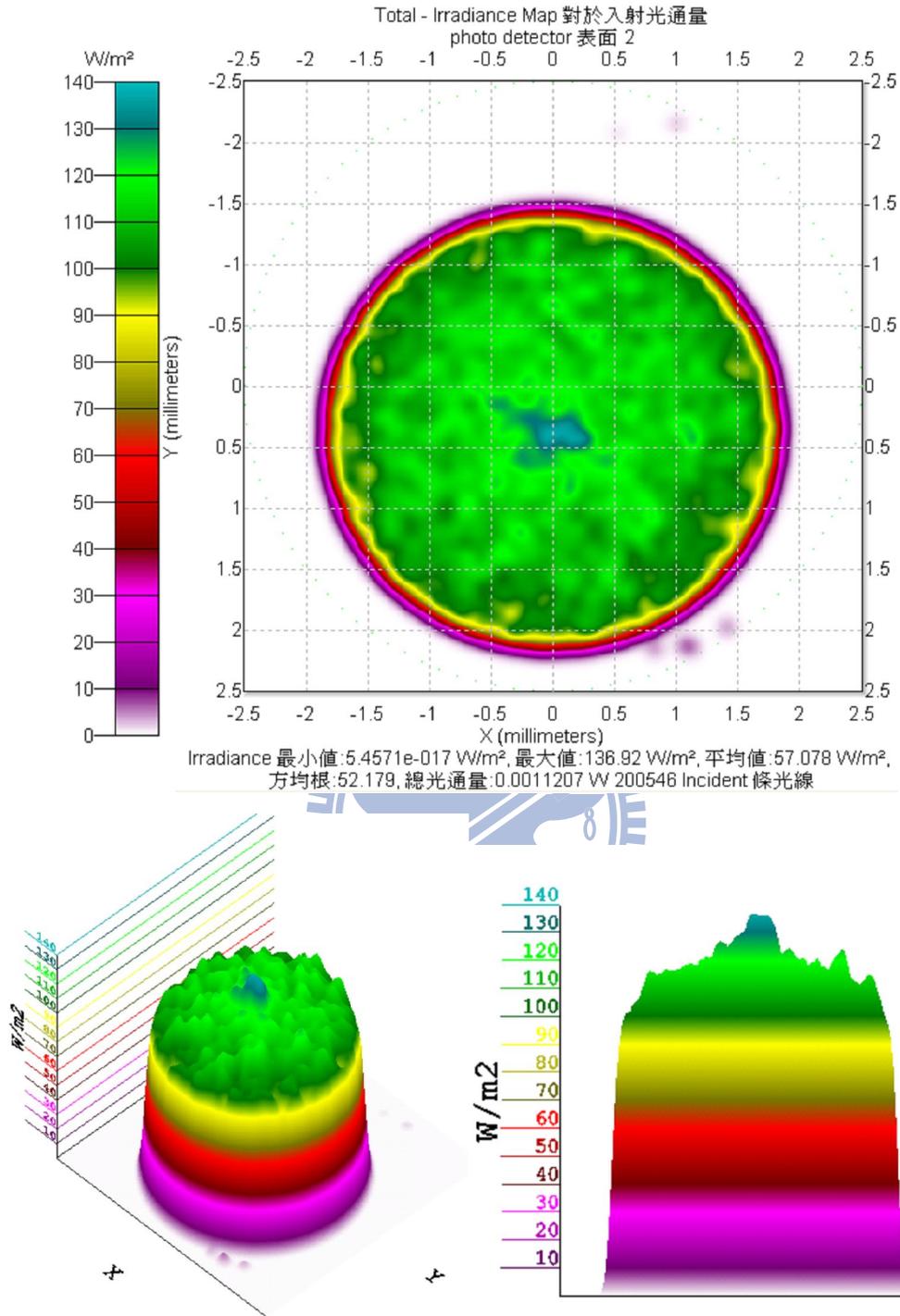


圖 3.4.12 由 TracePro 分析離焦-0.01 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1207 mW)

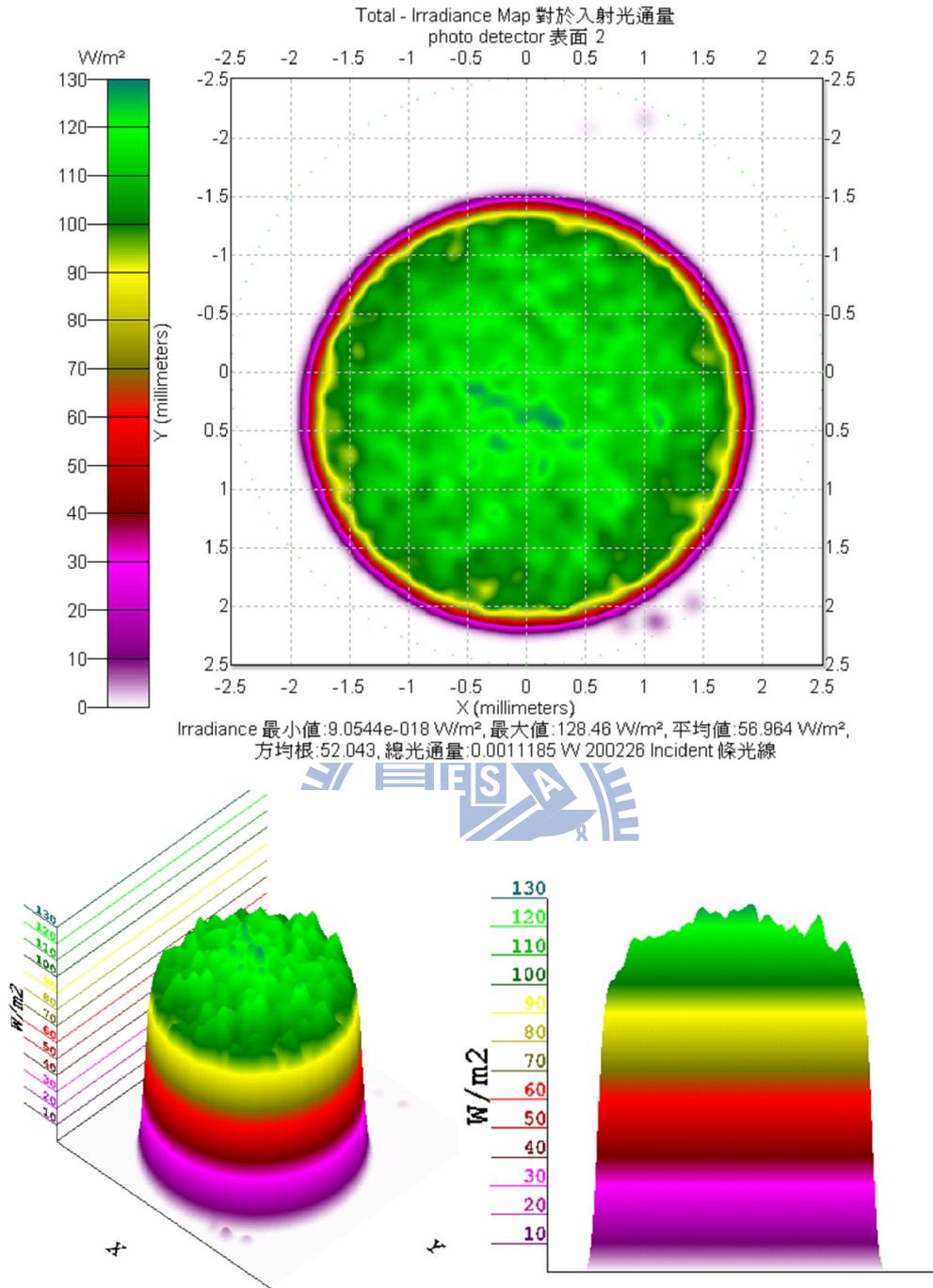


圖 3.4.13 由 TracePro 分析離焦-0.05 mm 時光偵測器之光強度圖(1.1185 mW)

3.5 模擬結果與分析

由上列圖片可知，雷射光束可由雷射半導體射出，經由偏振分光鏡由非偏振光轉變為線性偏振光，再由顯微物鏡聚焦入射至單模光纖中。當雷射光通過單模光纖時，因單模光纖受應力彎曲產生相位延遲之效果，雷射光由單模光纖出射時將改變為圓偏振光。之後藉由顯微物鏡使出射之雷射光束轉變為平行光，再傳遞至光碟片上，由圖 3.4.5 可知對焦時之光碟片上之雷射光通量為 1.1669 mW 。當雷射光由光碟片回傳時，將透過顯微物鏡等元件回傳至單模光纖中，由單模光纖出射時將透過偏振分光鏡，將光傳遞至光偵測器上接收訊號，由圖 3.4.6 可知，物鏡對焦時，光碟片回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.1423 mW 。

當系統離焦 0.05 mm 時，由圖 3.4.7 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.117 mW 。當系統離焦 0.01 mm 時，由圖 3.4.8 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.1528 mW 。當系統離焦 0.005 mm 時，由圖 3.4.9 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.151 mW 。當系統離焦 -0.005 mm 時，由圖 3.4.10 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.1325 mW 。當系統離焦 -0.01 mm 時，由圖 3.4.11 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.1207 mW 。當系統離焦 -0.05 mm 時，由圖 3.4.12 之回傳至光偵測器之雷射光通量約為 1.1185 mW 。

當光碟片之位置由近焦至遠焦移動時，其光通量之變化如圖 3.5.1 所示。雷射光由光碟片回傳時，隨光碟片之位置由近焦至遠焦移動，其光通量將逐漸增加。但當光碟片距離遠至一定程度時，回傳之光通量便會逐漸下降。

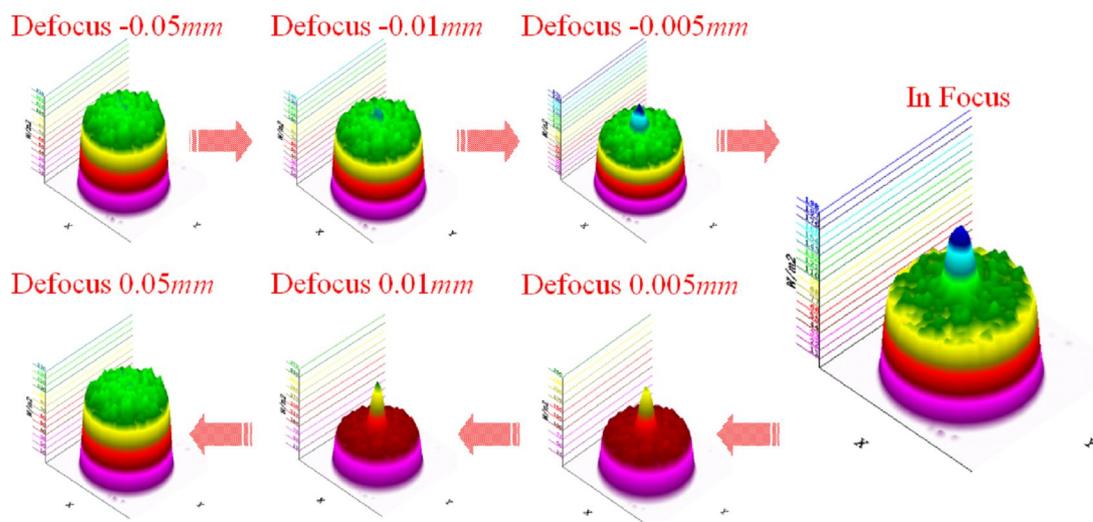


圖 3.5.1 由近焦至遠焦光偵測器之光強度變化

當雷射光由光碟片回傳時，若光碟片之位置有所改變，光偵測器收接收到之光強度亦有所改變。將光偵測器所接收之訊號加以處理後即可做後續之尋軌與追蹤伺服動作。



四、系統實驗平台架設與配置

4.1 實驗架設與操作

由光學模擬軟體完成光纖讀寫系統之設計、模擬與分析後，藉由實驗平台驗證軟體之模擬結果是相當重要的一環。在光學桌上以紅光雷射(波長 635 nm)、綠光雷射(波長 532 nm)與藍光雷射(波長 405 nm)為光源再加上偏振分光鏡、光纖耦合器等光學元件架設出光纖讀寫系統，並以黏上平面鏡之壓電材料及光碟片架設出整體系統。

