

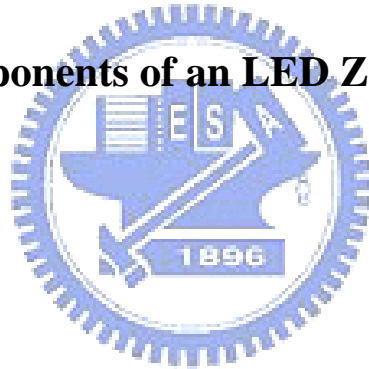
國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

可變焦LED照明系統之光學元件設計

Design on Optical Components of an LED Zoom Illumination System



研究生：蔡彥彬

指導教授：洪景華 教授

中華民國九十六年六月

可變焦 LED 照明系統之光學元件設計

研究生：蔡彥彬

指導教授：洪景華 教授

國立交通大學機械工程學系

摘要

LED 具有高效率、壽命長、反應速度快、體積小等的優點。而其能源節省、環境保護之特點，是永續發展的關鍵。因此，由 LED 取代傳統光源的時代即將來臨。而藉由良好的光學系統更能發揮 LED 的功能，達到照明光均勻及高效率的效果。

本研究提出一種光學設計，利用兩個非球面反光杯產生高品質的照明效果，並藉由反光杯與 LED 光源間相對的運動，使得照明光束可產生由聚集到發散的變焦功能。研究中利用光學軟體進行模擬，並以泛光的均勻性以及聚光效率為目標進行最佳化，改良反光杯的曲面參數。接著進行實驗以驗證設計的正确性，結果符合模擬之照明變焦效果。

Design on Optical Components of an LED Zoom Illumination System

Student : Yen-Pin Tsai

Adviser : Dr. Ching-Hua Hung

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

LED has advantages of high efficiency, long life, fast response, small volume and so on. Power saving and environmental protection are also the key points of LED for sustainable development, so the epoch of using LED to replace conventional light source is coming. Through well designed optical system, engineers can produce LED light of better performance, and result in more uniform illumination and high energy efficiency.

In this research, an optical design is brought up, which can achieve high illumination quality by using two aspheric reflectors. Through the relative movements of the reflectors and the light source, zoom function that can change illumination beam from convergence to divergence is obtained. Optical software is applied to system simulation, and optimization is performed to choose the parameters of reflectors with the objects of the uniformity of floodlight and the efficiency of spotlight. After that, experiments are carried out to verify the validity of the design, and the result corresponds to the simulation of zoom illumination.

誌謝

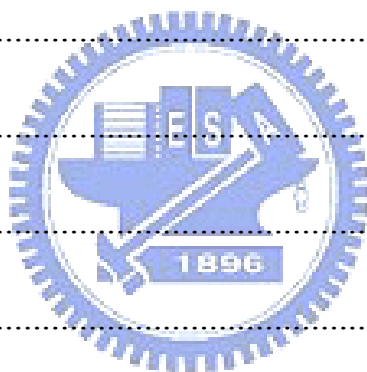
兩年的碩士生涯裡，首先要感謝指導老師洪景華教授，在學業、研究方面的教導，為學生指引了正確的方向，在生活與人生經驗方面也不吝分享，對學生將來的生活很有幫助。謝謝老師不辭辛勞的指導與教誨。

在研究過程中，要感謝實驗室的成員們，具有長遠眼光的大學長榮崇、深思熟慮不失風趣的宇中學長、曖曖內含光的政成學長、不high 不行的煌基學長、實驗室管理員正展學長、電玩動漫專家銘傑學長、穩重認真開 wish 的麒楨學長，同窗兩年的同學，玩遊戲贏獎金的小強、最會聊天鬥嘴的宗駿、隨時可以睡著的智者黃詠，還有學弟們書卷志嘉、射箭高手運賢、最會接話的世璿、忙著照顧女生們的俊羿，還有建榮、時恆、聖平、棋祥學弟，感謝大家在學習上的切磋指導，並且增加了許多生活樂趣，使我的碩士求學過程更加豐富，也讓我在研究的過程中保持動力。

感謝爸爸、媽媽、爺爺、奶奶以及妹妹的支持及鼓勵讓我能無後顧地進行研究。最後要感謝女友在旁的陪伴與互相扶持，讓我能順利完成學業。

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 序論.....	1
1.1 簡介.....	1
1.2 文獻回顧.....	3
1.3 研究動機.....	3
1.4 論文架構.....	4
第二章 基本原理.....	7
2.1 光學原理.....	7
2.1.1 反射和折射定理.....	7
2.1.2 臨界角與全反射.....	8
2.1.3 可逆性.....	9
2.1.4 光程與 Fermat 原理.....	9
2.1.5 色散.....	9
2.2 非球面.....	10



2.3	光度學單位.....	10
2.4	光源.....	12
2.4.1	白熾燈泡(incandescent lamp).....	12
2.4.2	螢光燈(fluorescent lamp).....	13
2.4.3	發光二極體(Light Emitting Diode, LED).....	13
第三章 設計過程與軟體介紹.....		21
3.1	初始概念設計.....	21
3.1.1	現階段設計.....	21
3.1.2	概念設計.....	22
3.2	光學軟體介紹.....	23
3.3	初步模擬.....	25
3.3.1	模擬流程.....	25
3.3.2	建立模型.....	26
3.3.3	賦予性質及建立光源.....	27
3.3.4	光線追跡與模擬結果.....	28
3.4	最佳化設計.....	30
3.4.1	最佳化流程.....	30
3.4.2	設計變數與目標函數.....	31
3.4.3	泛光最佳化.....	33



3.4.4 聚光最佳化.....	35
3.4.5 最佳化結果討論.....	36
第四章 實驗.....	59
4.1 實驗目的.....	59
4.2 實驗規劃.....	59
4.2.1 實驗設備.....	59
4.2.2 LED 光型實驗.....	64
4.2.3 變焦實驗.....	64
4.2.4 反光杯形狀量測.....	65
4.3 實驗結果.....	65
4.3.1 LED 光型實驗結果.....	65
4.3.2 變焦實驗結果.....	66
4.3.3 反光杯形狀量測結果.....	68
第五章 結果與討論.....	80
5.1 模擬與實驗比較.....	80
5.2 誤差原因.....	82
第六章 結論與未來展望.....	86
參考文獻.....	89
附錄 A 利用 Damped Least Square 最佳化演算法.....	91



附錄 B 使用 Lumileds LED 設計	96
-------------------------------	----

附錄 C 中華民國新型專利說明書	103
------------------------	-----

圖目錄

圖 1.1 專利 US 4101957 可變焦的光	5
圖 1.2 專利 US 4388673 可變光束手電筒	5
圖 1.3 專利 US 4987523 可調光束焦點手電筒	5
圖 1.4 專利 US 5171086 手持可變焦手電筒	6
圖 1.5 專利 US6986593 光之收集、分散、變焦方法	6
圖 2.1 反射定理	17
圖 2.2 折射定理	17
圖 2.3 全反射	18
圖 2.4 色散現象	18
圖 2.5 非球面偏移	19
圖 2.6 圓錐曲線常數	19
圖 2.7 立體角	20
圖 2.8 DIN5033 色度圖與普朗克軌跡	20
圖 3.1 拋物面反射杯	39
圖 3.2 拋物面反射杯之聚光(左)與泛光(右)	39
圖 3.3 特殊設計的反射杯	39

圖 3.4 特殊設計的反射杯之聚光(左)與泛光(右).....	39
圖 3.5 光源移動前	40
圖 3.6 光源移動後	40
圖 3.7 外反光杯移動前	41
圖 3.8 外反光杯移動後	41
圖 3.9 光學模擬流程	42
圖 3.10 內反光面之圖形	42
圖 3.11 外反光面之圖形.....	42
圖 3.12 內外反光杯之圖形	43
圖 3.13 元件相關位置	43
圖 3.14 CREE XLamp XR-E LED 之發光光型.....	44
圖 3.15 CREE XLamp XR-E LED 之發光光譜強度.....	44
圖 3.16 變焦過程之光線追跡	44
圖 3.17 調整顯示前狀態之照度	45
圖 3.18 調整顯示後之照度	45
圖 3.19 變焦過程之照度圖	46
圖 3.20 僅考慮內反光杯之光線追跡	47
圖 3.21 僅考慮內反光杯之照度圖	48
圖 3.22 僅考慮外反光杯之光線追跡	49

圖 3.23 僅考慮外反光杯之照度圖	50
圖 3.24 光學軟體最佳化流程	51
圖 3.25 環型參考面	51
圖 3.26 泛光目標函數之分布	52
圖 3.27 泛光最佳化前後照度圖形比較	53
圖 3.28 聚光目標函數之分布	54
圖 3.29 泛光最佳化前後截面照度值比較	55
圖 3.30 聚光最佳化前後照度圖形比較	56
圖 3.31 最佳化前後照度圖比較	57
圖 3.32 最佳化前後截面照度比較	58
圖 4.1 內反光杯設計圖	69
圖 4.2 外反光杯設計圖	69
圖 4.3 內反光杯座設計圖	70
圖 4.4 外反光杯座設計圖	70
圖 4.5 光源放置架設計圖	71
圖 4.6 光源座設計圖	71
圖 4.7 底座設計圖	72
圖 4.8 實驗機台	72
圖 4.9 照度計	73

圖 4.10 CREE XLamp XR-E 350mA 下溫度與輸出之關係	73
圖 4.11 數位溫度計.....	73
圖 4.12 LED 光型實驗架構示意圖	74
圖 4.13 變焦實驗架構示意圖	74
圖 4.14 CREE XLamp XR-E 光型實驗結果	75
圖 4.15 變焦過程實驗圖形	76
圖 4.16 變焦過程截面照度實驗值	77
圖 4.17 變焦過程截面照度實驗值(續).....	78
圖 4.18 內反光杯量測結果	79
圖 4.19 外反光杯量測結果	79
圖 5.1 變焦過程模擬與實驗之照明比較	84
圖 5.2 變焦過程模擬與實驗之截面照度比較	85
圖 A 1 DLS 最佳化前後照度圖比較.....	93
圖 A 2 DLS 最佳化前後截面照度比較	94
圖 A 3 變焦過程 DLS 模擬與實驗照明比較	95
圖 B 1 使用 Luxeon I 設計之最佳化前後照度圖比較.....	98
圖 B 2 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗照明比較	99
圖 B 3 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗截面照度比較...100	
圖 B 4 Luxeon I LXHL-MW1D 光型模擬與實驗比較.....	101

圖 B 5 使用 Luxeon I 設計之內反光杯量測	101
-----------------------------------	-----

圖 B 6 使用 Luxeon I 設計之內反光杯量測	102
-----------------------------------	-----

表目錄

表 2.1 LED 之優缺點	15
----------------------	----

表 2.2 目前可見光之 LED 使用的材料及發出的光	16
-----------------------------------	----

表 3.1 初始參數(單位 mm)	26
-------------------------	----

表 3.2 初始變焦之搭配	27
---------------------	----

表 3.3 環型參考面之尺寸	32
----------------------	----

表 3.4 泛光最佳化前後設計變數比較	34
---------------------------	----

表 3.5 泛光最佳化前後目標值比較	34
--------------------------	----

表 3.6 聚光最佳化前後設計變數比較	35
---------------------------	----

表 3.7 聚光最佳化前後目標值比較	36
--------------------------	----

表 3.8 聚光最佳化前後最大照度比較	36
---------------------------	----

表 3.9 最佳化前後最大照度比較	38
-------------------------	----

表 4.1 電源供應器規格	61
---------------------	----

表 4.2 數位相機規格	62
--------------------	----

表 4.3 照度計規格	62
-------------------	----

表 4.4 數位溫度計規格	63
---------------------	----

表 4.5 三次元量測儀規格	63
----------------------	----

表 4.6 實驗元件相對位置關係	66
表 4.7 變焦過程之泛光範圍	67
表 4.8 中央附近之照度值	68
表 4.9 實驗過程溫度變化	68
表 5.1 變焦過程模擬與實驗之最大照度比較	81
表 A 1 變焦過程最大照度值比較.....	92
表 B 1 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗最大照度比較	97



第一章 序論

1.1 簡介

1962 年第一個可見光發光二極體(Light Emitting Diode, LED)問世，接下來三十年內陸續發展出各種顏色之 LED，但是距離實際應用還有一差距。直到近幾年來，才突破關鍵技術的瓶頸。1993 年日亞化學公司(Nichia Chemical Corporation)發展出有效率的藍光 LED，並在 1996 年成功發展出白光 LED。2000 年左右，業者相繼投入製造白光 LED，引入 1 瓦電力驅動的商業級 LED；2002 年市場上出現 5 瓦的 LED，目前平均輸出為每瓦 32 流明。從 2000 年開始，每顆 LED 平均輸出的能量越來越高，進步的速度較先前大幅加快[1]。2006 年歐斯朗半導體公司(OSRAM Opto Semiconductors Corporation)推出在 700 毫安培的驅動電流下，可發出 400 流明的白光 LED。

LED 具有效率高、耗電量小、低電壓直接驅動、低發熱量、使用壽命長等特點，且不含液態汞，回收的問題比日光燈少，對環境保護是一個很好的解決方案。因此美國、日本等皆推動全國性計畫，將使用 LED 代替傳統光源之照明產品來達到節省能源的目的。對於全世界來說，這是一次 LED 照明革命，應用的範圍包括：路燈、交通號誌、汽車車燈、室內照明、液晶顯示背光源、手機等用途。

由於 LED 光源興起，為了取代傳統光源並達到相同或是更佳的功效，必須有效地運用 LED 發出的光。然而 LED 與傳統光源產生的光存在著差異性，例如：光譜、發光體面積、光型等，因此需要專用於 LED 之新式的照明器具，且為了達到最佳的效果，光學設計扮演了重要的角色。

目前 LED 應用在照明的方法大致包括：(i)直接將封裝好的 LED 以陣列的方式排列，光線直接發散；(ii)LED 置於反光器內，藉由控制反光器的形狀，反射光線使之射向目標位置；(iii)利用透鏡之全反射及折射原理，將光導向前射出。透過這些交互運用的設計方式，光線皆可以有效地聚集或因特殊目的射向特定位置。