雷射光由光源出發，經過偏振分光鏡起偏後，由光纖耦合透鏡聚焦至單模光纖中。當雷射光通過單模光纖時，因單模光纖受應力彎曲產生相位延遲之效果，單模光纖內之雷射光將由線偏振光改變為圓偏振光。之後藉由光纖耦合透鏡準直，再由物鏡將雷射光束聚焦至黏上平面鏡之壓電材料量測其聚焦誤差。壓電材料以電壓 100 V 、頻率 5 Hz 之弦波驅動，進行微幅振動，以模擬光碟片之遠焦、對焦、近焦等不同狀況，並將訊號回傳至光偵測器上以示波器顯示其波形。此外，亦將光碟片配置於實驗平台上，以量測其遠焦、近焦之變化。

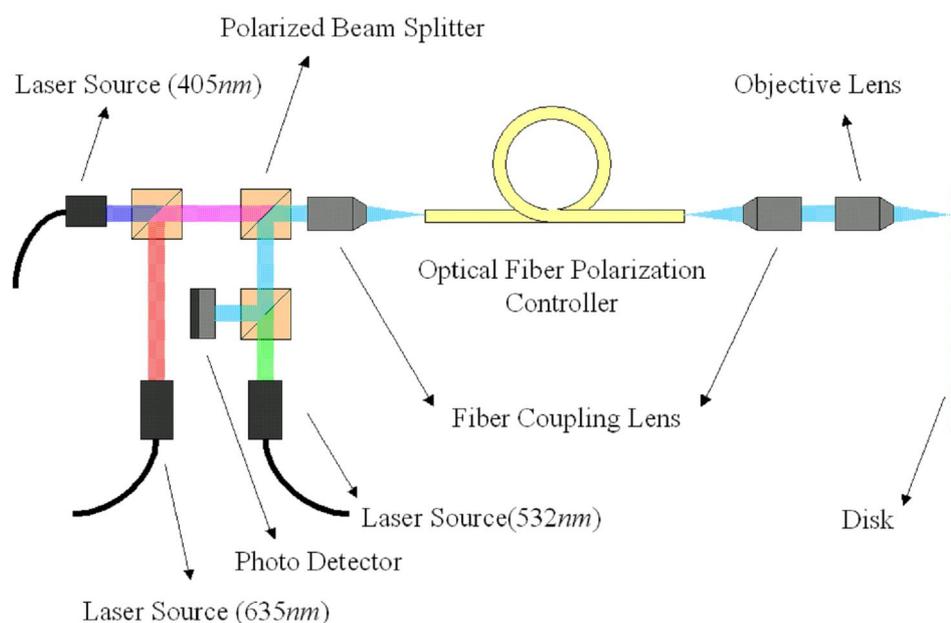


圖 4.1.1 整體系統架構示意圖

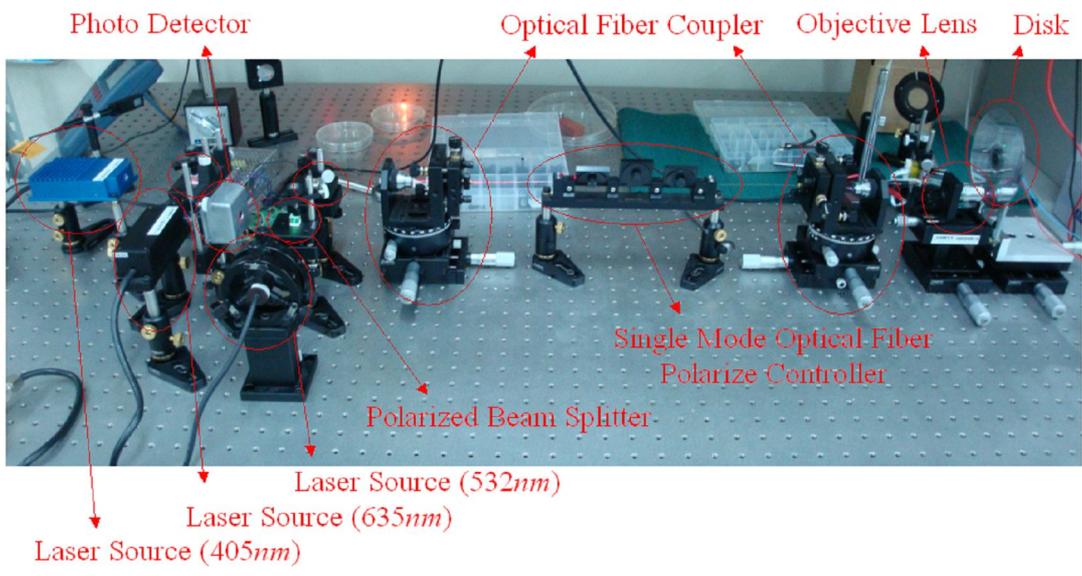


圖 4.1.2 整體系統架構圖



圖 4.1.3 紅光雷射光源(波長 635 nm)

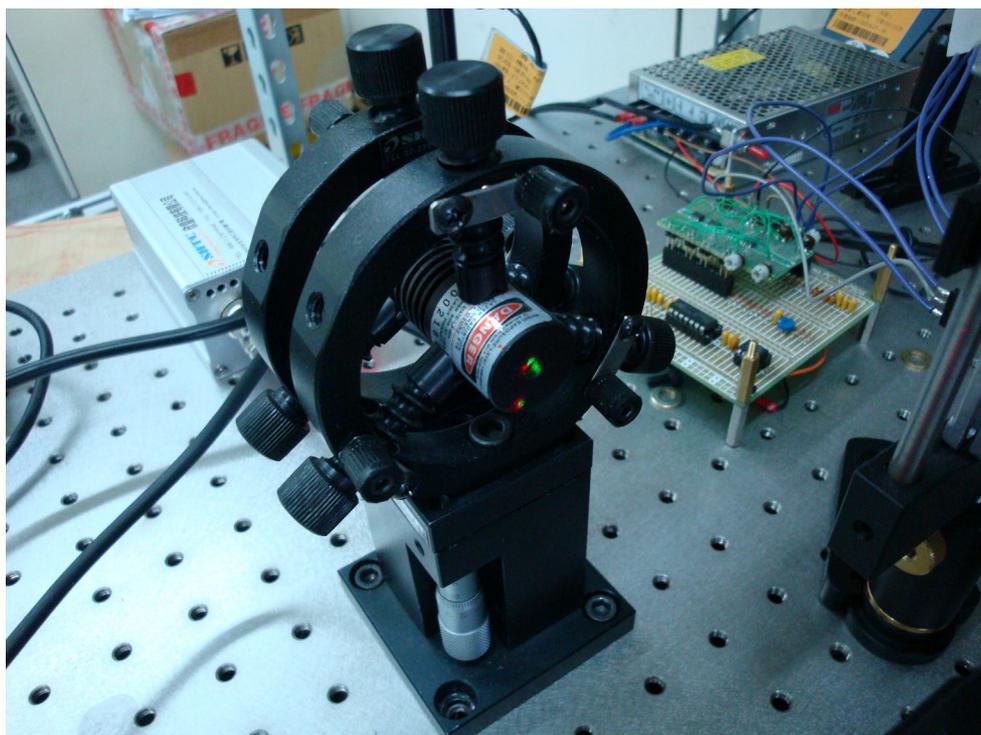


圖 4.1.4 綠光雷射光源(波長 532 nm)

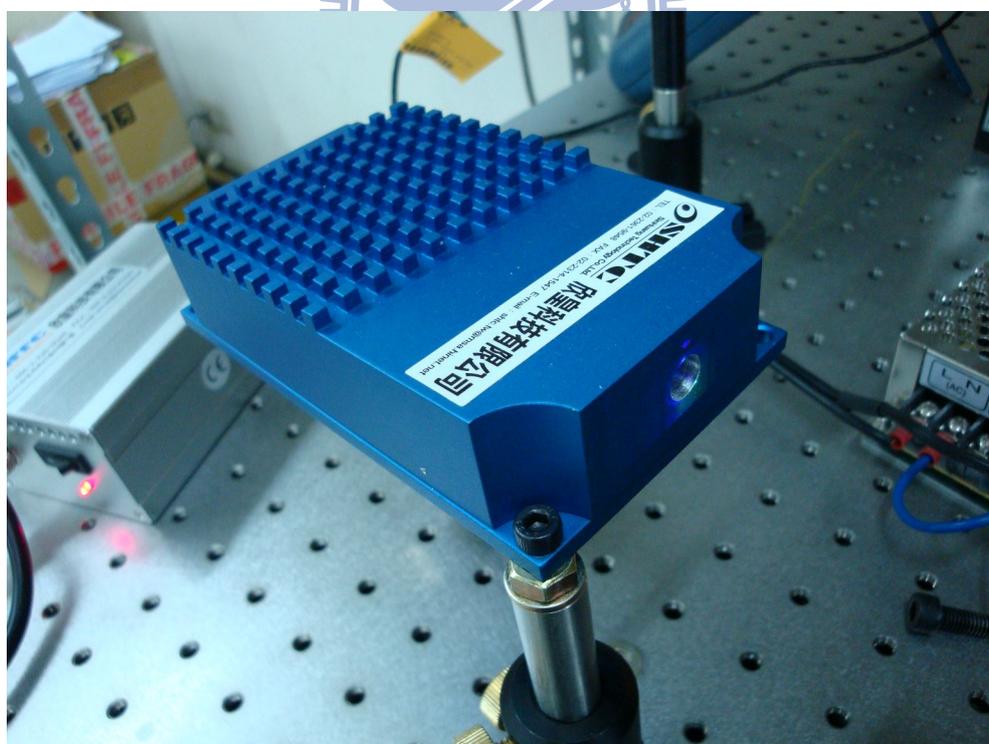


圖 4.1.5 藍光雷射光源(波長 405 nm)

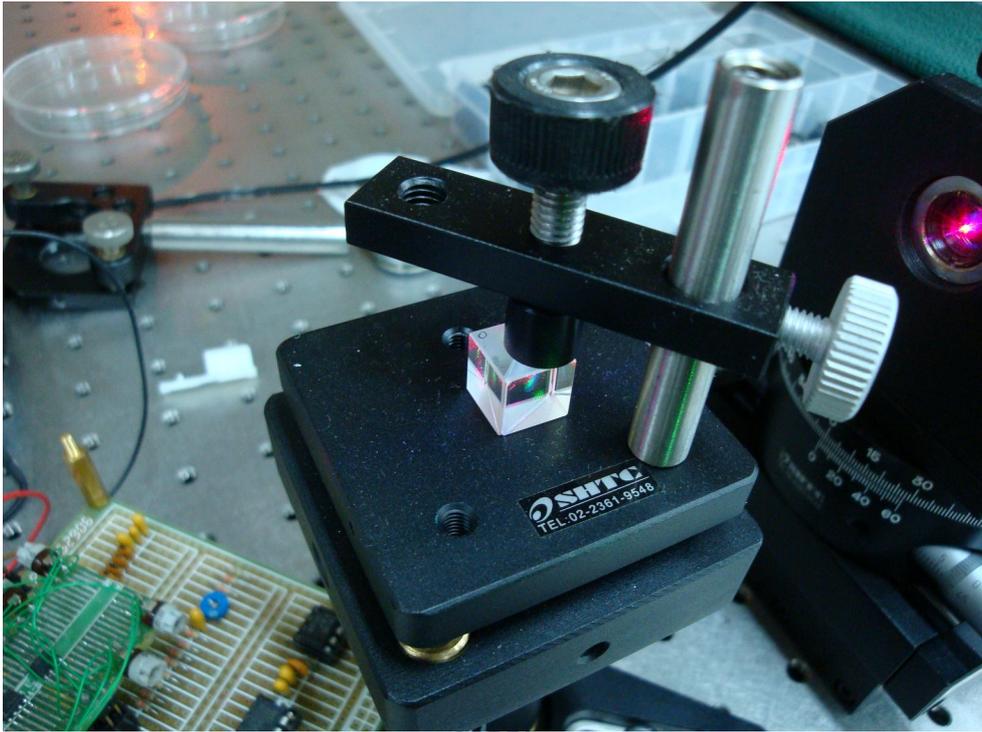


圖 4.1.6 偏振分光鏡

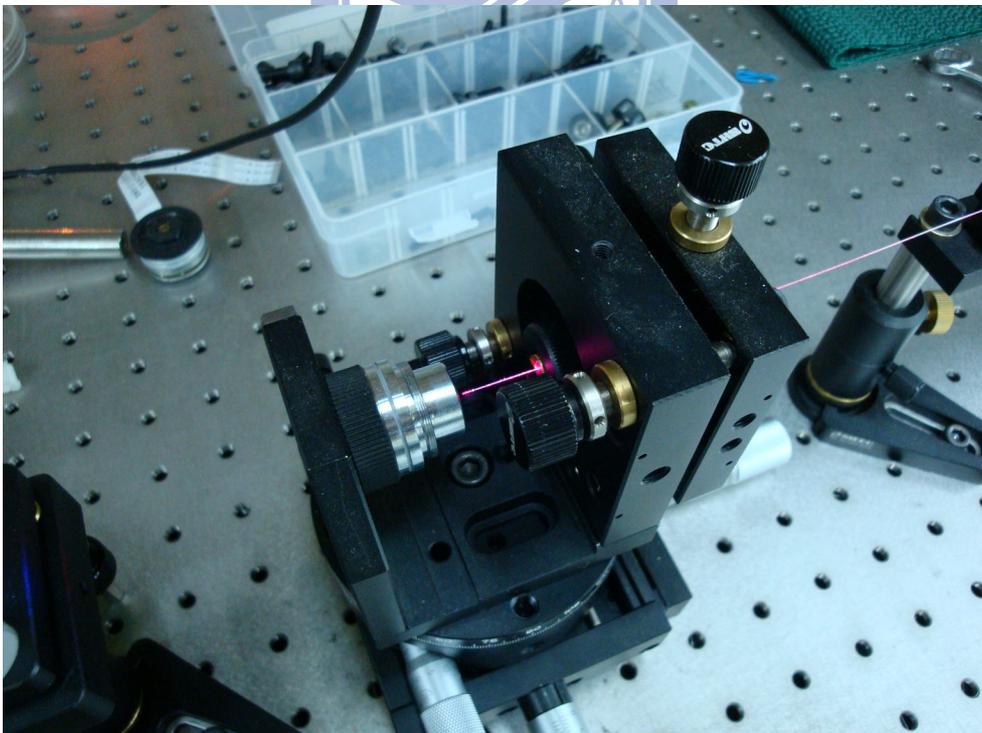


圖 4.1.7 光纖耦合器與單模光纖

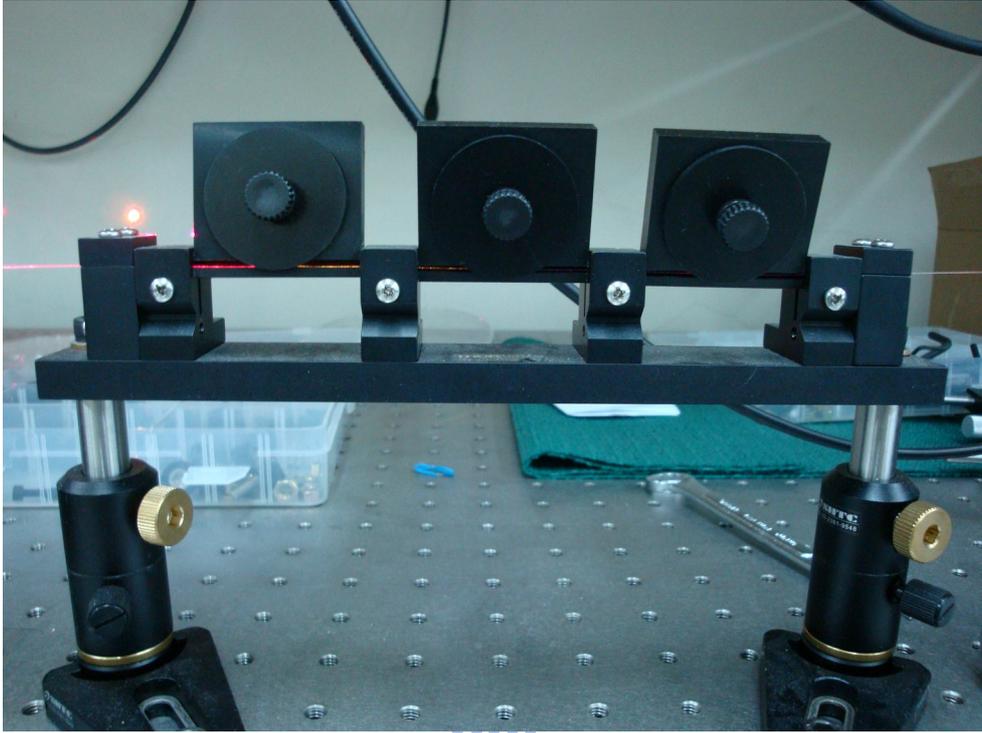


圖 4.1.8 光纖偏振控制器

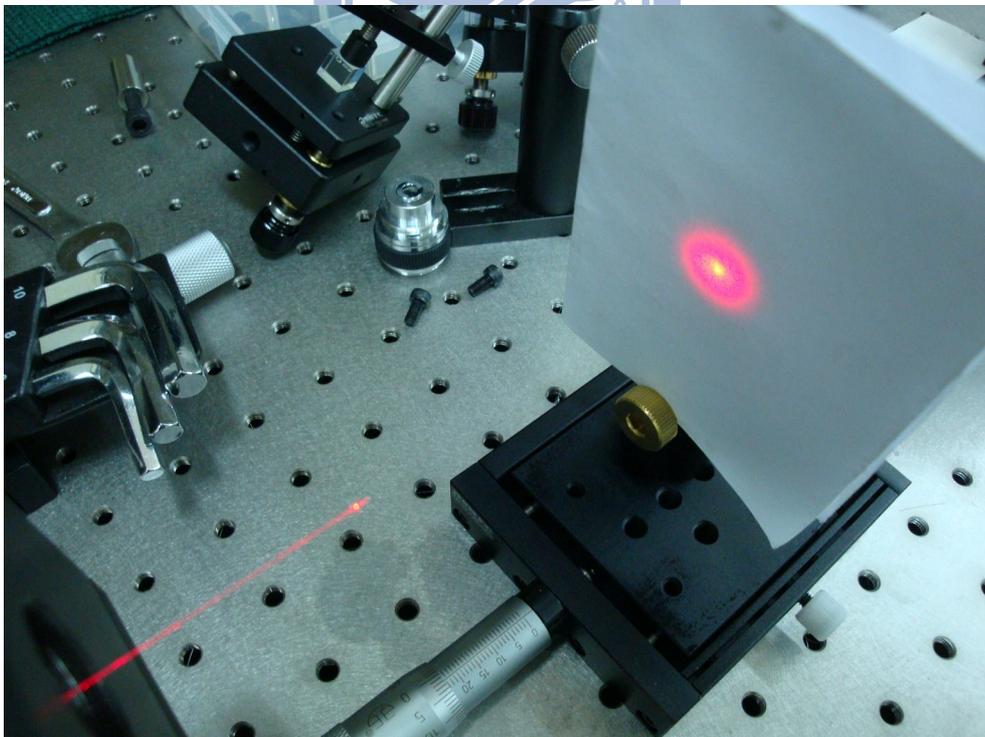


圖 4.1.9 單模光纖出射之光斑(紅光)

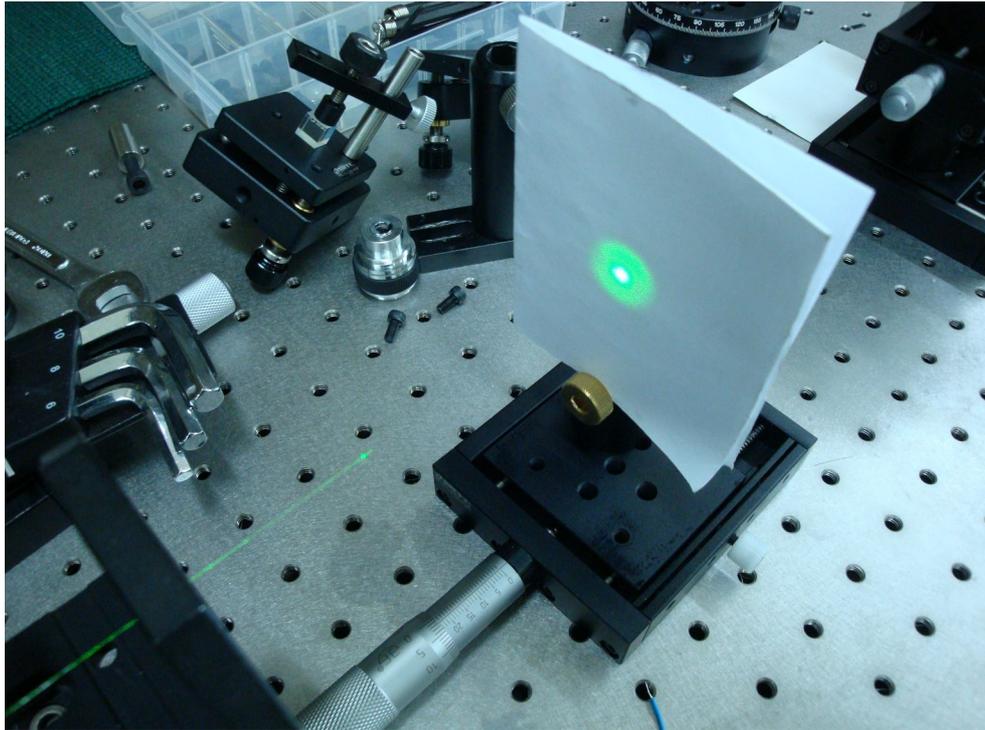


圖 4.1.10 單模光纖出射之光斑(綠光)