然而這些光學元件不會改變外型，所以光束是固定的，造成了只能達成一個光束要求的缺點。然而根據不同的使用需求，照明的範圍也有所不同，有時需要集中的聚光(spotlight)光束，將光傳播到遠處，例如燈塔、舞台燈；有時候需要擴散的泛光(floodlight)，照亮大範圍的面積，例如室內照明、搜索燈。具有變焦(zoom)功能的照明系統可依需求調整照明的範圍，使用同一設備就可以形成集中的光束，或是大區域的照明。因此，可變焦照明設計節省了空間、成本，著實具有利用的價值與研究的需要。

1.2 文獻回顧

關於變焦設計，Chang[2]等人首先提出實用性的照明變焦設計，如圖 1.1，光線由光源所發射，被反射面反射後射向右方，再利用兩個透鏡的透鏡組，藉由機構帶動透鏡的運動而達到變焦效果，應用於舞臺燈光。Maglica[3]提出變焦手電筒的設計，使用固定的拋物面反光杯，讓光源在光軸上移動，使光線反射角度改變而改變方向，達成變焦照明的設計，如圖 1.2，是現今大部分變焦照明系統所採用的方法。Lindabury 的設計如圖 1.3，以及 Baloochi 的設計如圖 1.4，為同樣藉由改變光源與反射面相對距離之變焦方法。Greg[6]則使用一個透鏡與一個反射杯，如圖 1.5，可收集來自光源的所有光線；且藉由透鏡前後移動，使得光線折射的角度改變，同時能改變透鏡與反光杯所能控制光線的比例，而達成變焦。

1.3 研究動機

關於變焦方法，可能的解決方式包括：(i)替換光學元件，但會有操作上不方便，難克服連續變化的要求；(ii)以同一光源，改變光學元件位置的方式，但效果不佳；(iii)使用變焦透鏡組，但其體積會太過龐大且過重。因此本研究期望以目前的 LED 光源為基礎，運用精簡的元件，提出一可調光束大小之變焦 LED 照明系統之概念，經由

軟體輔助，完成光均勻及光效率之最佳參數設計。此設計同時必需不侵犯現有的專利。由這樣的設計，可依使用的狀況從小角度的聚光光束，連續改變到大角度的泛光光束，且任何情況皆可達到光均勻、高效率之優越品質效果，如此可應用在室內照明、投影機、手電筒、相機閃光燈等多樣化產品，將能使 LED 照明器具的功能向上提升，增加運用時的靈活性，及產品的附加價值。

本研究將採用手電筒作為研究的對象，因其為一基礎的照明系統設備，卻也包含了光學設計的要素，並且須考慮機構、組裝等要求，因此手電筒為一可發展的方向，再由此延伸進行更複雜、更龐大的光學照明系統的設計。



1.4 論文架構

本論文第一章為研究動機及文獻回顧；第二章介紹基本原理，包含幾何光學、光源、單位等；第三章為設計光學系統過程，並透過軟體模擬系統的效能，再利用最佳化來改進設計；第四章進行光學實驗以驗證設計的正确性；第五章比較模擬與實驗的結果，並討論可能發生誤差的原因；第六章為結論與未來展望。

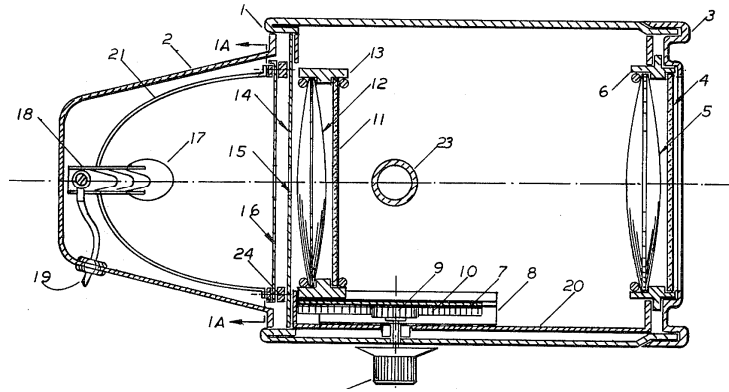


圖 1.1 專利 US 4101957 可變焦的光

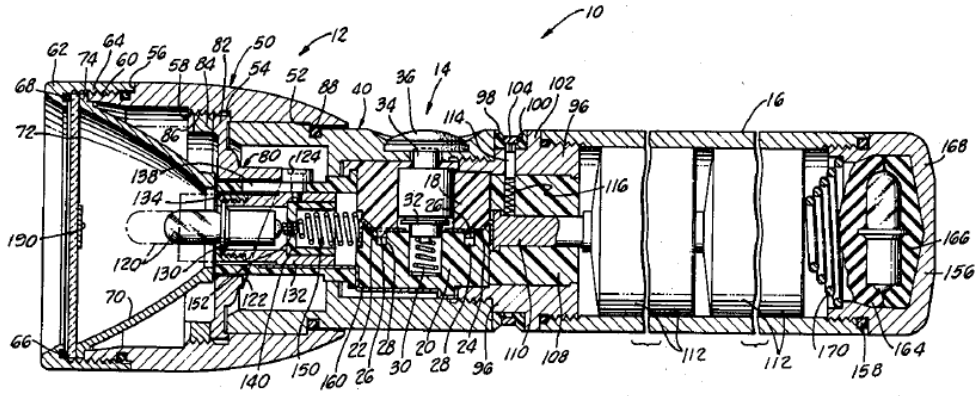


圖 1.2 專利 US 4388673 可變光束手電筒

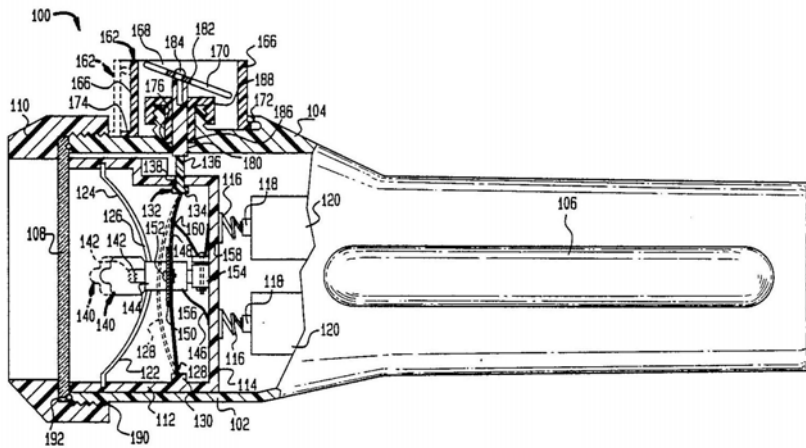


圖 1.3 專利 US 4987523 可調光束焦點手電筒

第二章 基本原理

2.1 光學原理

光學研究光的現象，通常分為三部份，各部份均以不同的方法去做理論的探討。(i)幾何光學(geometrical optics)，是用光線方法研討。(ii)物理光學(physical optics)，以波動說解釋光的本性。(iii)量子光學(quantum optics)，應用量子力學的方法，研究光與物質原子基本單位的作用。他們應用的範圍，主要由討論元件的幾何特徵尺寸來分。若討論的特徵尺寸在原子等級，則需運用量子力學；若特徵尺寸在光波長等級，則需考慮光具有的波動性質；若特徵尺寸大於波長等級，則光的性質用幾何光學已足夠描述發生的現象。本論文所用的光學元件皆遠大於波長，且邊緣繞射之影響極小，因此適合採用幾何光學的理論進行分析研究，以下將介紹用光線來描述光的理論[7], [8], [9]。

2.1.1 反射和折射定理

在圖 2.1 中 IA 表示入射線，與交界面上 A 點之法線 NA 成角 ϕ ，此稱為入射角(angle of incidence)，IA 與 NA 所決定之平面稱為入射面(plane of incidence)。依照反射定律(law of reflection)，反射線在入射面內反射角等於入射角，即 IA、NA、AR 均在同一平面內，且

$$\phi'' = \phi \quad (2.1)$$

折射定律(law of refraction)又稱作 Snell 定律(Snell's law)，描述如下：折射線在入射面內，入射角之正弦與折射角(ϕ')之正弦為一常數之比值。即

$$\frac{\sin \phi'}{\sin \phi} = \text{常數} \quad (2.2)$$

若從真空中入射，此方程式中等號右方數值稱為介質之折射率(index of refraction) n 。如圖 2.2，如果在折射率為 n 及 n' 兩種物質之交界面折射時，折射定律可寫成對稱形式

$$n \sin \phi = n' \sin \phi' \quad (2.3)$$

n'/n 稱為第二介質對於第一介質之相對折射率。通常光通過介質，光部分反射、部分折射。

2.1.2 臨界角與全反射

如果光線由高折射率介質進入低折射率介質，折射角必小於入射角，因此入射角必有一個極限值使得折射角為 90 度，此時的入射角度稱為臨界角(critical angle)。由折射定律，可推出臨界角之公式

$$\sin \phi_c = \frac{n}{n'} \quad (2.4)$$

當入射角大於臨界角，則無折射線，而發生全反射(total internal reflection)(圖 2.3)。就理論而言，除了光行進中被介質吸收，當全反射發生時無能量的損失。

2.1.3 可逆性

由折射定理可知，假如一反射線或折射線反方向進行，它必定循原路反射或折射。可逆性原理既可用於每一反射面或折射面，亦可用於最複雜的系統。

2.1.4 光程與 Fermat 原理

當光在折射率為 n_1 、 n_2 、 \dots 之介質，在各介質中之距離為 d_1 、 d_2 ，則定義光程(optical path)為

$$[d] = n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots = \sum_i n_i d_i \quad (2.5)$$

Fermat 原理(Fermat principal)表示，光所走的路線，其光程為極大、極小或不變。此原理可用數學方法證明反射定律及折射定律。

2.1.5 色散

如圖 2.4 不同波長的光入射同一介質，在介質中前進的速度不同而具有不同的折射率。因此當白光入射介質，因各波長之折射角不同，將折射為白光組成色之光譜，藍光角度最大，紅光角度最小，即發生色散(dispersion)。色散程度以 Abbe number 表示，計算方式如下

$$v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_c} \quad (2.6)$$

2.2 非球面

非球面光學元件具有聚光性良好、消除球差、改善照度均勻性等許多優點，可使光學產品達到輕、薄、短、小等目的，不但能減少光學系統之元件數目，且能讓設計者具有更寬廣的空間。

一般常用的非球面(asphere)是指軸對稱之曲線外形，其方程式可表示為通過曲線中心之垂直軸 r 與曲線之偏移關係(sag)，如圖 2.5，公式為：

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^4 + \alpha_2 r^6 + \alpha_3 r^8 + \dots \quad (2.7)$$

其中：

$\frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}}$ 為基準面的二次曲面式， c 為頂點中心之曲率，

r 為曲率半徑， k 為圓錐係數(conic constant)。當 $k < -1$ ，曲線 z 為雙曲線；當 $k = -1$ 時，曲線 z 為拋物面；當 $-1 < k < 0$ ，曲線 z 為橢圓；當 $k = 0$ 時，曲線 z 為球面；若 $k > 0$ 時，曲線則為扁橢圓面，如圖 2.6 所示。 $\Delta z = \alpha_1 r^4 + \alpha_2 r^6 + \alpha_3 r^8 + \dots$ 可描述非球面與基準二次曲面的偏移量， α_1 、 α_2 、 $\alpha_3 \dots$ 為高階非球面係數值[10], [11]。

2.3 光度學單位

對於描述輻射的單位，可分為輻射度學以及光度學兩種，它們都

來自於同一個系列的計算方式，只是光度學的單位用於描述可見光之照明系統。以下將介紹先一種幾何單位，再進行光度學單位的部份。

由圖 2.7，有一球殼，從球心發射一個以球心為頂點之圓錐，在球殼截出一曲面，則立體角 Ω 的定義為曲面面積除以球殼半徑平方，即

$$\Omega = A / r^2 \quad (2.8)$$

單位為球面度 steradian。例如一個完整球殼立體角為 $4\pi r^2/r^2 = 4\pi$ steradian。

下面將整理一些有用的光度學名詞及其定義與使用單位：

1. 光通量(luminous flux, Φ)：由一光源所發射且為人眼所感知的輻射能，稱為光通量，單位為 lumen。
2. 光強度(luminous intensity, I)：考慮點光源，光源在某一方向之單位立體角內的光通量密度，單位為 lumen/sr = candela。
3. 照度(illuminance, E)：光打在被照面上單位元面積的光通量密度，單位為 lumen/m² = lux。
4. 輝度(luminance, L)：一光源或一被照面，單位面積之單位立體角之光通量密度，又稱為亮度，為人眼所感知此光源或被照面的明亮程度。單位為 lumen/m²/sr = candela/m² = nit。[9], [12]
5. 色溫(color temperature)：一個光源之色溫於其具有相同光色之標準

黑體(black body radiator)本身之絕對溫度值，此溫度可在色度圖之普朗克軌跡(Planckian curve) (圖 2.8)上找到對應點。

6. 演色性(color rendering): 討論光源照射後呈現的顏色後是否成顯現正確顏色的程度。平均演色性指數(general color rendering index, (Ra)為物件在某光源照射下顯示之顏色與其在參照光源照射下之顏色兩者之相對差異。Ra 越低所呈現出來的顏色越失真[13]。

2.4 光源

本節將介紹目前使用的光源種類，介紹其優缺點，以及 LED 可取代傳統光源之優勢為何。



2.4.1 白熾燈泡(incandescent lamp)

已使用一個世紀以上的光源，它透過通電，因細絲金屬之電阻而加熱至白熾而發光，通常使用之燈絲材料是鎢。電燈外圍為玻璃製成，內為真空或充惰性氣體，防止燈絲高溫氧化。通常作用的溫度在 1300°C 到 1600°C ，電能經由熱能轉換為光能的過程中將消耗大部份的能量，發光效率不佳，約為 10%。現今發展成鹵素燈泡，內注入碘、溴等鹵素氣體，高溫下鎢蒸汽與鹵素反應，使鎢蒸氣回到鎢絲上。且因為可以在更高溫運作，鹵素燈泡具有更長的壽命、效率更高的優點。

2.4.2 螢光燈(fluorescent lamp)