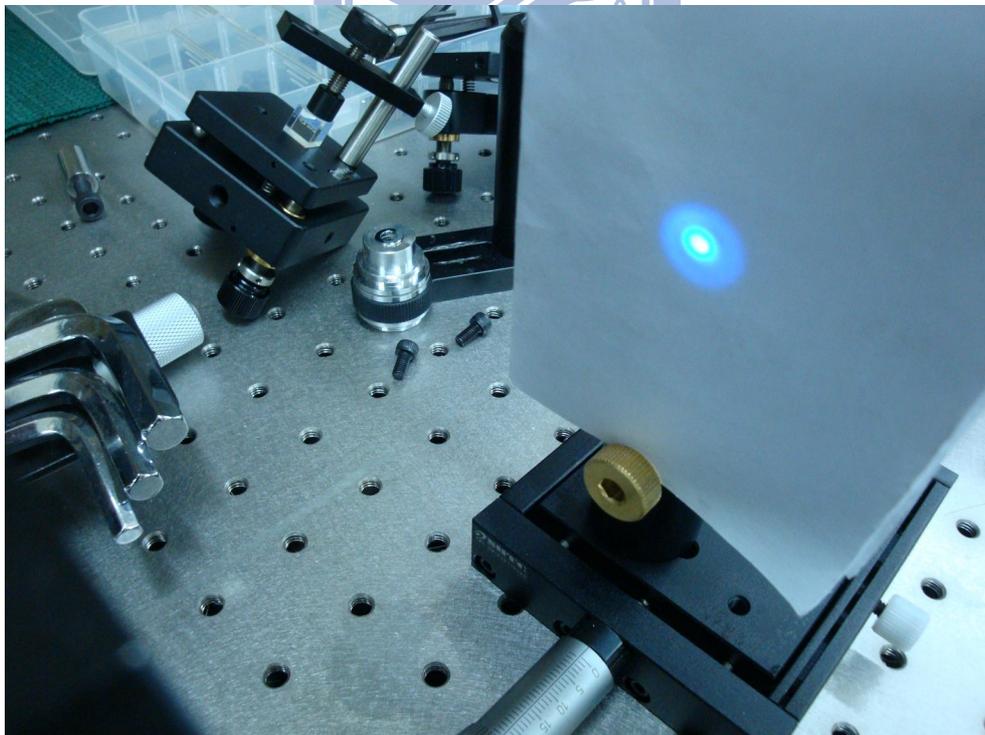


圖 4.1.11 單模光纖出射之光斑(藍光)