螢光燈內部具有低壓混合氣體及水銀蒸氣，當通電會將陰極管加熱並放出電子，使水銀發出紫外光，打到放電管內壁的螢光層而轉換為可見光，依不同的螢光層而有不同的光色。因具有適當的輸出光束，且比同一光度的白熾燈泡有更高的效率，廣泛使用於室內照明。啟動螢光燈需要一段時間，且螢光燈是非穩定的光源，而是閃爍的光源，因為人類眼睛的視覺殘留現象而不易察覺，在某些狀況下可能發生危險。螢光燈內含水銀成分，若任意丟棄會對環境造成傷害[14]。

2.4.3 發光二極體(Light Emitting Diode, LED)

發光二極體與一般二極體一樣，由半導體組成，透過摻雜的方法形成 P-N 結構。當施加順向電壓，電子和電洞相遇結合，電子從高能階掉到低能階，便以光的方式釋出能量，光的波長及顏色，由使用的半導體材料決定。LED 具有高效率、省電等優點，且體積小，可以應用於更小的產品，對於節省能源及環保具有很大的好處，表 2.1 為目前 LED 之優缺點。表 2.2 為現今可見光之發光二極體採用之不同系列之材料，以及其發出光的波長及顏色。

長久以來，LED 沒辦法廣泛運用的其中一個原因，就是 LED 無法產生白光。1993 年日亞化學公司發展出利用氮化鎵之高效率藍光

LED，以這個材料為基礎，白光 LED 終於問世。製造白光 LED 的其中一種方法即是利用氮化鎵，表面覆蓋一層黃色螢光粉。當 LED 發出光譜較窄的藍光，部分藍光被這種螢光粉轉換成光譜較寬的黃光，再結合藍光混合成白光。第二種方法是將氮化鎵和磷化鋁銦鎵黏在同一個基板上，把分別發出的藍光及黃光混合後，可觀察到白光。第三個方法是在硒化鋅(ZnSe)的基板上長出氮化鎵二極體結構，當氮化鎵發出藍光，部分被硒化鋅吸收後發出黃光，混合後也可得到白光。第四種發法是使用紅、綠、藍三種發光二極體，經過調色後呈現白光 [15]。



白熾燈泡的發光效率約為 10lm/W，螢光燈約為 80lm/W，目前白光 LED 的發光效率約為 40lm/W。雖然白光 LED 的效率還不及螢光燈，但各國皆大力推動 LED 的發展：美國政策白皮書宣示於西元 2000~2010 年投資 5 億美元發展白光 LED 照明，其中 NGL(Next Generation Lighting)規劃在西元 2012 年將 LED 發光效率提昇至 150 lm/W；日本通商產業省「高效率電光化合物半導體」開發計畫，又稱 21 世紀光計畫，希望在西元 2010 年將 LED 發光效率達到 120 lm/W[16]。

表 2.1 LED 之優缺點

優點	缺點
高效率、省電、高亮度、壽命長、 低發熱量、反應速度快、體積小、 低電壓驅動、環保	單價高、流明數低、演色性低



表 2.2 目前可見光之 LED 使用的材料及發出的光

材料	波長	顏色
磷化鎵 GaP	680 nm	紅
	570 nm	黃綠
磷砷化鎵 GaAsP	585 nm	黃
	630 nm	橘
	650 nm	紅
鋁砷化鎵 AlGaAs	660 nm	紅
磷化鋁銦鎵 AlInGaP	560 nm	綠
	590 nm	琥珀
	625 nm	橘紅
氮化鎵 GaN	400 nm	紫
	470 nm	藍
	525 nm	綠

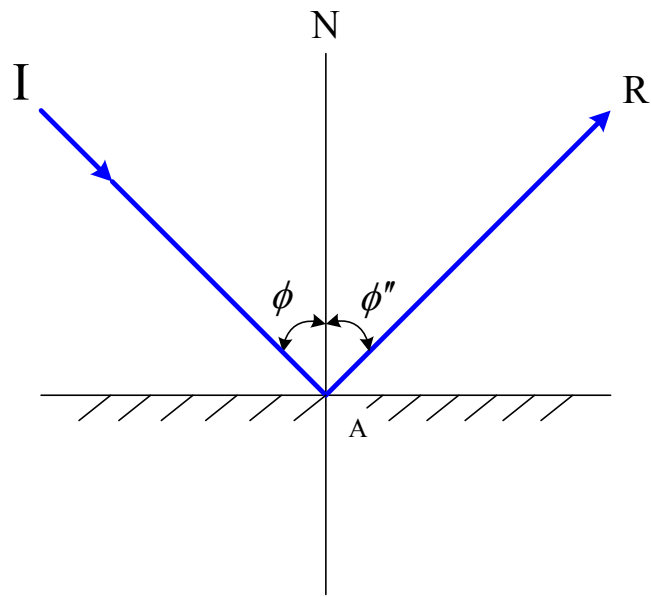


圖 2.1 反射定理

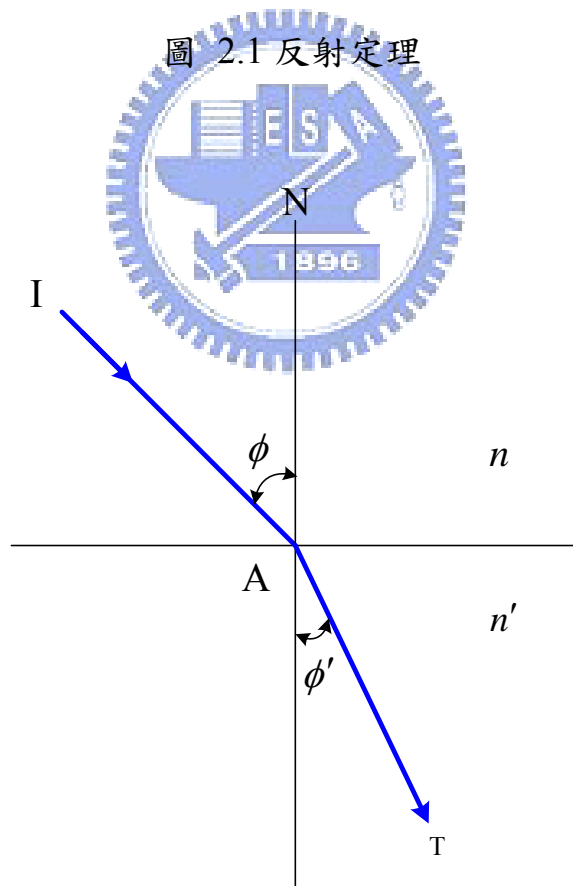


圖 2.2 折射定理

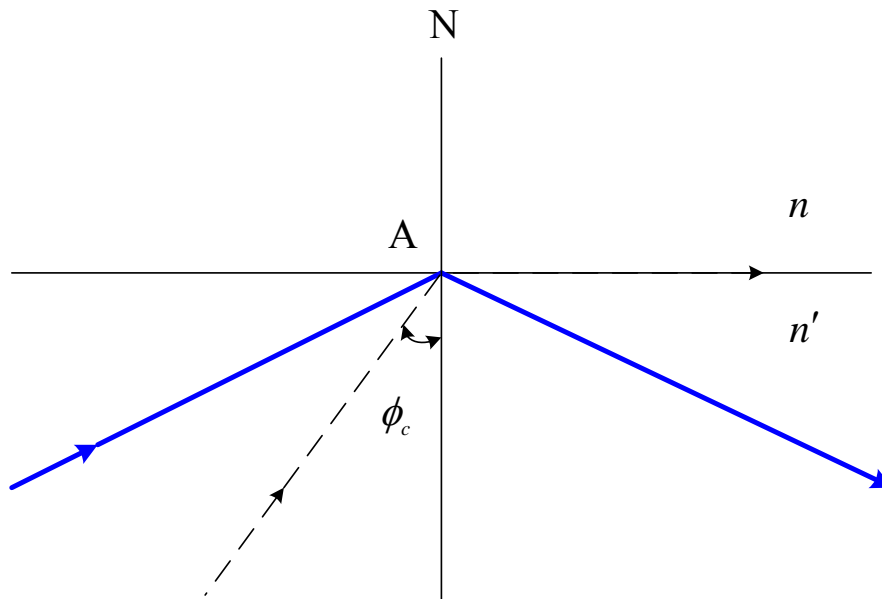


圖 2.3 全反射

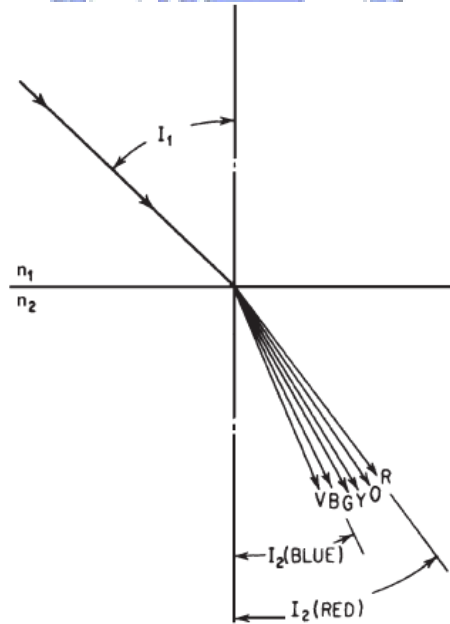


圖 2.4 色散現象

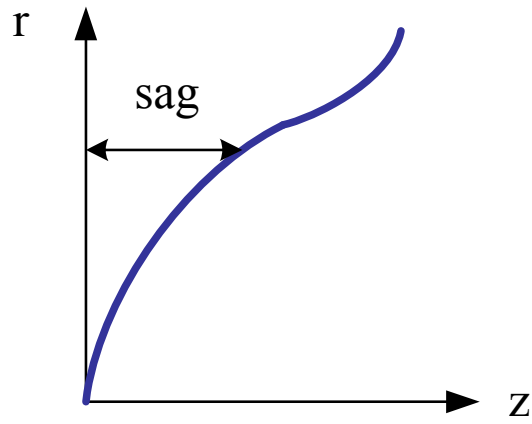


圖 2.5 非球面偏移

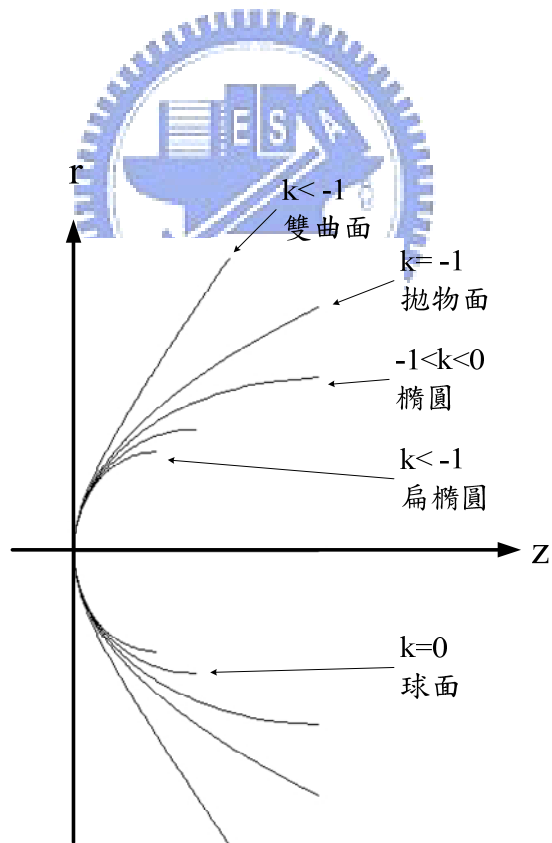


圖 2.6 圓錐曲線常數

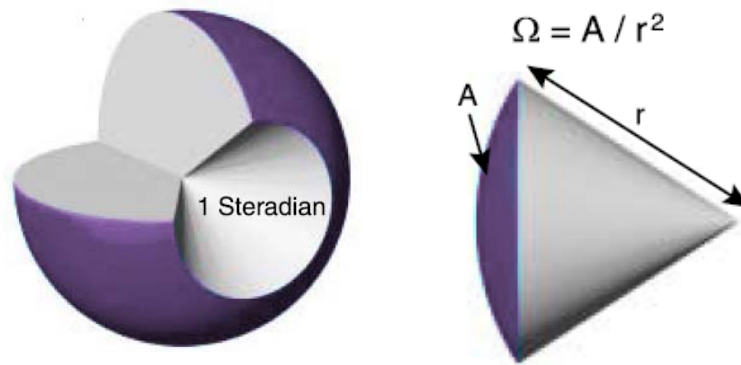


圖 2.7 立體角

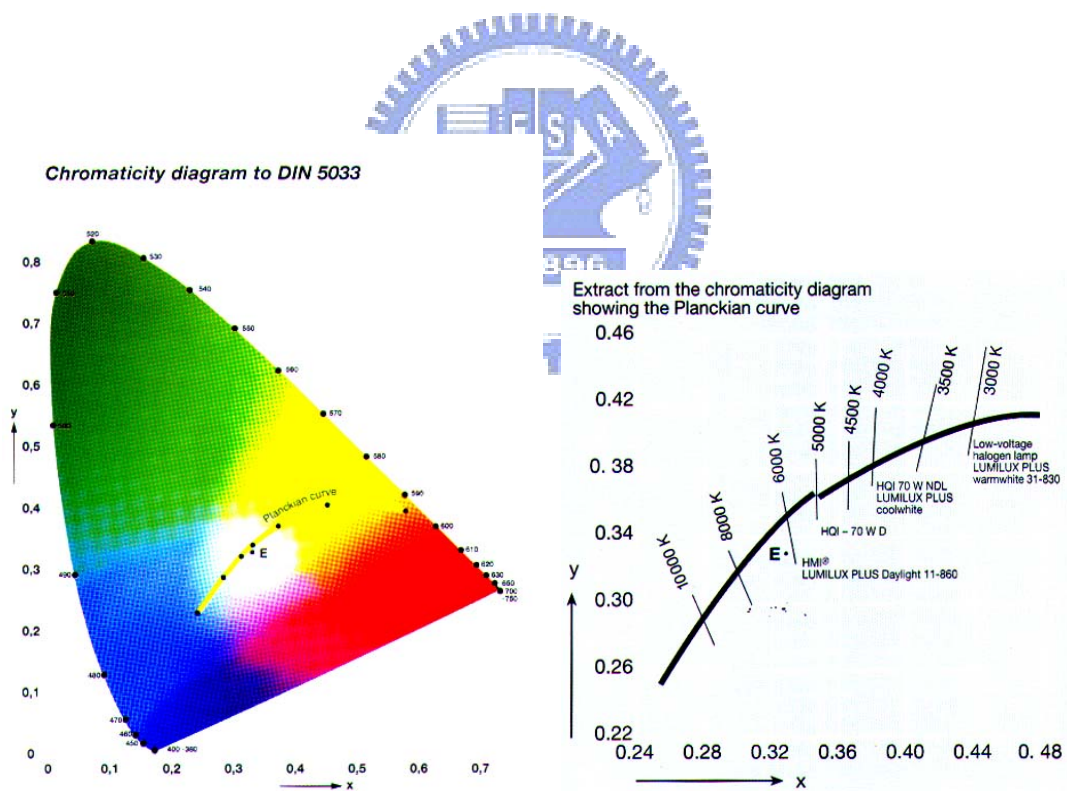


圖 2.8 DIN5033 色度圖與普朗克軌跡

第三章 設計過程與軟體介紹

3.1 初始概念設計

3.1.1 現階段設計

關於變焦的設計，當使用拋物面反射杯時，如圖 3.1[17]，若光源在光軸上移動，可改變光束的大小；但由於拋物面形狀之特性，光線反射後，與光軸的夾角會越來越大，即光線將逐漸遠離光軸，光線無法聚集造成前方中央的照度降低，而產生空洞的情形，如圖 3.2[18]。因此使用特殊設計之反光杯，如圖 3.3 所示，使光源在移動的過程中，光線與光軸的夾角逐漸減小，因此光線可集中在中央，不會產生單純使用拋物面反光杯時的空洞，如圖 3.4，不過此設計中光源所發射的光線，在反射後會從光軸的另一半邊射出，較不易控制且變焦的範圍小。光源利用反光杯反射光線，向前射出的光可分為兩部分，第一個是透過反射面反射，第二個是不受反射面反射而直接射出。藉由控制反光面的形狀，可調整第一個部份之光；而為了控制第二部份的光線，出現了在光源前方放置透鏡的設計(圖 1.5)，並且可藉由透鏡的前後移動，切換光由透鏡及反射面控制的比例，而達成變焦的效果。不過在此設計中，控制透鏡的機構卻擋住了部分的光，降

低了效率。

3.1.2 概念設計

雙曲面為具有發散作用的曲面，若光源配合雙曲面反光杯，應該可以在前方形成大面積的照明，若再透過適當的調整，或許可以形成均勻的照明。另外，光源若沿軸向向前移動，在反光面上由於入射角變小，反射角也跟著變小，因而射出的光線與水平的夾角將越來越小。如圖 3.5 所示，LED 光源 O 置於一雙曲面反光杯內，向前射出之光包含直接射出之部分，如光線 a；另一部分透過反光面之反射而射出，如光線 b，且光線 b 打到反光面上之 P 點。光線 c 定義為剛好掠過反光杯最外圍之光線，與水平的夾角為 θ_1 ，大於 θ_1 之角度將不會有光線，因此光線 c 可決定最大的照明範圍。光源向前(圖中右方)移動的過程之中，如圖 3.6 所示，打到反光面上 P 點之光線 b，因為入射角變小，反射角也變小，且由於雙曲面的關係，光線將會以逐漸接近水平的角度射出，在前方漸形成集中的照明，如此即可達成變焦的效果。

然而雙曲線相較於其他曲面，開口較大，外型較為開放，光源向前移動時，許多光線直接發散而不受反光面的控制。如圖 3.5 中，光線 c 在光源移動前與水平的夾角為 θ_1 ，光源移動後之夾角如圖 3.6 中 θ_2 ，因為 θ_2 大於 θ_1 ，所以直接射出的光線範圍增加。如此散出的光線

可以增大照明的範圍，但矛盾的是，移動光源對於反光面卻是聚焦的功能。為了修正這個現象，再設計一外反光杯，置於原本雙曲面內反光杯之前方，當過多的光直接射出時，外反光杯可進行攔截並反射光線使之水平射向前方；且為了配合聚焦過程中越來越多光線直接射出，外反光杯要跟著向前移動以攔截更多光線。如圖 3.7 所示，掠過內反光杯的光線 c，原本直接射出，在加入外反光杯後受到反射而向前射出，此時光線 c 與外反光杯交於 Y 點。光線 d 定義為剛好掠過外反光杯最外緣 X 之光線，與水平的夾角為 θ_3 ，且 θ_3 小於 θ_2 ，因此 XY 之間原本直接射出之光線，將會變成由外反光杯所控制，這部份的光線將會水平射出。當光源移動開始變焦，外反光杯也跟著向前移動，如圖 3.8 所示，光線 c 此時打到外反光杯之 Z 點，光線 d 與水平的夾角為 θ_4 ，且 θ_4 小於 θ_3 ，因此變焦之後增加了 $\theta_3 - \theta_4$ 之光被外反光杯攔截，其所控制的範圍由原本 XY 增加到 XZ，即水平射出的光線增加。

為了配合光源在內反光杯形成的變焦，外反光杯也需逐漸向前移動，並且都能將光水平導向前方，此動作相對於光源在內反光杯的作動一樣，因此外反光杯也將會是雙曲面。

3.2 光學軟體介紹

上節所述為兩反光杯達成變焦動作的概念說明，而為了詳細分析

準確的光路行為，有賴於光學軟體的協助，所以底下將針對光學軟體作一介紹。光學軟體由功能可分成序列性(sequential)和非序列性(non-sequential)兩種。

序列性光學軟體功能完整，通常用於分析成像系統，例如相機鏡頭、望遠鏡、顯微鏡、投影機等，可對一連串的透鏡組、折反射元件或是繞射元件進行分析，以表面為單位，光線依面的順序計算，並可透過最佳化(optimization)功能進行最佳的參數設計，此外還可以進行公差分析。這系列軟體利用少數的光線進行追跡(ray trace)在每個交界面上只計算一次，因此分析的速度非常快，幾乎是立刻得到答案。商業化的序列性光學軟體很多，例如 Zemax、OSLO、CODE V。

非序列光學軟體透過 Monte Carlo 法使用大量的光線進行光線追跡，在一個交界面上的計算不只一次，較逼近實際光的行為。分析的對象並不侷限於透鏡，可輸入任何形狀的物件進行追跡，多用於照明設計、光機設計之雜散光分析等。模擬的準確度取決於光線的數量，數量越多越準確，但執行的時間會越長。這方面通常依目標形狀的複雜程度和使用者的經驗來做判斷。雖然這類軟體已經受到廣泛應用，但因為計算方式較序列性軟體複雜，程式的撰寫具有一定的挑戰性，因此直到這幾年才推出完整的最佳化功能。商業化的非序列性光學軟體，常見者包括 ASAP、TracePro、Lighttools 等。

比較兩類軟體，序列性軟體的優點是速度快，可計算出大部分的資訊，可以做最佳化，公差的分析，但使用上有限制，某些部分的真實性不足；非序列性軟體的優點是接近真實情況，但計算的時間長，難以進行最佳化設計，可得到的資料較少。因此一般來說序列性及非序列性軟體是互相搭配來使用的。其它為了特殊用途，例如光學薄膜、干涉分析、雷射等，都有專門設計的軟體。但由於普及率不高，或是上述提到的軟體已具有這功能，所以不加贅述。

Zemax 是目前最多人使用的光學軟體，而且除了完整的序列性功能，它也具備非序列的模組，皆可透過本身最佳化的功能來產生較佳的參數。因此本研究採用 Zemax 來進行分析設計[20]。



3.3 初步模擬

3.3.1 模擬流程

光學模擬流程如圖 3.9 所示，首先可利用內建的功能建立模型，或者使用其他 CAD 軟體繪圖，再匯入進行分析。第二步驟設定模型的材料、鍍膜、色散等特性。第三步驟設定 LED 光源之尺寸、發光光型等性質，最後進行光線追跡得到結果。

3.3.2 建立模型

本研究需建立的模型包含兩個非球面的反光杯。因為此光學模擬著重在曲面的反射功能，且考慮未來高階非球面的可能性，因此只建立反射曲面的部份，選用 Aspheric Surface 的曲面類型進行設定。輸入表 3.1 之參數於光學軟體中，分別建立內、外反光杯的模型，外觀如圖 3.10 及圖 3.11，組合後如圖 3.12。變焦過程元件間位置關係定義如圖 3.13，自內反光杯之小孔徑至光源的距離定義為 X 方向，描述光源的移動範圍為-2mm 至 2mm，配合外反光杯的最小開口至內反光杯的最大開口之距離定義為 Y 方向，描述內、外反光杯的位置關係為 9mm 至 1mm。初始搭配如表 3.2，焦段 A 時泛光最大，變焦至焦段 C 時最聚光狀態，焦段 B 為泛光與聚光之中間焦段，變焦過程中位置的關係為等間距分佈。

表 3.1 初始參數(單位 mm)

	曲率半徑	圓錐常數	最大孔徑	最小孔徑
內反光面	0.1	-1.3	9	3.5
外反光面	2	-1.1	15	9.25

表 3.2 初始變焦之搭配

焦段	A(泛光)	B	C(聚光)
X(mm)	2	0	-2
Y(mm)	9	5	1

3.3.3 賦予性質及建立光源

假設反光面為完全光滑，材質設定為 mirror。為求得更準確的結果，反射面應該考慮表面鍍層的材料，以及表面粗糙而發生色散的現象，這些因素皆會影響反射面的反射效率，但受限於儀器設備，目前尚無法取得實際資料，故以理想假設代入。

建立 LED 光源的發光光型有兩種方法，第一是建立 LED 的幾何外型，包括發光面、外包之透鏡等，直接依照幾何外型的特徵形成光強度的分佈，優點是接近真實情況，但建立過程複雜為其缺點。第二種是使用 Source radial 的功能，對照 LED 的發光光型圖形輸入程式，模擬時可近似真實發光的狀況，優點是可快速改成其他光源的發光光型，設定容易；缺點是發光面積難以取捨且較不真實。

CREE XLamp XR-E 為目前市面上發光效率最高，且品質穩定的 LED，許多新式的設計皆採用此 LED 作為光源，因此本研究也將利用此 LED 作為研究所使用的光源。模擬方面將使用前述所提的第二個方法建立光源，輸入發光光型如圖 3.14，光譜強度如圖 3.15，在


廠商建議的最小驅動電流 350mA、電壓 3.3V 下，發出 80lm 之光通量，發光面積為 1mm x 1mm [19]。

3.3.4 光線追跡與模擬結果

在進行光線追跡時，越多的光線數將可達到越準確的模擬結果，相對地需要越多電腦運算資源以及時間，因此實際上不能無限制的使用過多的光線。本論文將使用 5,000,000 條光線進行光線追跡，圖 3.16 為光線追跡圖形，隨機顯示 1000 條光線，A、B 及 C 為泛光至聚光的變焦過程。泛光焦段 A 狀況下，大部份透過內反光杯發散，少部分受外反光杯控制，反光杯底部因犧牲部分光線而發生雜光；當光源完全進入內反光杯，即焦段 B，雜光現象消失，光線全部射向前方，光透過內反光杯射出與水平的角度減小，且過程中隨著外反光杯向前移動，越多直接射出的光將被反射；在最後的聚光焦段 C，內反光杯反射射出之光趨近水平，外反光杯控制的光更多且接近水平射出。

在光軸上且距離光源 1 公尺處設置一參考面，尺寸為 1 公尺×1 公尺，可量測光線通過後，在此處產生的照度等光度學資料。圖 3.17 為狀態 B 之照度圖形與截面的照度數值，由於中央照度數值與周圍區域的數值差異太大，使得周圍區域照度的高低分布難以觀察，因此設定最大顯示的照度值為 180 lux，可突顯周圍區域照度值的起伏變化，如圖 3.18 所示。接下來的顯示方式都將採用此設定。圖 3.19 為泛

光、聚光變焦過程之照度圖，灰階的顯示方式可接近實際以白光為光源的照明結果，彩色階層則可突顯照度數值的差異性。照度值為 80 lux 附近之綠色區域，在泛光 A 狀況下的直徑約為 80 公分，當系統逐漸調整至 B、C 狀況，此區域逐漸減小為直徑 60 公分。由此可見隨著系統由 A 變化至 C，具有 80 lux 之區域逐漸縮小，而中央大於 180 lux 之區域漸漸增大，由照度數值來看，從 A 為 1387 lux 增加到 C 之 2918 lux，可見泛光區域逐漸縮小，且在中央所形成的集中部分將越來越強，因此產生變焦的現象。



接下來分別討論兩個反光杯所形成的照度。首先考慮只有內反光杯發生作用，設定外反光杯之材質為完全吸收，光線路徑圖如圖 3.20。光線追跡後產生之變焦照度圖如圖 3.21，狀況 A 時形成均勻之照度，約為 80 lux，範圍約直徑 80 公分。變焦後此範圍逐漸縮小，至狀況 C 時範圍約 40 公分。此變化過程符合同時使用內外兩反光杯形成之泛光範圍以及照度數值，表示內反光杯為形成系統泛光功能之主要元件。當考慮只有外反光杯發生作用，設定內反光杯之材質為完全吸收，光線路徑圖如圖 3.22，變焦過程形成之照度圖為圖 3.23，中央附近照度大於 180 lux 之區域增大，最大數值維持在 2440 lux 以上且逐漸提高，表示中央集中的光線越來越多。分別考慮內及外反光杯發生作用，將同一個狀況下的模擬照度疊加，圖形符合同時考慮兩

反光杯時之結果，而數值方面外反光杯形成之最大照度值佔了系統最大照度值的大部分，因此外反光杯為形成聚光的主要元件。

綜合以上結果，內反光杯主要形成泛光的部份，外反光杯主要形成中央區域的聚光，並藉由元件間的相對的運動可達到變焦的效果。本研究期望能達到更佳的泛光均勻性，以及聚光的效能，接下來將進行最佳化來改進初始設計。