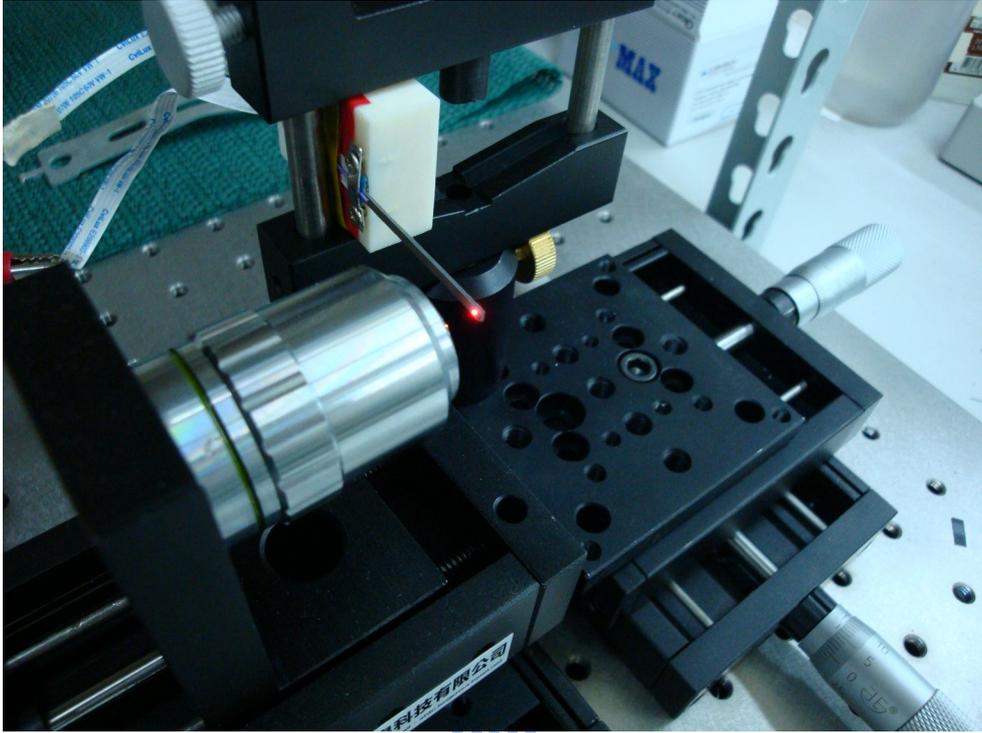


圖 4.1.12 物鏡與模擬光碟片用之壓電材料

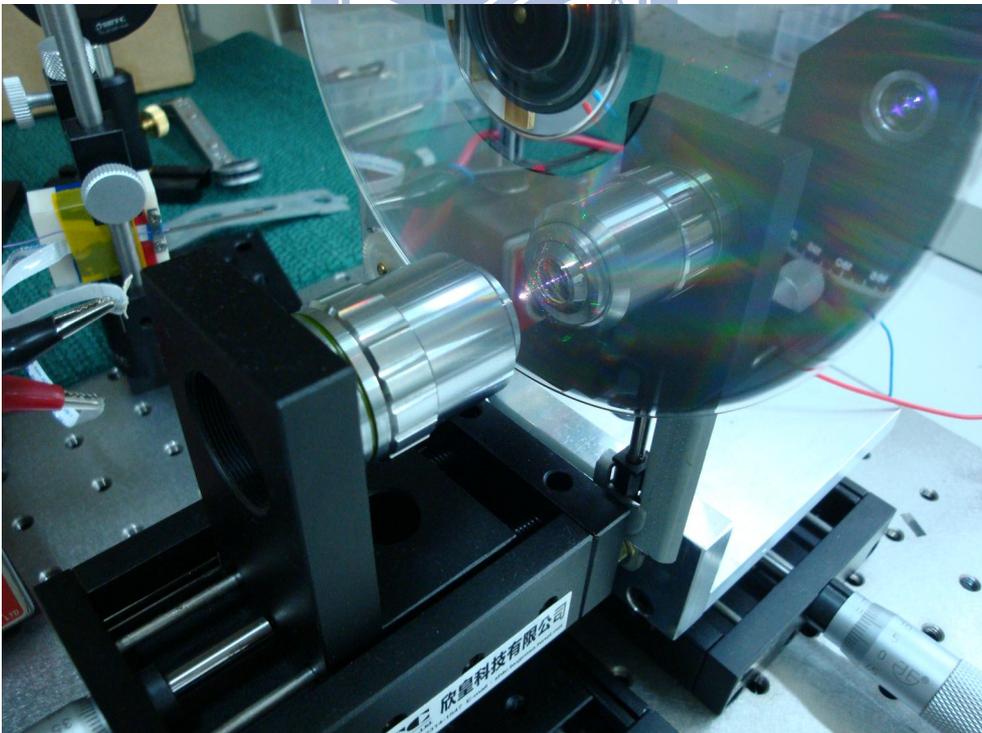


圖 4.1.13 物鏡與光碟片

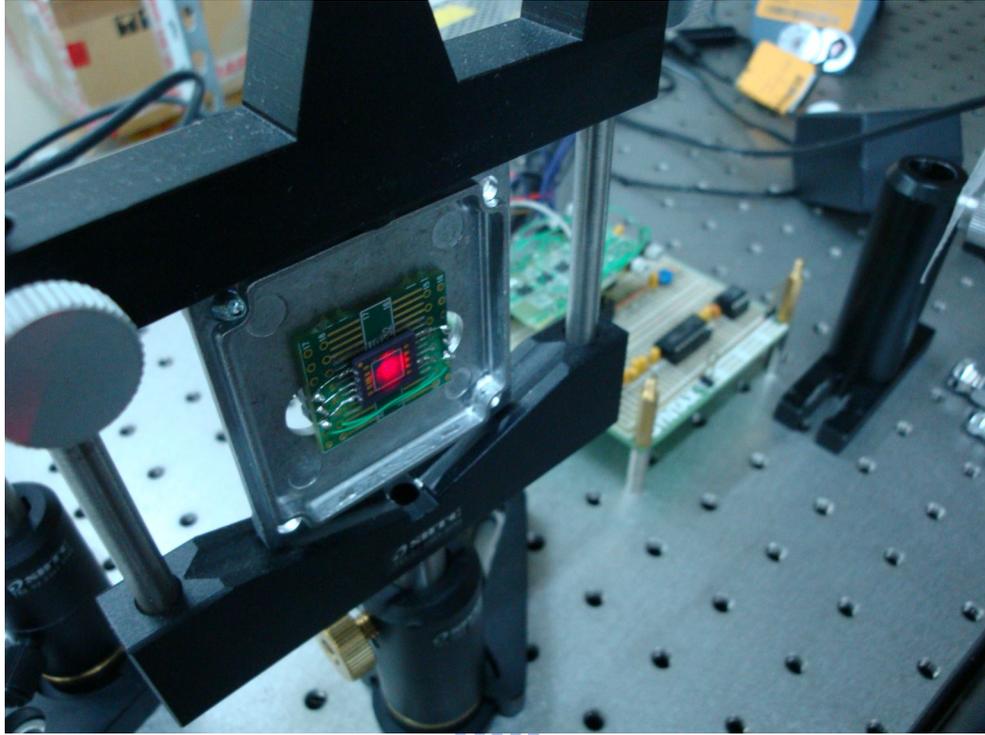


圖 4.1.14 光偵測器及接收之光斑位置

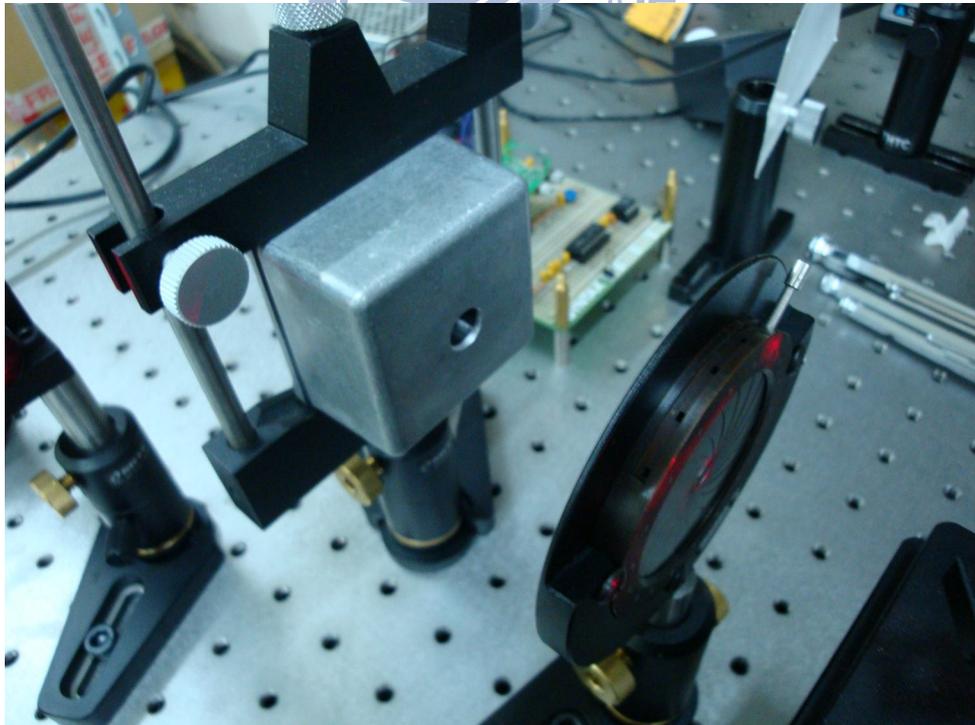


圖 4.1.15 隔絕雜光後之光偵測器與光圈

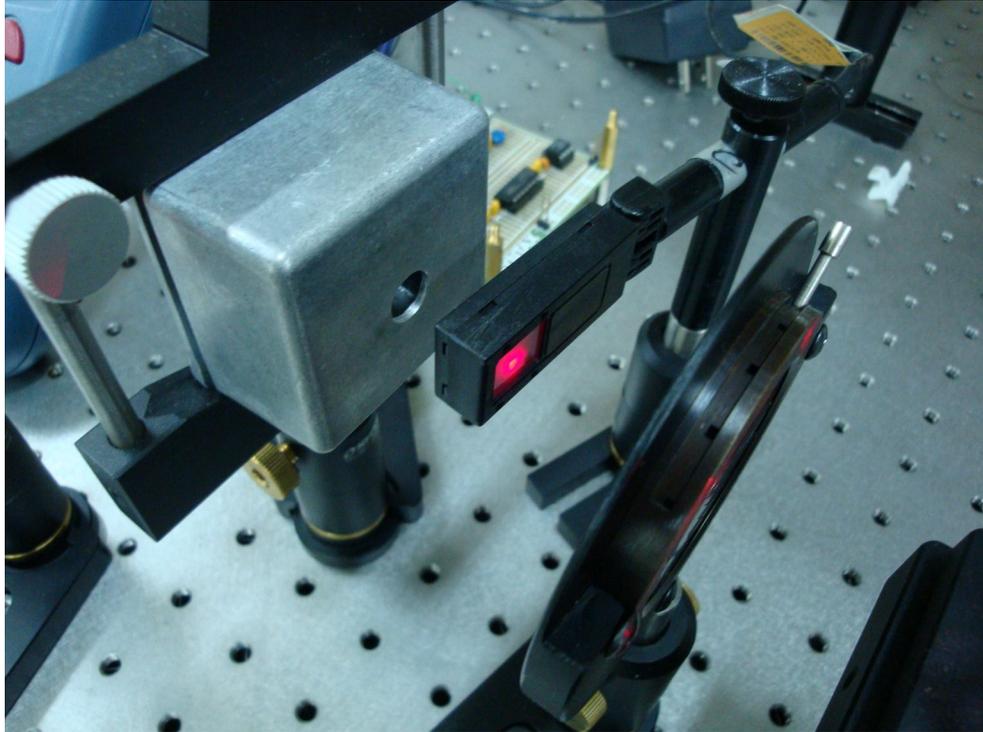


圖 4.1.16 檢測回傳雷射光強度之光功率計

4.2 光偵測器之製作

本論文實驗中所使用之光偵測器為日本 HAMAMATSU 所生產之型號 S5980 Si PIN 光偵測器，如圖 4.2.1 所示。當光偵測器收到訊號時，透過低偏壓放大器 OPA37GU 做初步處理(電路圖如圖 4.2.2 所示)，得到 A、B、C、D 象限之訊號後，再透過 4558D 與 TL084CN 做運算後可得聚焦誤差訊號(電路圖如圖 4.2.3 所示)，之後再由示波器量測接受到之訊號。由於光偵測器之感光度相當靈敏，因此以金屬盒將外界之雜光隔離如圖 4.2.4 所示，並置於實驗平台上以量測訊號。