3.4 最佳化設計



對於手電筒照明效果的好壞，主要取決於使用者主觀的想法，因此並沒有客觀的標準來測試或評斷應有的照明情形。雖然這方面沒有一定的依據，但本研究仍然期望在某些基本要求的部份，能盡量提昇品質。首先在泛光的部份，期望能完整且均勻照亮大範圍的區域，因此將要求泛光的照度能均勻分布；另聚光的部份，為了期望能將光傳播至遠處，因此將使光往中央區域集中，提升聚光區域的照度。

3.4.1 最佳化流程

序列性光學軟體基本的最佳化功能都很類似，包含局部(local)最佳化以及全域(global)的參數最佳化搜尋功能。最佳化的流程如圖 3.24 所示，完成初始設計以後，選擇欲最佳化的參數，若是在光學軟體中建立的模型，起始設定幾何形狀的數值都可以當作最佳化的參

數，例如透鏡曲率，厚度等。接者建立價值函數(merit function)或稱為目標函數(object function)，在此設定最佳化的目標以及限制條件(constrain)，在光線追跡後產生的函數值表示目前設計與目標的差距，之後透過演算法判斷是否需要繼續計算，以及調整變數的大小，將目標函數值減小以接近最終目標。使用者需要建立初始設計的初始值、選擇最佳化變數以及建立價值函數，接下來將如圖中虛線部分，由程式自動完成計算。

3.4.2 設計變數與目標函數

設計變數為最佳化過程中改變的數值，只要是輸入程式中的任何參數皆可當作設計變數，例如曲率、距離、厚度等。目標函數是最佳化的目標，由運算元(operand)組成，包括曲率、像差、光線位置、光線角度等許多不同的性質的運算元，也包括數學運算，隨著不同的目的可產生不同的組合。程式中約有 300 個運算元，如何選用及善用這些元件來組成有效的目標函數，是使用最佳化功能時最需要學習的地方。

本研究目標函數的設定方法，是在距離 1m 處設定同心的環形參考面，在光線追跡後讀取每個環型參考面上的照度資料，接著運算資料之間數值的關係，就可將目標訂為均勻、高低起伏等不同趨勢之情況。其中接近中央的區域因為照度的梯度較大，如圖 3.18，若參考

面的範圍太大就無法表示這個情況；若參考面太小，將無法有足夠的光線來準確地計算照度值。因此，本研究由中心起算共分為七個區域，尺寸如表 3.3，圖形如圖 3.25 所示，第 1 至第 3 參考面之內外徑差為 50mm，第 4 至第 7 則為 80mm 此設定可涵蓋泛光時之範圍，第 7 參考面之外徑未延伸至 1m 是因為 470mm 以外區域照度降低，已非泛光的設計範圍。

表 3.3 環型參考面之尺寸

參考面	內徑(mm)	外徑(mm)
1	0	50
2	50	100
3	100	150
4	150	230
5	230	310
6	310	390
7	390	470

最佳化過程將以內、外反光面之形狀參數為變數，可改變光線反射的角度而在前方達成所需的照度。在初始設計中，內反光杯為控制泛光之主要元件，外反光杯為控制聚光之主要元件，且光線將不會打到內反光杯反射後，再打到外反光杯，即改變其中一個反光面的形狀變數，並不會影響另一個反光面的聚散效果；然而反光面之設定為固定開口大小，當內反光面之形狀改變，其總長度也可能改變，若長度增加將會漸少射向外反光杯之光量，降低聚光效率。所以將先對內反

光杯進行最佳化以決定其外型，以及內、外反光面控制光量的比例，再進行外反光杯的最佳化，如此也可以減少同時進行最佳化的變數數量，加快運算時間。進行泛光最佳化時以內反光面之二次曲線參數為設計變數；針對聚光最佳化，將以外反光面之二次曲線參數作為設計變數。

3.4.3 泛光最佳化

這部份的設計目標在於使泛光狀態下，在 1m 處產生均勻照度。其中由外反光杯反射至此處的光束非常強烈，在參考面中央形成極高的照度，可以補足內反光杯可能形成的中央的低照度。因此設定內反光杯完全反射，外反光杯為完全吸收。目標函數設定中央以外區域照度均勻，第 3 和第 4、第 4 和第 5、第 5 和第 6 個環型參考面上測得之平均照度，比值分別為 1，接著限制其數值必須大於 1，避免數值運算時落進小於 1 的情形；另一目標為使總照度值增大，目的在於維持原有的品質，避免發生光線發散的情況。設計變數為內反光杯之曲率 c 及圓錐常數 k ，並利用軟體中 Universal Plot 2D 之功能掃描變數與目標函數之關係， c 的範圍為 0 至 2， k 的範圍為 -1 至 -1.5，結果如圖 3.26 所示，可看到最低的目標函數值約在 c 等於 0.1 且 k 等於 -1.3，因此將設定此為目標函數的初始值，且將限制條件設定在附近區域： c 大於 0.05、小於 1； k 大於 -1.45、於 -1.25。

表 3.4 表示最佳化前後設計變數的改變，表 3.5 為目標函數的差異，其中第 3 與第 4 參考面照度之比值，最佳化後與目標值 1 的差距稍微加大，不過第 4 與第 5、第 5 與第 6 參考面照度之比值皆更接近 1，表示透過最佳化的動作，的確使均勻度提升，但改變的程度很小。圖 3.27 為泛光最佳化後，只考慮外反光杯發生作用之變焦過程的照度圖，在最佳化前後無明顯的差異。圖 3.29 為泛光最佳化後，截面的照度值比較，在泛光的分布情況無明顯改變。

表 3.4 泛光最佳化前後設計變數比較

	最佳化前	最佳化後
內反光杯之曲率半徑	0.1	0.104205
內反光杯之圓錐常數	-1.3	-1.310224

表 3.5 泛光最佳化前後目標值比較

	最佳化前	最佳化後	差異
3,4 參考面照度之比值	1.057343	1.063749	+0.006406
4,5 參考面照度之比值	1.051972	1.022183	-0.029789
5,6 參考面照度之比值	1.211413	1.164860	-0.046553
總照度值(lux)	600.472	569.502	-30.97
目標函數值	2.353144E-2	1.844854E-2	

3.4.4 聚光最佳化

聚光最佳化的目的在於使變焦過程中，外反光杯能在當時的焦段下形成最聚集的光束。關於目標函數的設定，分別在 A、B 及 C 焦段時，第 1 及第 2 個環形參考面照度的總和增大。設定內反光杯為完全吸收，外反光杯為完全反射。設計變數為外反光杯的曲率半徑 c 以及圓錐常數 k ，藉由 Universal Plot 2D 掃瞄目標函數， c 介於 0 至 3， k 介於 -1 至 -1.5，結果如圖 3.28 所示，由數值較低區域選取 c 等於 2、 k 等於 -1.1 作為初始設計變數，且限制條件為 c 大於 0.05、小於 3， k 大於 -1.15、小於 -1.05。

經過最佳化運算後，表 3.6 表示設計變數的改變，表 3.7 為目標函數改變的情形，可見 A、B、C 三個焦段的目標值皆顯著提高，圖 3.30 之照度圖形可見最佳化後焦段 A 中央出現大於 180 lux 之聚光區域，B、C 焦段的聚光區域也有增大。最大照度數值由表 3.8 可得三個焦段的值都明顯提昇。

表 3.6 聚光最佳化前後設計變數比較

	最佳化前	最佳化後
外反光杯之曲率半徑	2	2.665879
外反光杯之圓錐常數	-1.1	-1.056774

表 3.7 聚光最佳化前後目標值比較

1,2 參考面照度和(lux)	最佳化前	最佳化後	差異
焦段 A	96.326	411.773	+327.5%
焦段 B	1371.596	1625.847	+18.54%
焦段 C	1933.826	2465.403	+27.49%
目標函數值	2.493437E-1	1.001251E-2	

表 3.8 聚光最佳化前後最大照度比較

焦段	A	B	C
最佳化前(lux)	51.4	2225.6	2218.0
最佳化後(lux)	450.4	3871.6	3805.0

3.4.5 最佳化結果討論

對於本研究的設計變數，首先透過 Universal Plot 2D 來縮小範圍並且建立限制條件，再經由最佳化運算求得更精確的值。分別在內、外反光杯的設計過程中，圓錐常數 k 最後皆得到小於-1 的值，也證明了雙曲面確實可達成所需的泛光、聚光，以及變焦功能。

接下來結合泛光、聚光最佳化所得之參數，模擬完整系統的照明

效果。圖 3.31 為變焦過程照度圖的比較，圖 3.32 為截面照度值比較，焦段 A 在最佳化後泛光的均勻性稍微增加，中央照度大幅增加而出現聚光區域；焦段 B、C 逐漸變焦過程，泛光改變的情況較無明顯差別，中央聚光區的範圍增大，也可由最大照度值比較表 3.9 得知，三個焦段在最佳化後最大照度值皆得到顯著的提升。因此透過最佳化的運算，使得主要由外反光杯所形成之聚光效果，達到有效的提升，但是對於內反光杯形成之泛光，則較無明顯改進。這是由於初始設計已達到均勻度相當不錯之照度分佈，最佳化的空間有限，因此求得之參數很接近初始設計值，形成泛光變動不明顯的情況。綜合來講，本研究之最佳化方法，確實提升了系統初始設計之效能，具有一定的價值。



Orthogonal Descent 為 ZEMAX 最新使用的最佳化演算法，對於照明等非序列分析具有較快的收斂速度。以上進行的最佳化分析都是採用這個方法為基礎的演算法進行運算。在這之前較常用的演算法為 Damped Least Square，本研究也對此方法進行嘗試，最佳化後所得之最大照度較另一演算法低，但仍然達到改進初始系統的功能，詳細內容將收錄於附錄 A 中。

表 3.9 最佳化前後最大照度比較

焦段	A	B	C
最佳化前(lux)	121.6	2407.3	2457.3
最佳化後(lux)	508.3	4053.0	4045.2
與最佳化前之差異	+318.0%	+68.4%	+64.4%





圖 3.1 拋物面反射杯

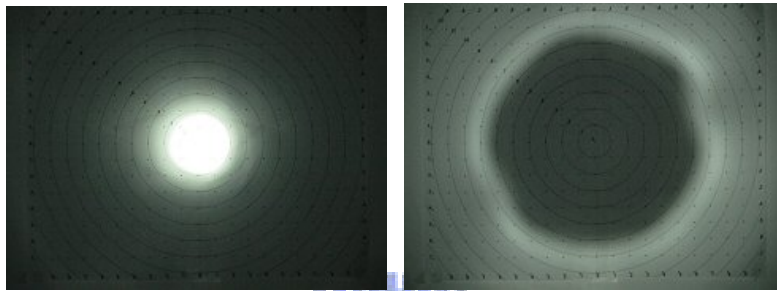


圖 3.2 拋物面反射杯之聚光(左)與泛光(右)



圖 3.3 特殊設計的反射杯

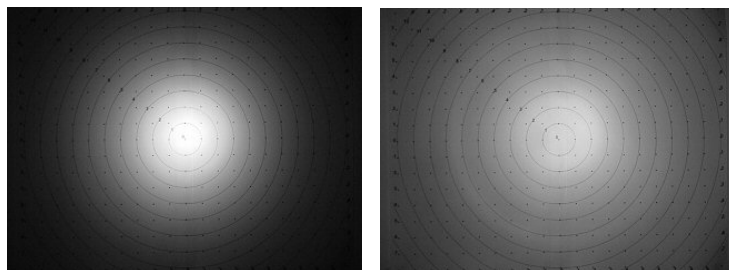


圖 3.4 特殊設計的反射杯之聚光(左)與泛光(右)