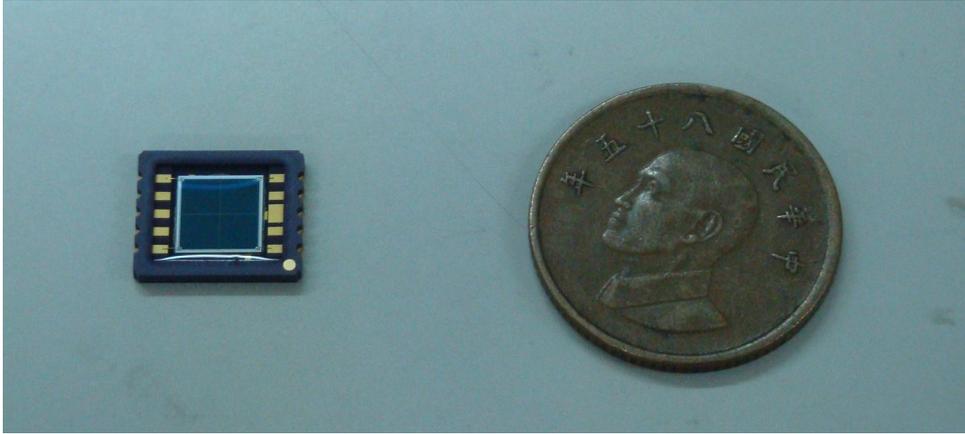


圖 4.2.1 Si PIN 光偵測器 S5980

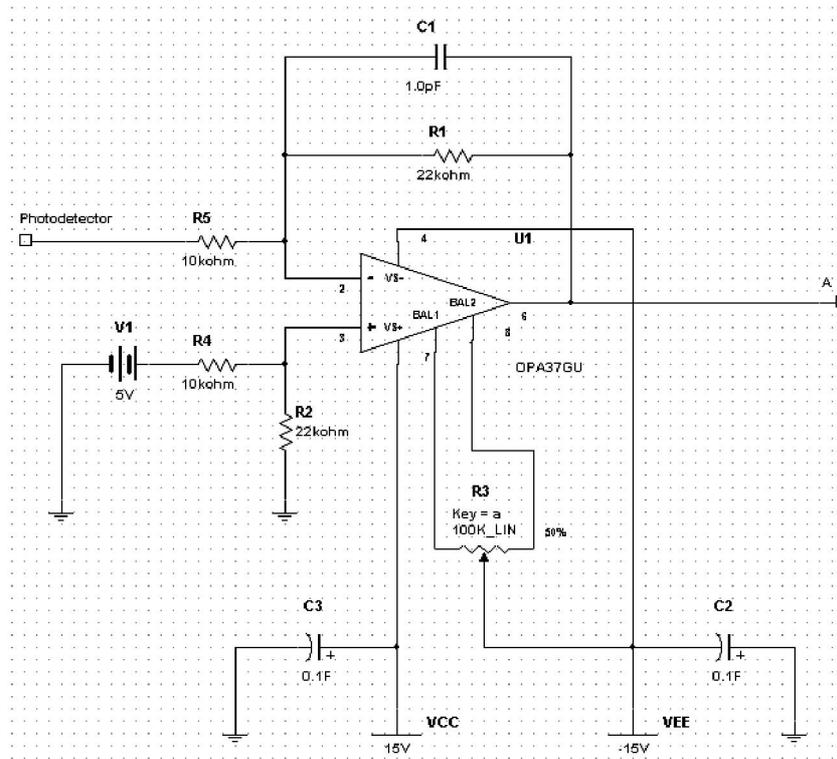


圖 4.2.2 光偵測器之 A、B、C、D 象限之電路圖

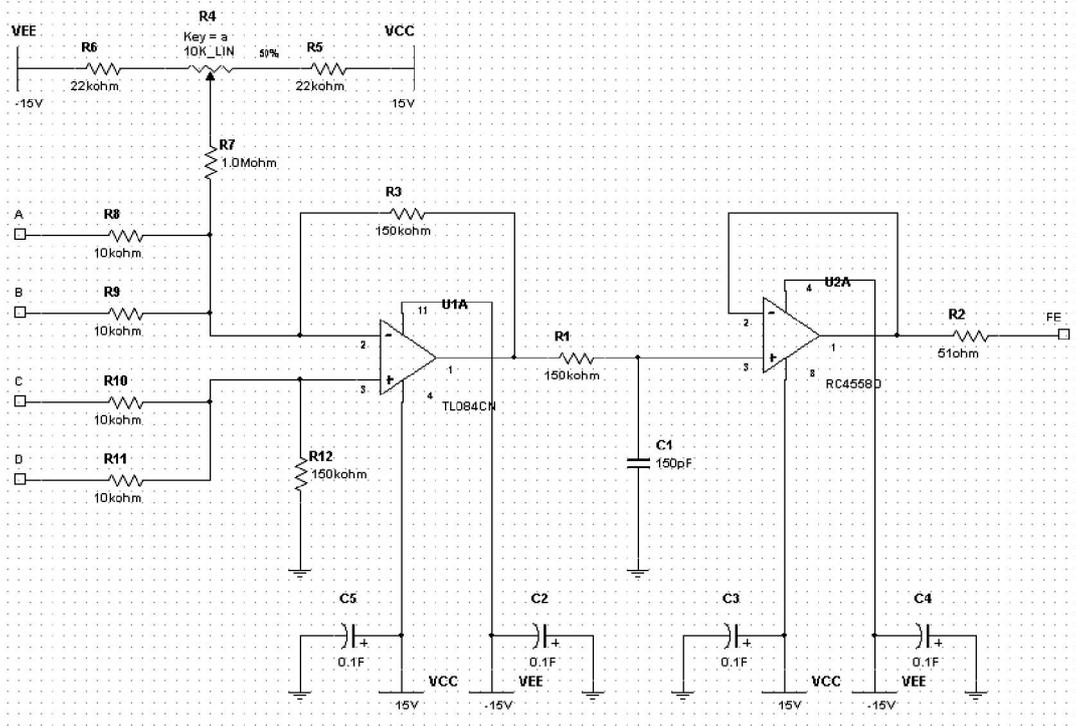


圖 4.2.3 經處理後之 A、B、C、D 象透過運算所得之聚焦誤差電路圖

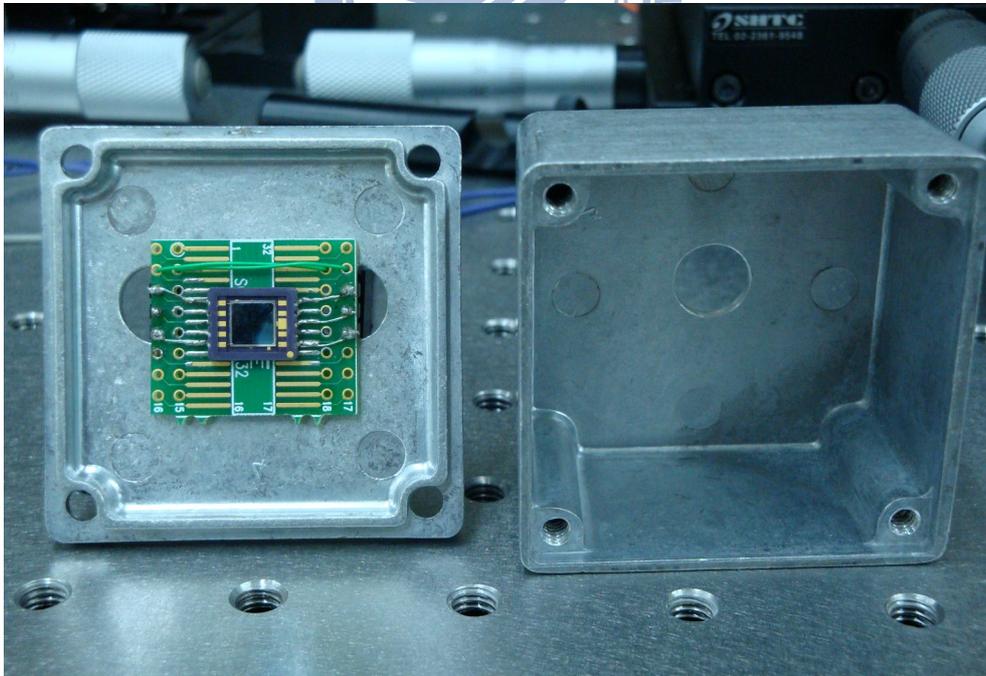


圖 4.2.4 光偵測器與隔絕雜光之鐵盒

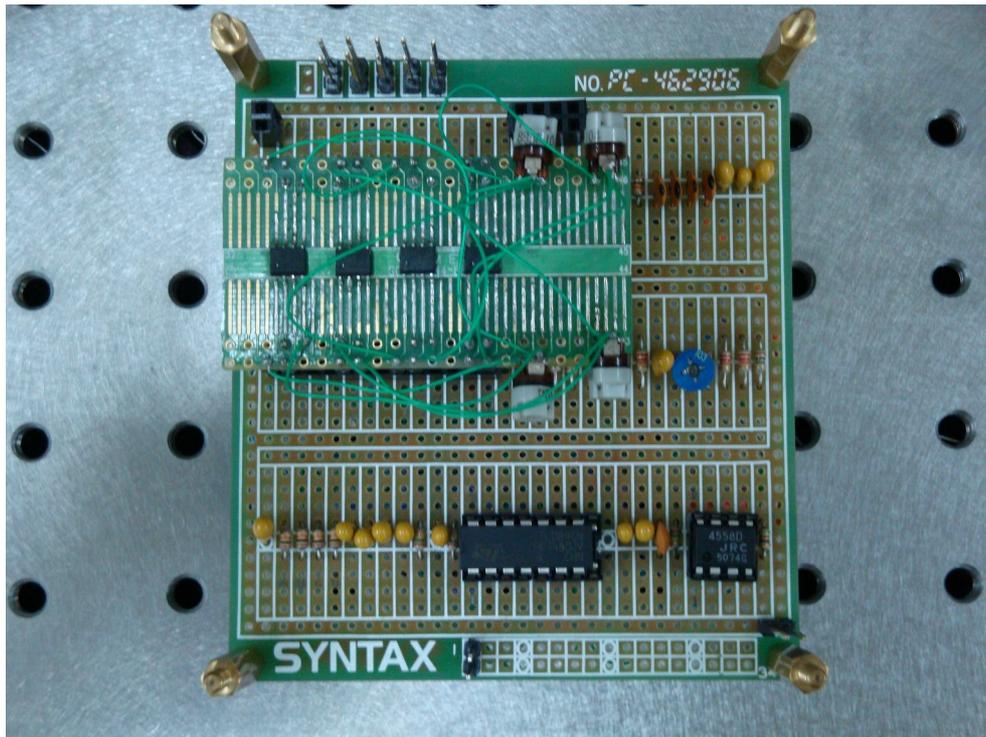


圖 4.2.5 光偵測器之電路板

4.3 紅光、綠光與藍光系統之實驗結果與分析

紅光、綠光與藍光雷射光束分別由不同之雷射光源射出並對軸，經過偏振分光鏡起偏後，由光纖耦合透鏡聚焦至單模光纖中。當雷射光通過單模光纖時，因單模光纖受應力彎曲產生相位延遲之效果，單模光纖裡之雷射光將由線偏振光改變為圓偏振光。雷射光由單模光纖射出後藉由光纖耦合透鏡準直，再由物鏡將雷射光束聚焦至黏上平面鏡之壓電材料或光碟片上量測其聚焦誤差。壓電材料以電壓 100V、頻率 5Hz 之弦波驅動，進行微幅振動使聚焦點前後移動，光偵測器所接收之訊號如圖 4.3.1、圖 4.3.4 及圖 4.3.7 所示，分別為紅光、綠光與藍光。光碟片之馬達由電源供應器提供電壓使其轉動，由光碟片所回傳之雷射光束於光偵測器所接收之訊號如圖 4.3.2、圖 4.3.5 及圖 4.3.8 所示。光功率計量測光強度所顯示之讀數如圖 4.3.3、圖 4.3.6 及圖 4.3.9 所示。