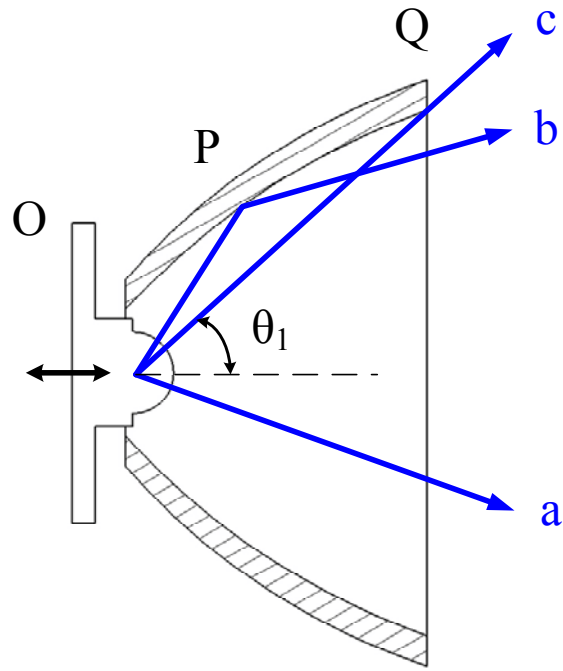


圖 3.5 光源移動前

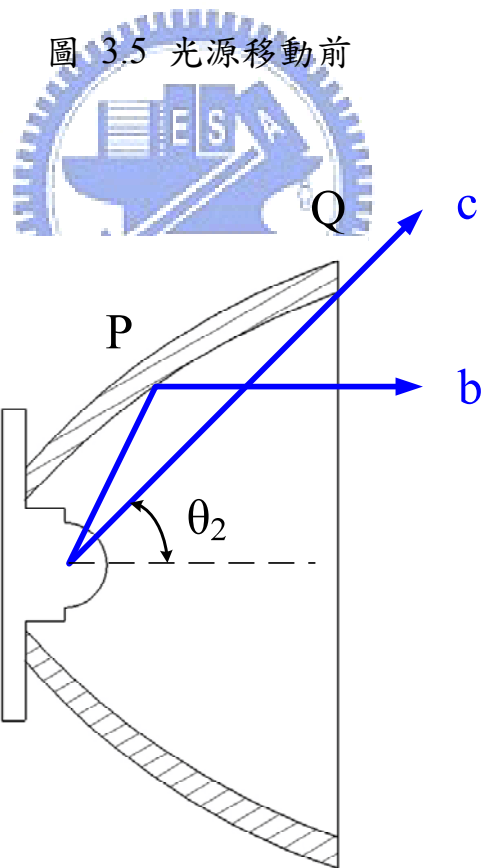


圖 3.6 光源移動後

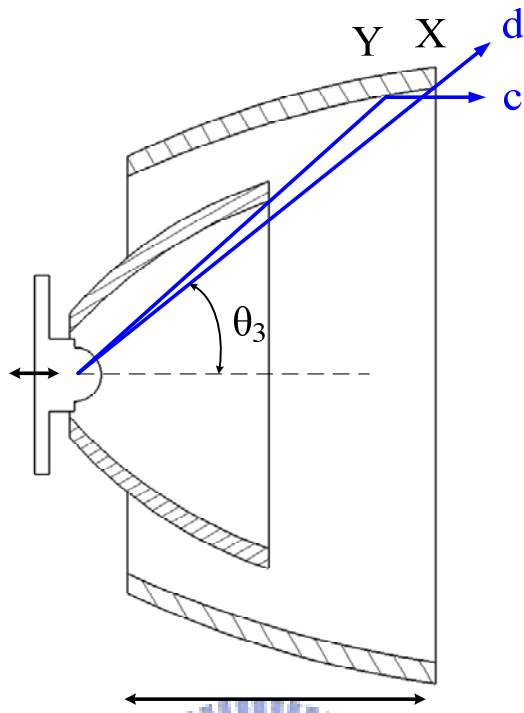


圖 3.7 外反光杯移動前

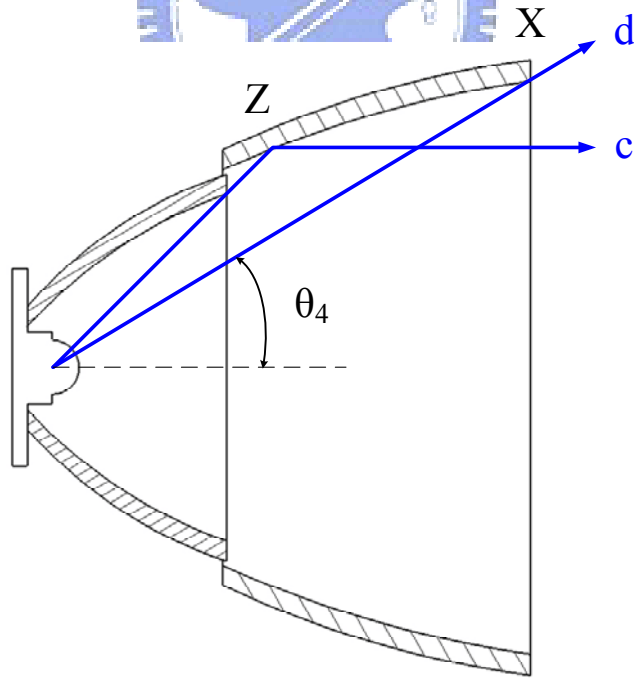


圖 3.8 外反光杯移動後

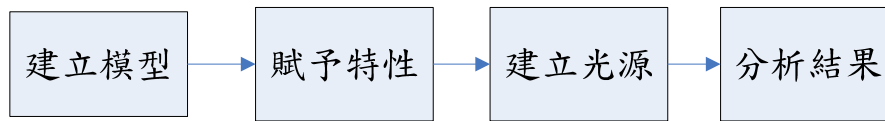


圖 3.9 光學模擬流程

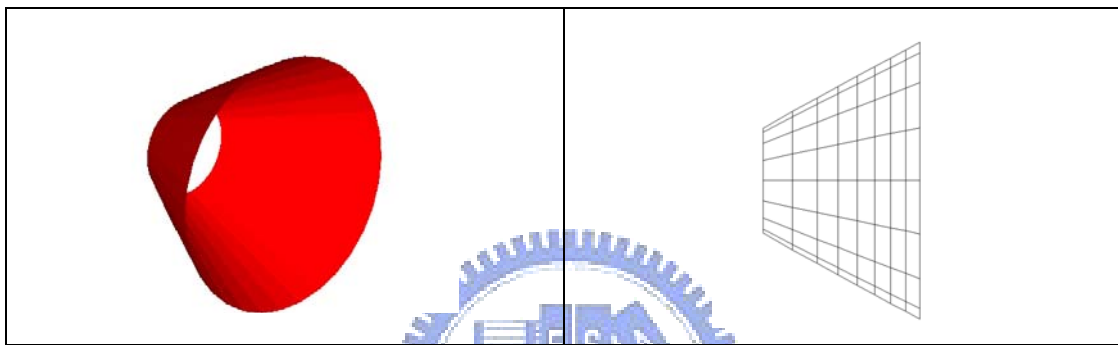


圖 3.10 內反光面之圖形

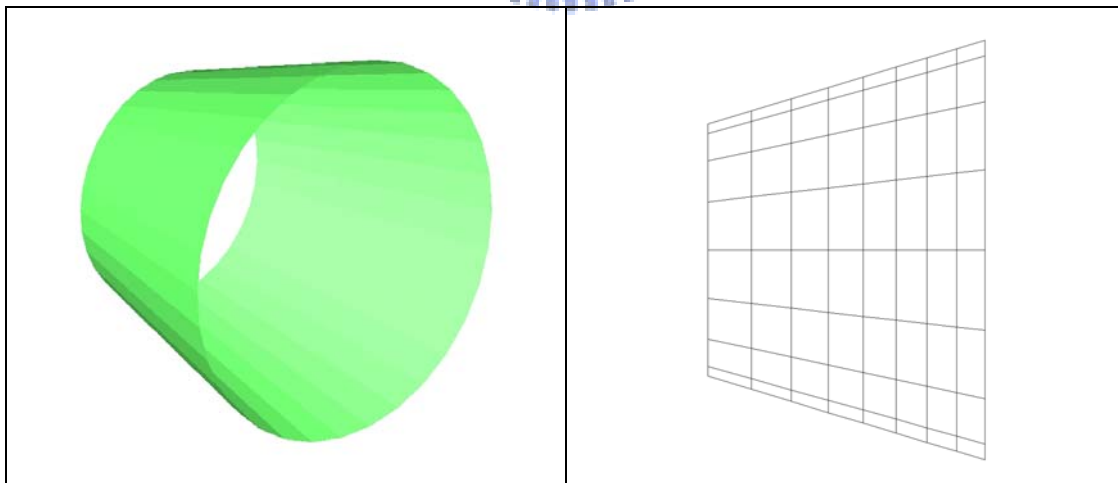


圖 3.11 外反光面之圖形

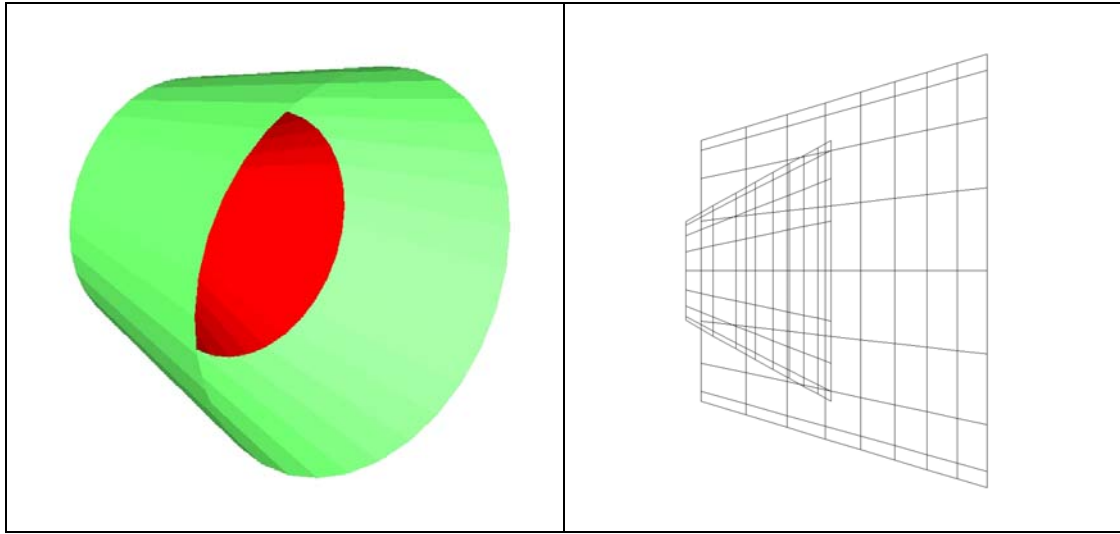


圖 3.12 內外反光杯之圖形

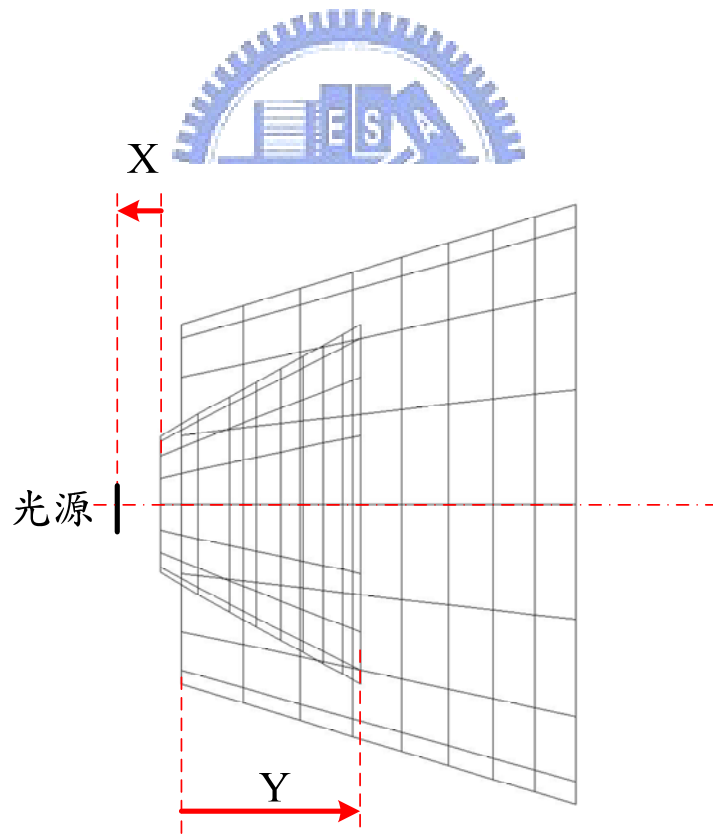


圖 3.13 元件相關位置

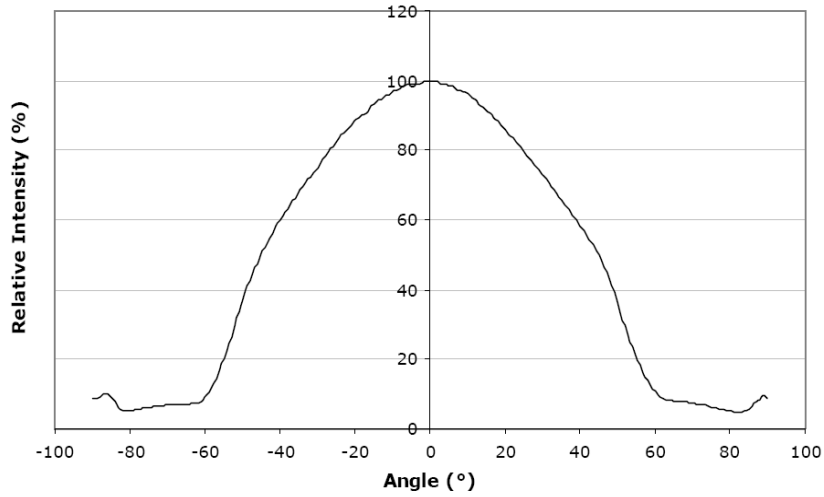


圖 3.14 CREE XLamp XR-E LED 之發光光型

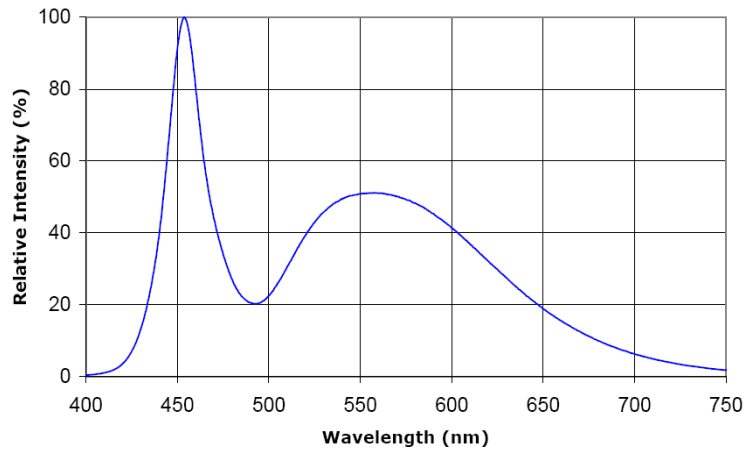


圖 3.15 CREE XLamp XR-E LED 之發光光譜強度

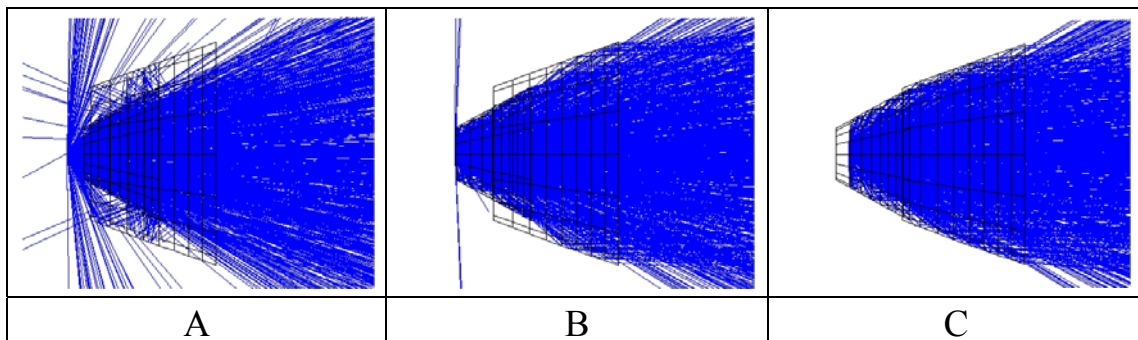


圖 3.16 變焦過程之光線追跡

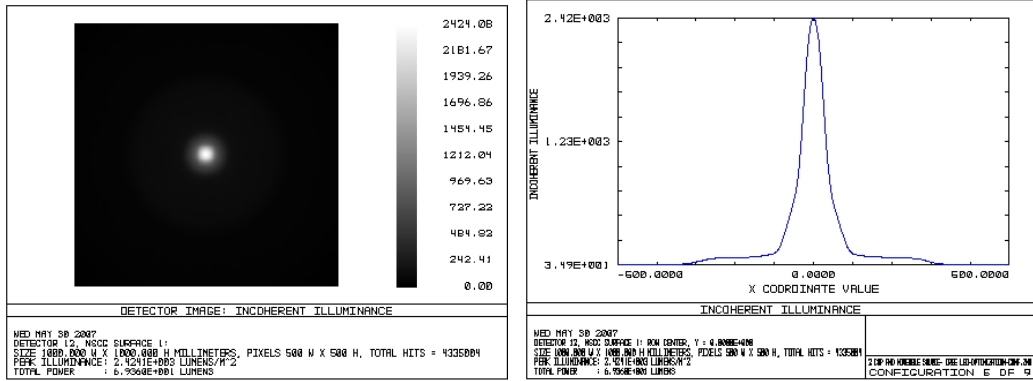


圖 3.17 調整顯示前狀態之照度

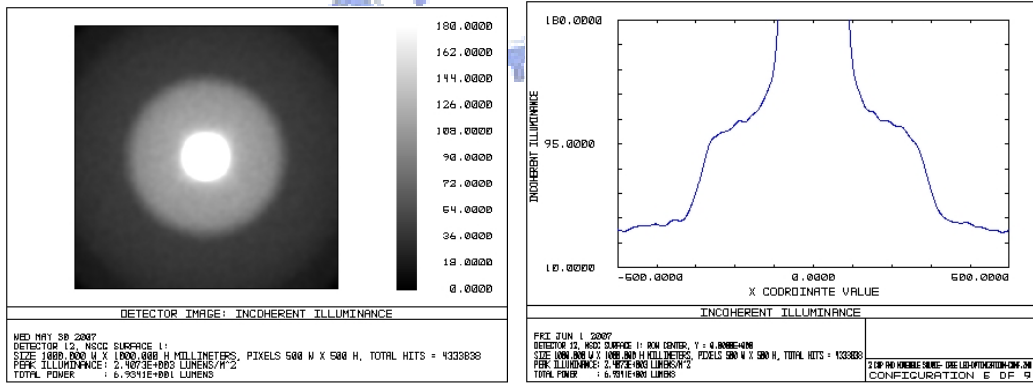


圖 3.18 調整顯示後之照度

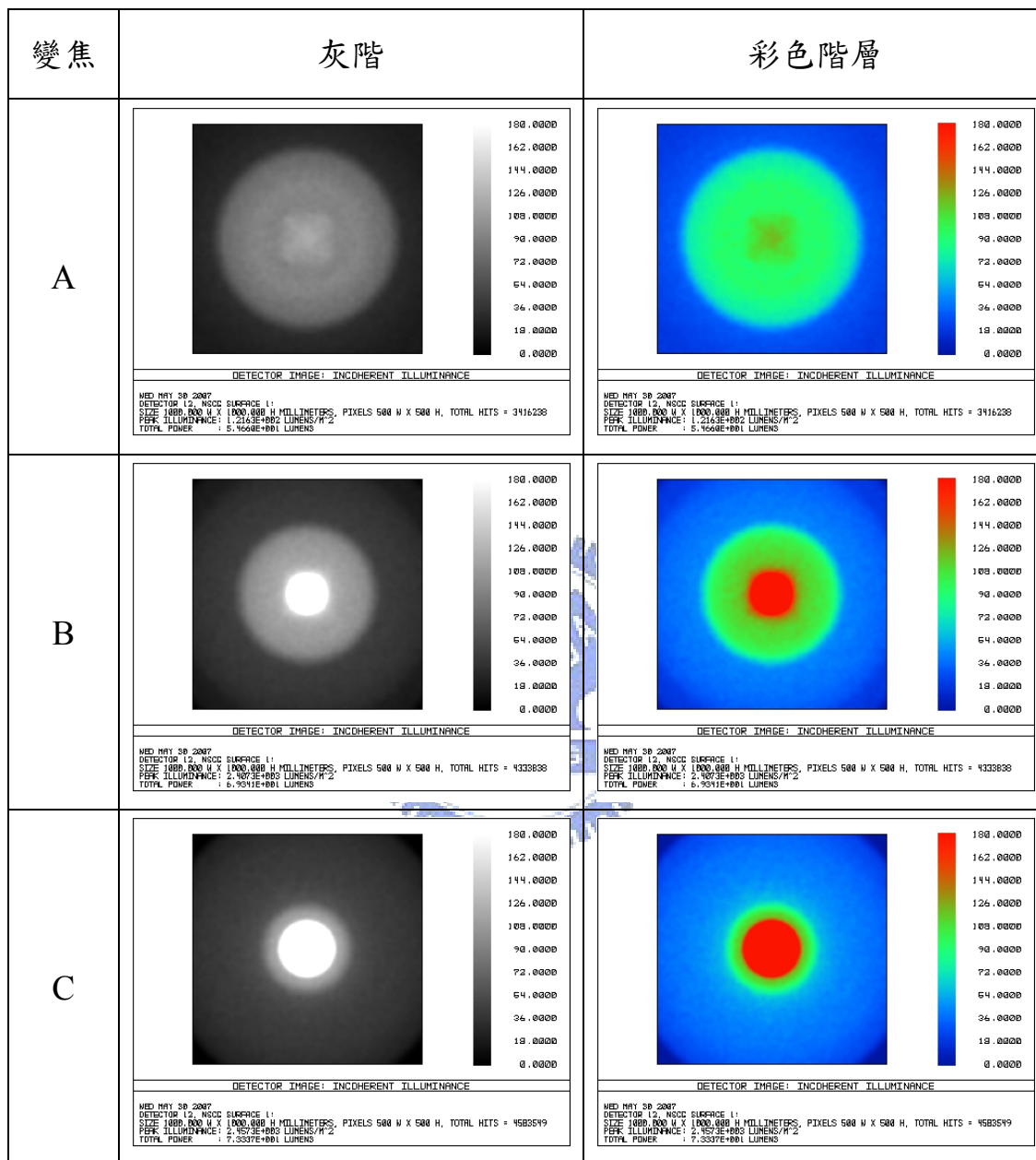


圖 3.19 變焦過程之照度圖

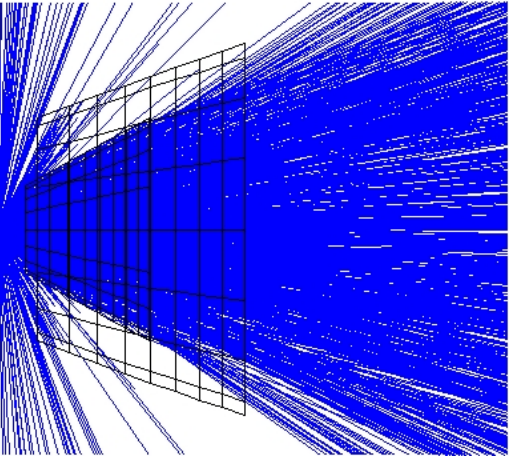
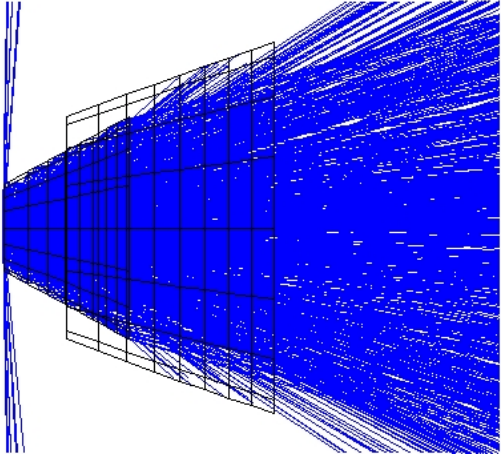
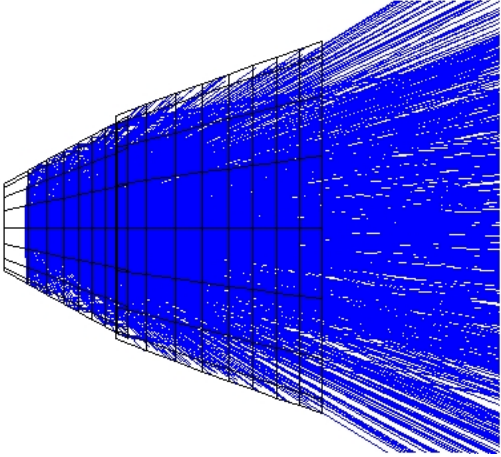
焦段	光線路徑
A	 <p>Diagram A shows a dense bundle of blue lines representing light rays. The rays originate from a point on the left and spread out as they move to the right. A black grid is overlaid on the rays, showing a perspective view of a rectangular volume. The rays are most concentrated in the center of the volume and become more sparse towards the edges.</p>