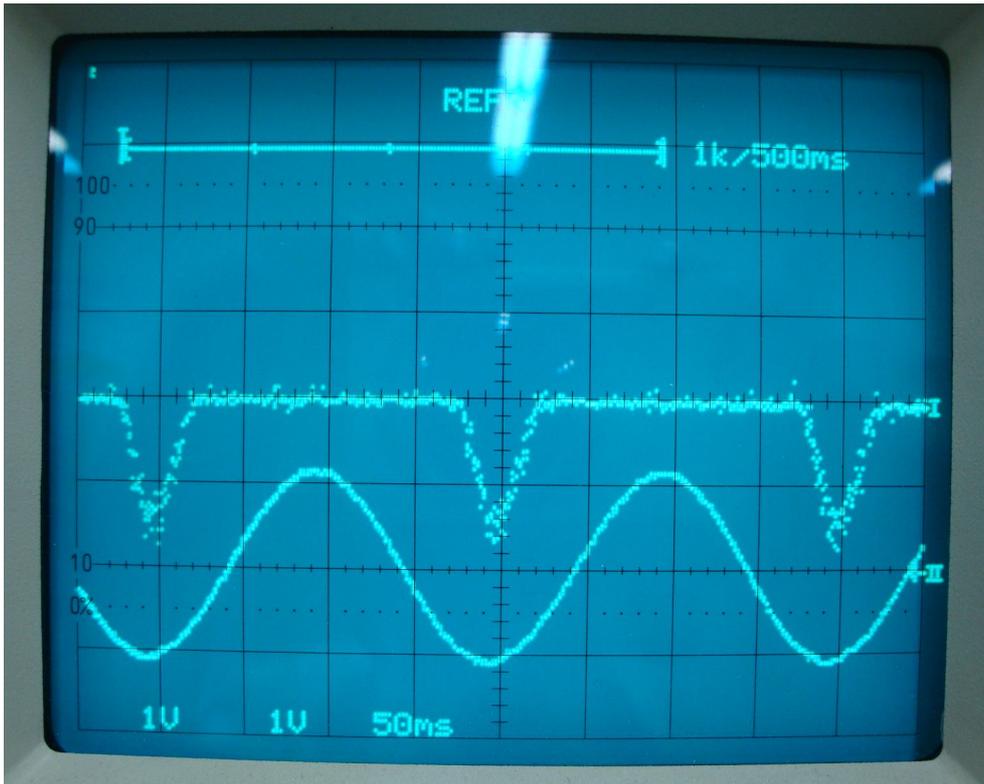


圖 4.3.1 由壓電材料回傳至光偵測器之紅光雷射於示波器所顯示之訊號

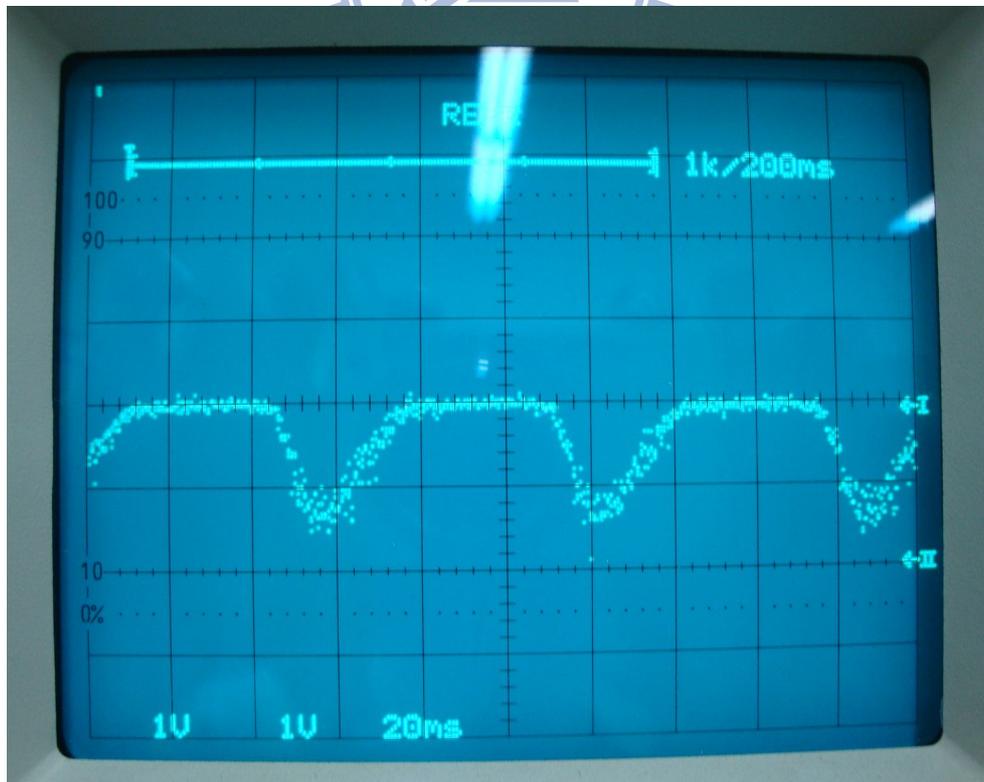


圖 4.3.2 由光碟片回傳至光偵測器之紅光雷射於示波器所顯示之訊號



圖 4.3.3 由光碟片回傳至光偵測器之紅光雷射於光功率計所顯示之讀數

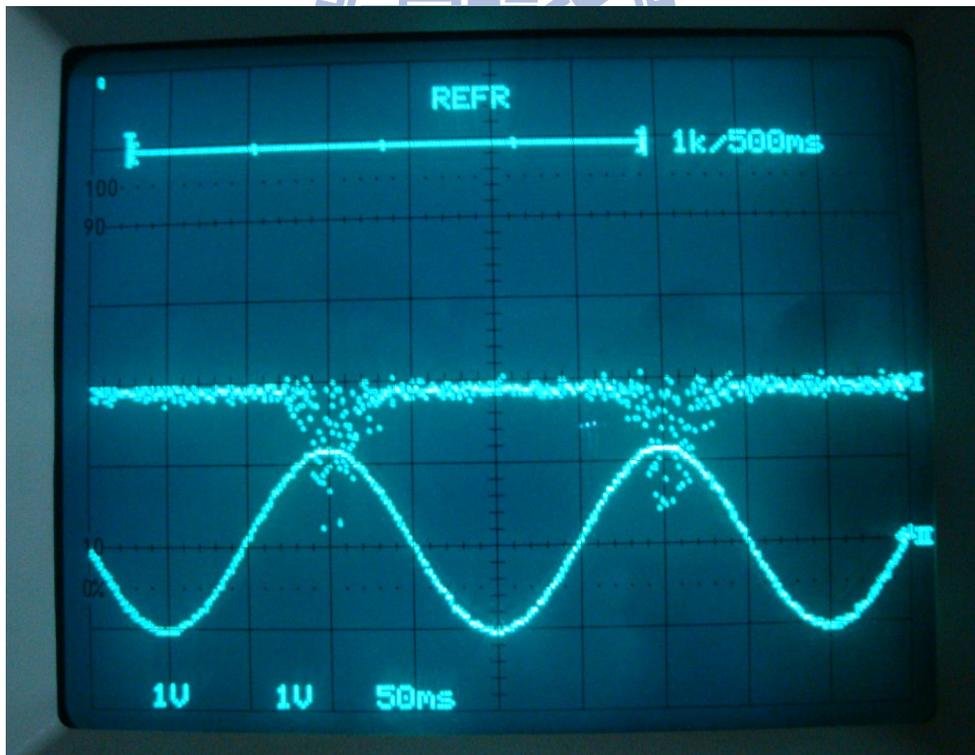


圖 4.3.4 由壓電材料回傳至光偵測器之綠光雷射於示波器所顯示之訊號

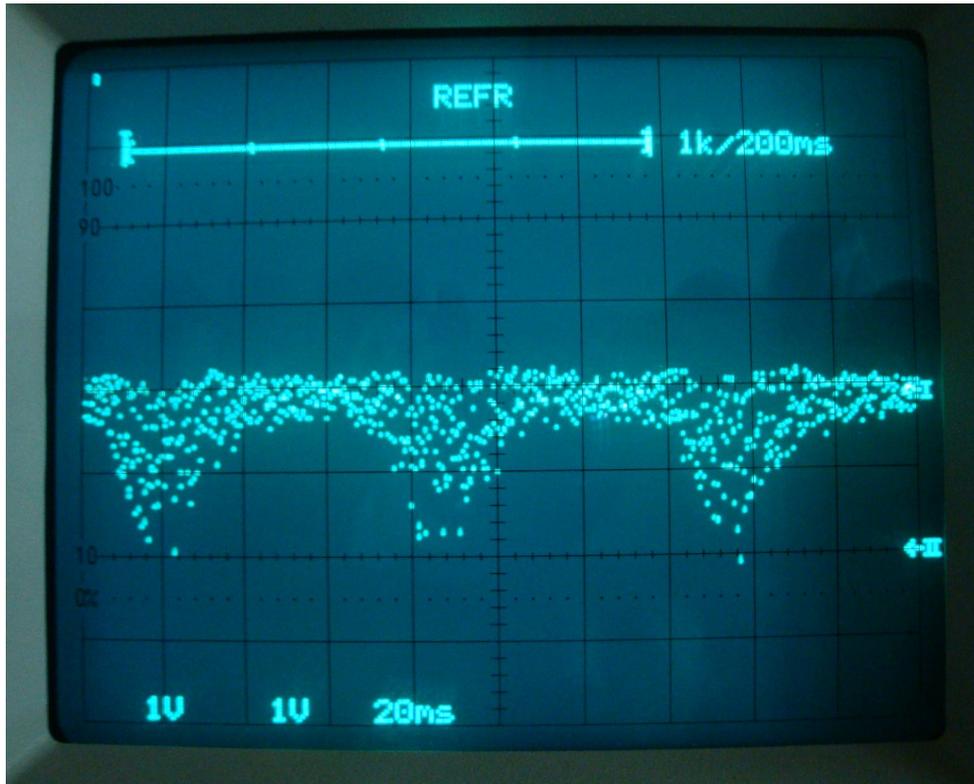


圖 4.3.5 由光碟片回傳至光偵測器之綠光雷射於示波器所顯示之訊號

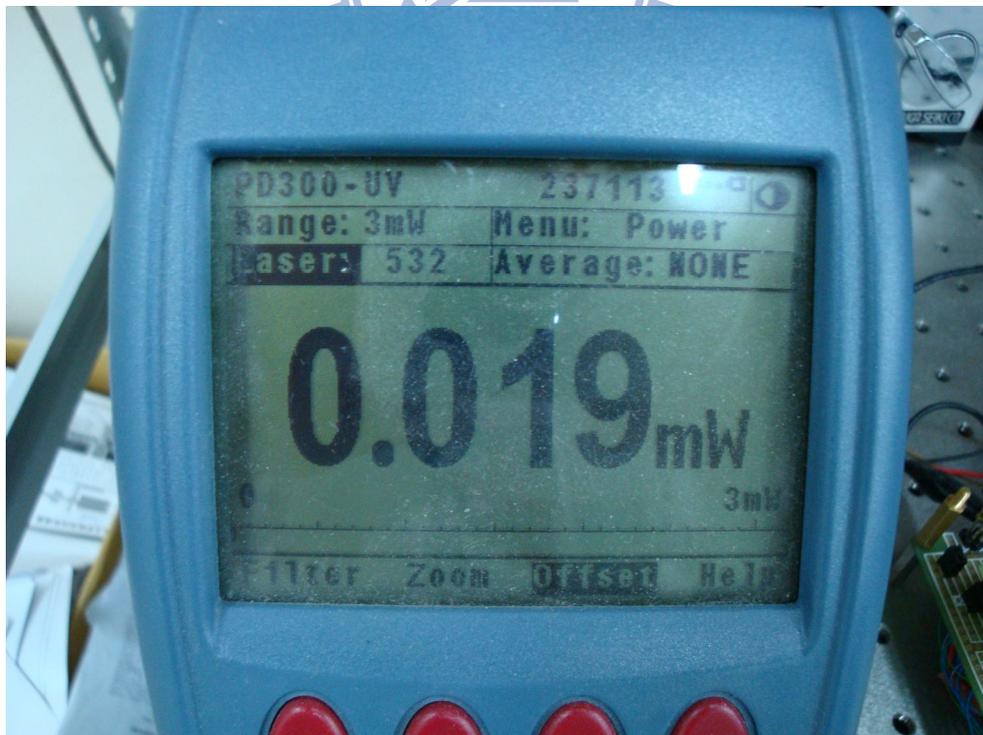


圖 4.3.6 由光碟片回傳至光偵測器之綠光雷射於光功率計所顯示之讀數

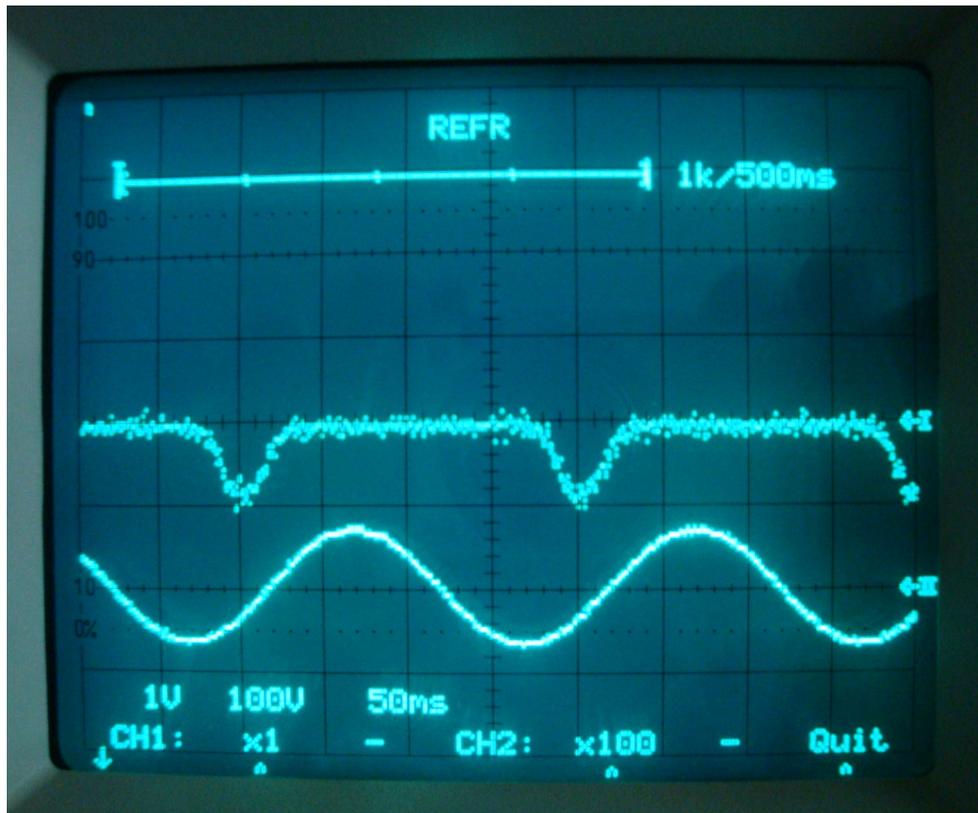


圖 4.3.7 由壓電材料回傳至光偵測器之藍光雷射於示波器所顯示之訊號

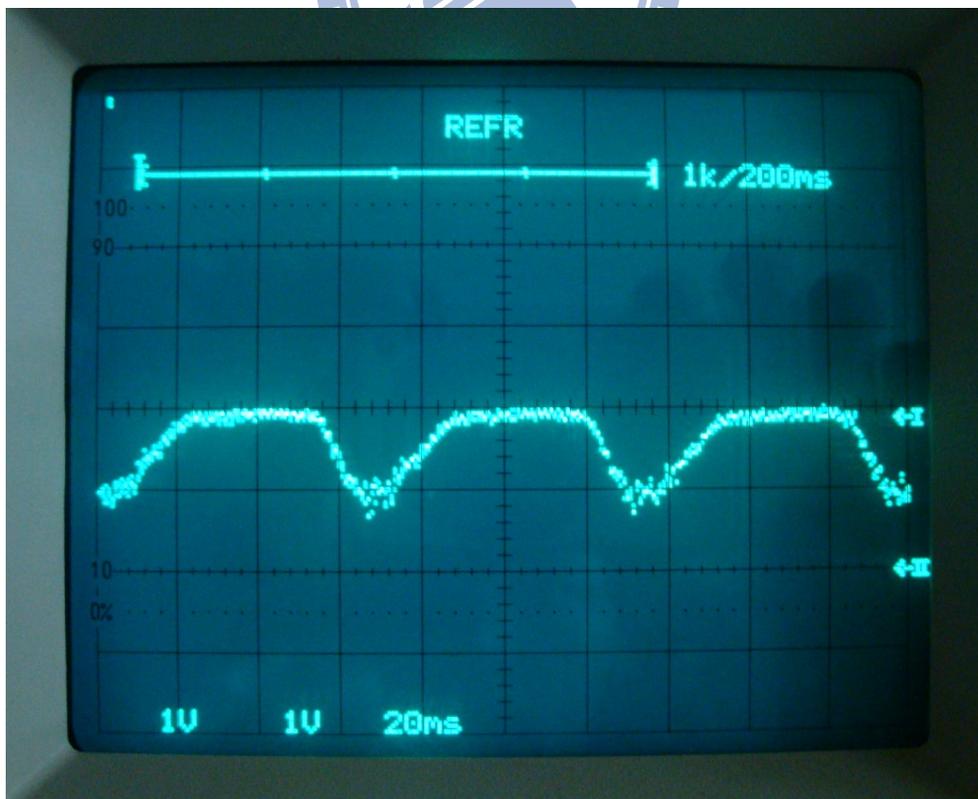


圖 4.3.8 由光碟片回傳至光偵測器之藍光雷射於示波器所顯示之訊號

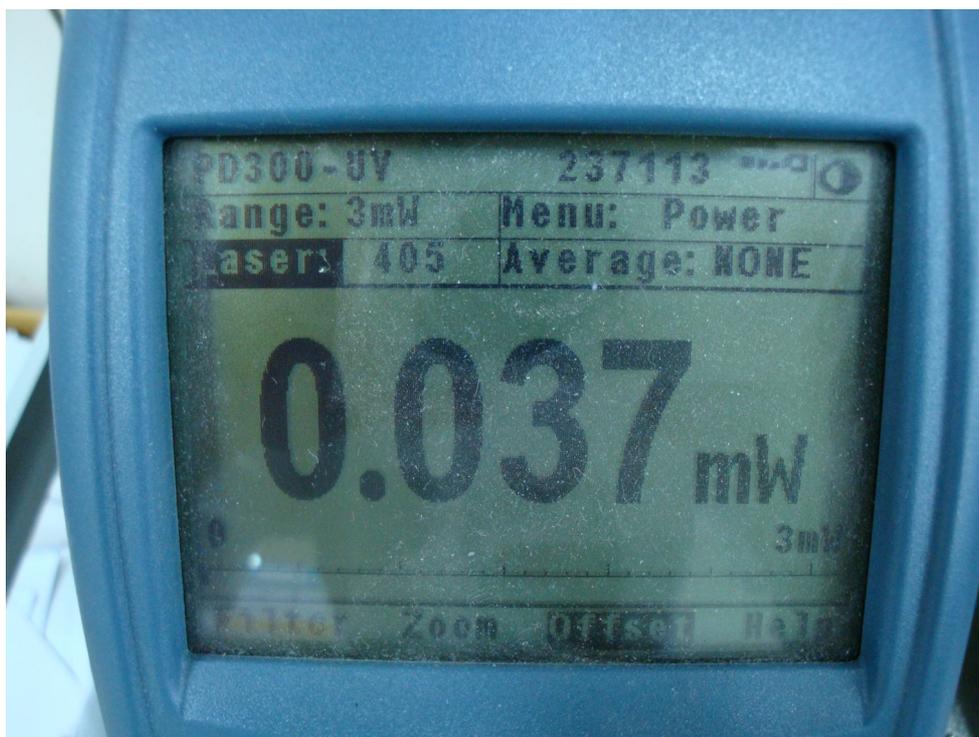


圖 4.3.9 由光碟片回傳至光偵測器之藍光雷射於光功率計所顯示之讀數

當雷射光回傳至光偵測器時，因聚焦點之前後位置不同，回傳之光強度亦有所變化，因此可將回傳之光強度變化量視為其聚焦誤差。由試波器可知雷射光回傳至光偵測器時，其輸出電壓之變化量約為 1 至 2V 左右，因回傳之雷射光強度而異。而紅光雷射回傳之光強度為 0.045 mW 、綠光雷射回傳之光強度為 0.019 mW 、藍光雷射回傳之光強度為 0.037 mW 。當回傳之光強度足夠且光源輸出功率穩定如紅光及藍光雷射時，可觀測出其波形之變化；當回傳之光強度不足或光源輸出功率不穩如綠光雷射，其波形之變化將參雜許多雜訊不易觀測。

當回傳之雷射光因聚焦點之前後位置不同而使光偵測器接輸出之信號產生變化時，可由下式推測其聚焦誤差：

$$\frac{V}{\Delta V} = \frac{x}{\Delta x} \quad (29)$$

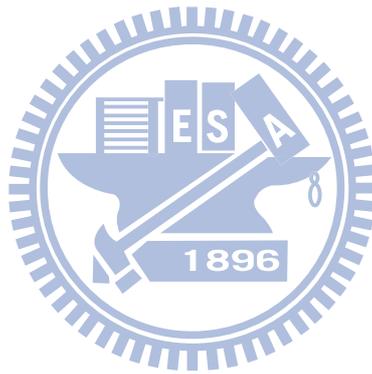
其中， V ：光偵器接收回傳雷射光後所輸出之電壓

ΔV ：光偵器隨回傳雷射光變化所輸出之最大與最小電壓差值

x ：光碟片所在之位置

Δx ：光碟片遠焦近焦之總位移變化量

藉由(29)，可由光偵測器之輸出電壓計算並推測出聚焦誤差，並將此結果進一步應用於後續之伺服控制上。



五、結論與未來展望

由軟體模擬與實驗結果可知，微光纖讀寫頭之構想是可行的。雷射光束可由雷射半導體射出，經由偏振分光鏡將非偏振光轉變為線性偏振光，再由顯微物鏡聚焦入射至單模光纖中。當雷射光通過單模光纖時，因單模光纖受應力彎曲產生相位延遲之效果即可取代四分之一波片。雷射光由單模光纖出射時將改變為圓偏振光，之後藉由顯微物鏡使出射之雷射光束轉變為平行光，再由物鏡傳遞至光碟片上。當雷射光由光碟片回傳時，將透過顯微物鏡等元件回傳至單模光纖中，最後將雷射光傳遞至光偵測器上接收訊號。

由實驗結果可知當光碟片聚焦點改變時，光偵測器可接收由光碟片回傳之雷射光，並將雷射光之強度變化透過計算轉變為聚焦誤差訊號並做後續之伺服控制。

相較於 SONY 之兩篇專利，本文之光纖架構僅用一段單模光纖，因此無光纖接合上之問題。且四分之一波片可由單模光纖取代以節省元件並做偏振態之控制，因此不論是凹槽式碟片或磁光碟片皆可讀寫其資料。不僅如此，光學讀寫頭與雷射光源皆可分離以達到降低負載與微型化之目的。但光纖彎曲時之功率損耗之問題仍有改進之空間。

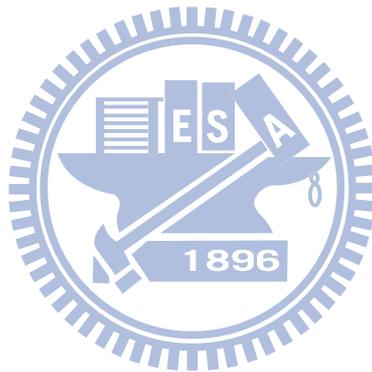
若本文之系統能搭配後續之控制迴路及機構設計，相信離微光纖讀寫頭之完成已指日可待。

六、參考文獻

- [1] SONY Corporation, “Optical Pickup”, US patent No. 6966707, November 22, 2005
- [2] SONY Corporation, “Optical Disc Apparatus”, US patent No. 6349082, February 19, 2002
- [3] CANON Kabushiki Kaisha, “Optical Head And Method of Detecting the Focus Thereof”, US patent No. 4626679, December 2, 1986
- [4] R. Ulrich, S. C. Rashleigh, and W. Eickhoff, Optical Letters June 1980 vol. 5, No. 6, pp.273-275, “Bending-induced birefringence in single-mode fibers”
- [5] H. C. Lefevre, Electronics Letters 25th September 1980 Vol.16, No. 20, pp. 778-780, “Single-mode fiber fractional wave devices and polarization controller”
- [6] 呂和, “光碟機讀寫頭系統介紹”, 光電資訊, 第 2 期
- [7] 洪俊賢, “光碟伺服控制系統簡介”, 光電資訊, 第 2 期
- [8] 朱朝居, “CD-ROM 光碟機之光學頭”, 光電資訊, 第 21 期
- [9] 李佩謙, “唯讀光碟機之伺服系統”, 光電資訊, 第 27 期
- [10] S. O. Kasap, “Optoelectronics And Photonics”, Pearson International Edition
- [11] Robert E. Fischer, Biljana Tadic-Galeb, Paul R. Yoder, “Optical System Design”, Mc Graw Hill
- [12] Blu-ray Disc White Paper: “Blu-ray Disc Format”, August 2004
- [13] Eastman Kodak Company, “Magneto-Optic Readout Using A Polarization Preserving Optical Guide”, US patent No. 5218582, June 8, 1993
- [14] Jin-Seung Sohn, Eun-Hyoung Cho, Myung-Bok Lee, Hae-Sung Kim, Mee-Suk Jung, Sung-Dong Suh, Wan-Chin Kim, No-Cheol Park and Young-Pil Park, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No. 2B, 2006, pp. 1144 - 1151, “Development of Microlens for High-Density Small-Form-Factor Optical

Pickup”

- [15] SAMSUNG Advanced Institute of Technology, Optical Data Storage 2006, edited by Ryuichi Katayama, Tuviah E. Schlesinger Proc. of SPIE Vol. 6282, 628206, 2006, “Development of Integrated Optical Pickup for Small Form Factor Optical Disc Drive”
- [16] 黎敏、廖延彪，光纖傳感器及其應用技術，武漢大學出版社
- [17] 廖延彪、黎敏、張敏、匡武，光纖傳感技術與應用，清華大學出版社
- [18] 李曉彤、岑兆丰，幾合光學、像差、光學設計，浙江大學出版社



附錄 A- Sterhl ratio 之定義

對光學讀寫頭的物鏡而言，其效能可由波前像差與 Sterhl ratio 來分析。當光學系統之 RMS 波前誤差量小於 0.1waves 時，Sterhl ratio 之關係式為：

$$\text{Sterhl ratio} = \exp\left[-(2\pi\omega)^2\right]$$

其中， ω 為 RMS 波前誤差量

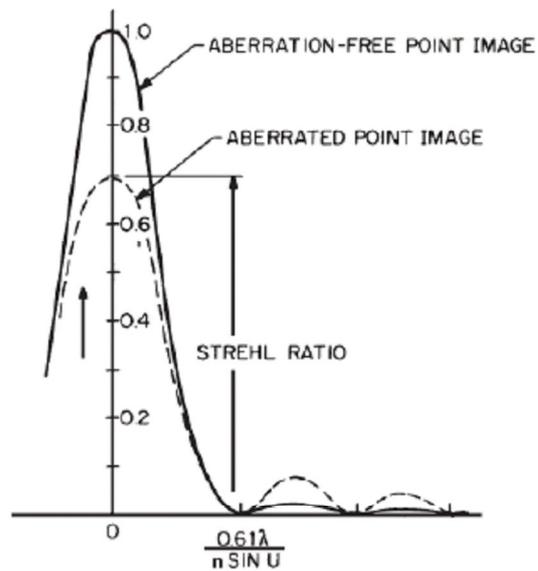


圖 A.1 Sterhl ratio 與點擴散函數圖

附錄 B-單模與多模波導

對步級折射光纖而言，可定義一 V 數(V-number)如下所示：

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \frac{2\pi a}{\lambda} NA$$

其中， a 為光纖之纖核之半徑， λ 為入射光之波長， n_1 為纖心之折射率， n_2 為包層之折射率， NA 入射光之數值孔徑。

當 V 數小於 2.405 時，光纖內只有一個模態(LP_{01})可傳播通過光纖核心，如圖 7.1.1。當 V 數增加並超過 2.405，模數明顯上升，成為多模波導。

對步級折射率多模光纖中之模數 M 可由式(29)近似：

$$M \approx \frac{V^2}{2}$$

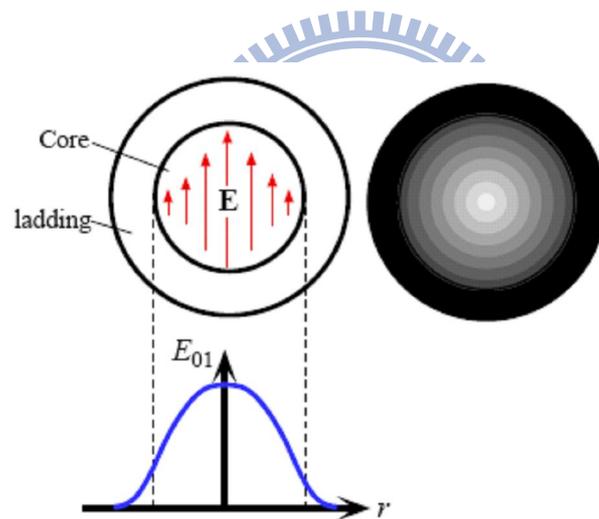


圖 B.1 步級折射光纖 LP_{01} 模態之電場圖樣

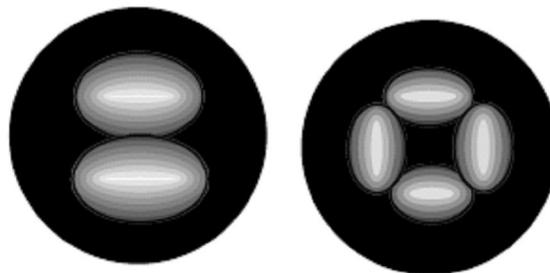


圖 B.2 步級折射光纖 LP_{11} 模態(左)與 LP_{21} 模態(右)之電場圖樣