B	 <p>Diagram B shows a similar bundle of blue rays, but they are more tightly packed and appear to converge towards a focal point on the right side of the diagram. The black grid overlay shows a perspective view of a rectangular volume that is narrower than in diagram A.</p>
C	 <p>Diagram C shows a bundle of blue rays that are very tightly packed and appear to converge towards a focal point on the right side of the diagram. The black grid overlay shows a perspective view of a rectangular volume that is the narrowest of the three diagrams.</p>

圖 3.20 僅考慮內反光杯之光線追跡

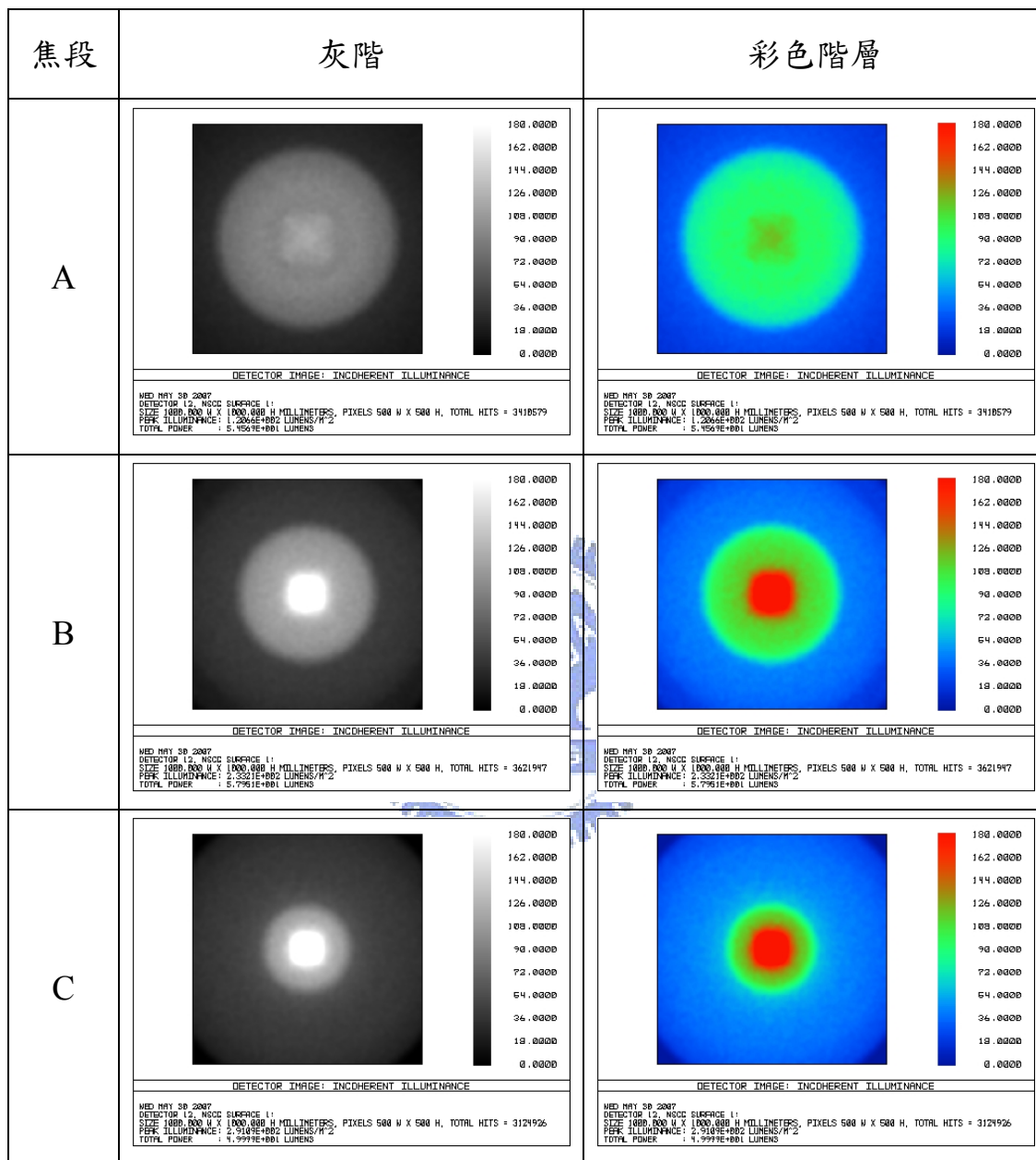


圖 3.21 僅考慮內反光杯之照度圖

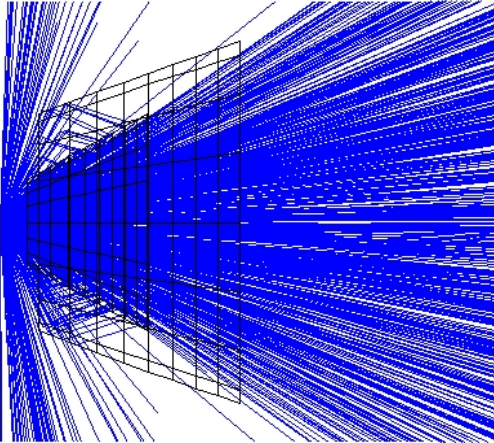
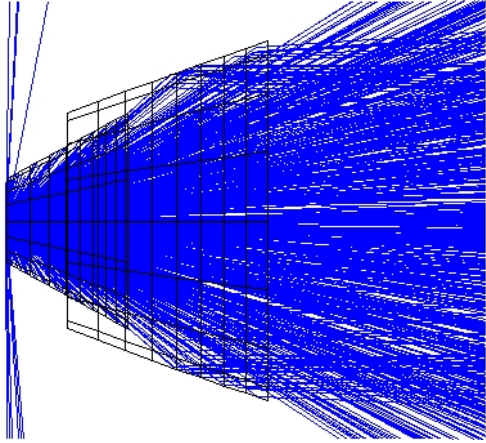
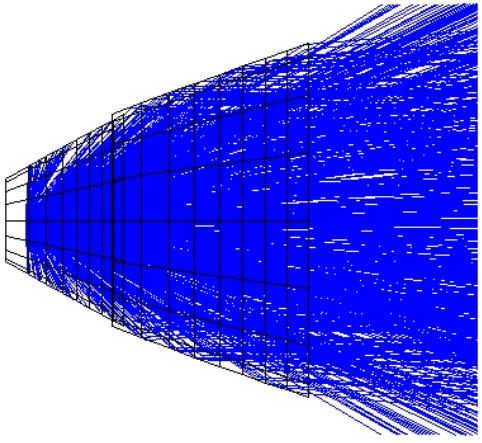
焦段	光線路徑
A	 <p>Diagram A shows a dense bundle of blue lines representing light rays. The rays originate from a point on the left and spread out as they move to the right. A black grid is overlaid on the rays, showing their distribution across a rectangular area.</p>
B	 <p>Diagram B shows a bundle of blue rays that are more tightly focused than in A. The rays are concentrated in a narrower region on the left side of the grid, and their spread is less pronounced as they move right.</p>
C	 <p>Diagram C shows a bundle of blue rays that are very tightly focused. The rays are concentrated in a very narrow region on the left side of the grid, and their spread is minimal as they move right.</p>

圖 3.22 僅考慮外反光杯之光線追跡

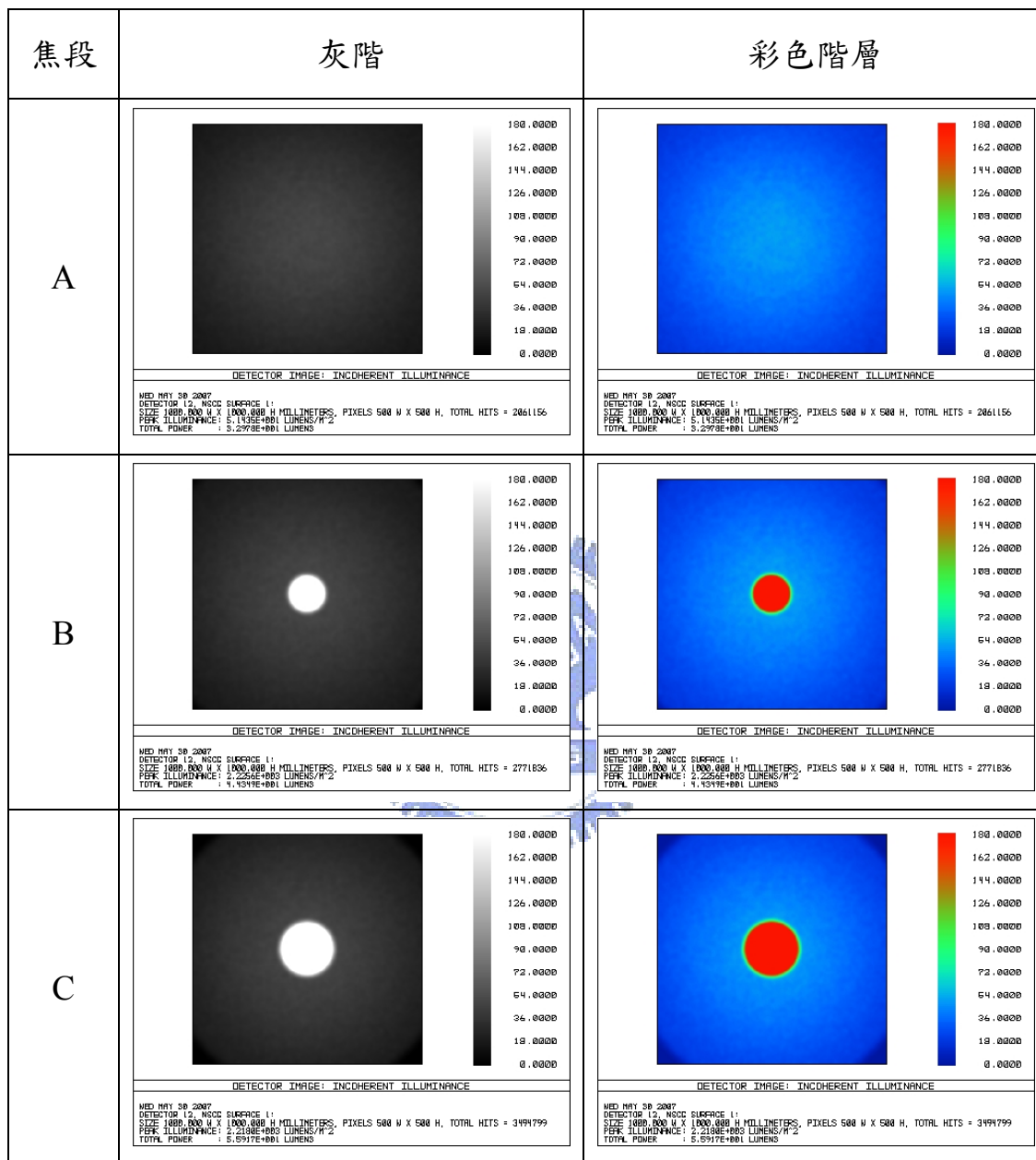


圖 3.23 僅考慮外反光杯之照度圖

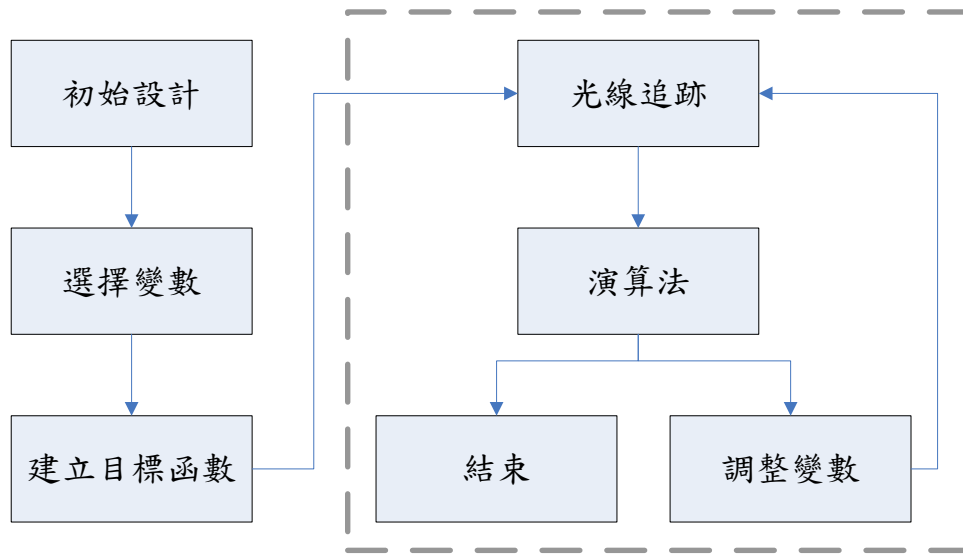


圖 3.24 光學軟體最佳化流程

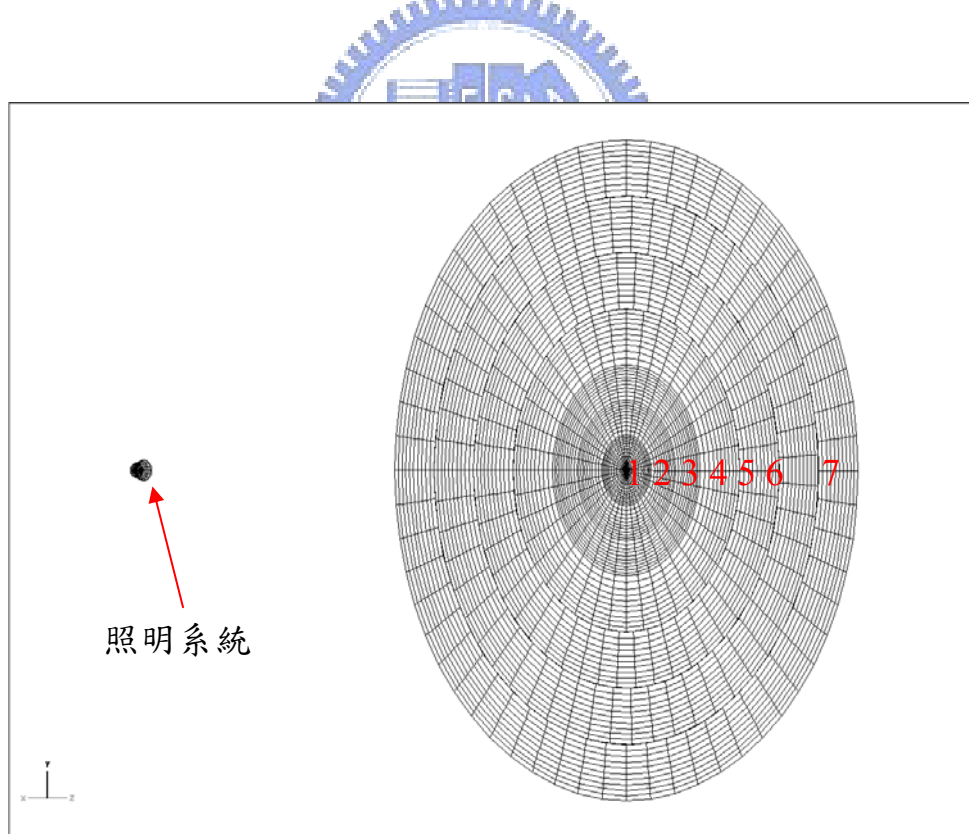


圖 3.25 環型參考面

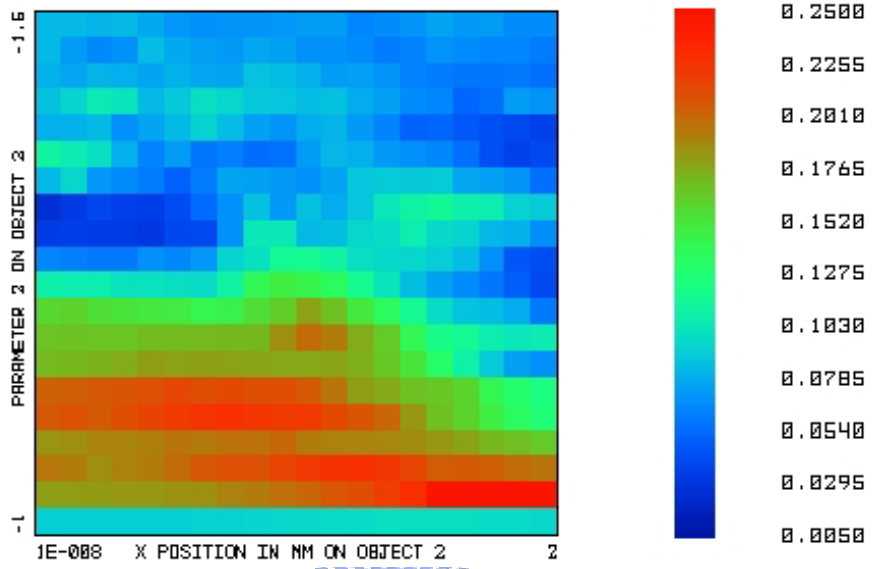


圖 3.26 泛光目標函數之分布



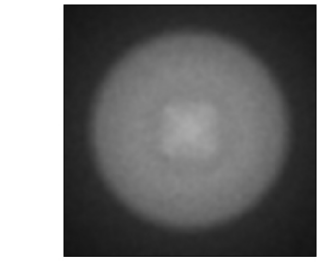
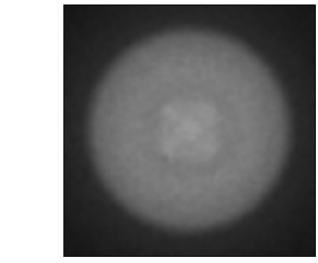
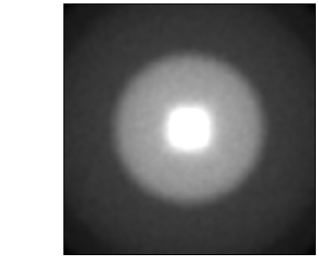
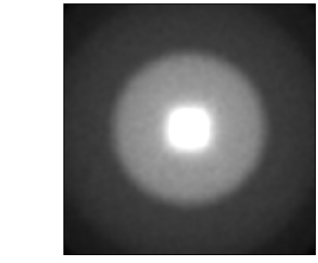
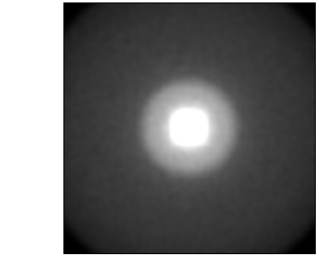
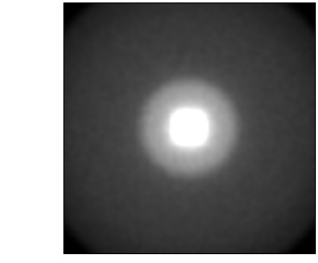
焦段	泛光最佳化前	泛光最佳化後
A	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 30, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3410579 PEAK ILLUMINANCE: 1.2064E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.1567E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3371562 PEAK ILLUMINANCE: 1.0016E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.3745E+001 LUMENS</p>
B	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 30, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3621917 PEAK ILLUMINANCE: 2.5201E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.7791E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3591215 PEAK ILLUMINANCE: 2.3005E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.7507E+001 LUMENS</p>
C	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 30, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3124926 PEAK ILLUMINANCE: 2.5187E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 4.9997E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I2, NSCC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3114437 PEAK ILLUMINANCE: 2.5005E+002 LUMENS/M² TOTAL POWER : 4.9831E+001 LUMENS</p>

圖 3.27 泛光最佳化前後照度圖形比較

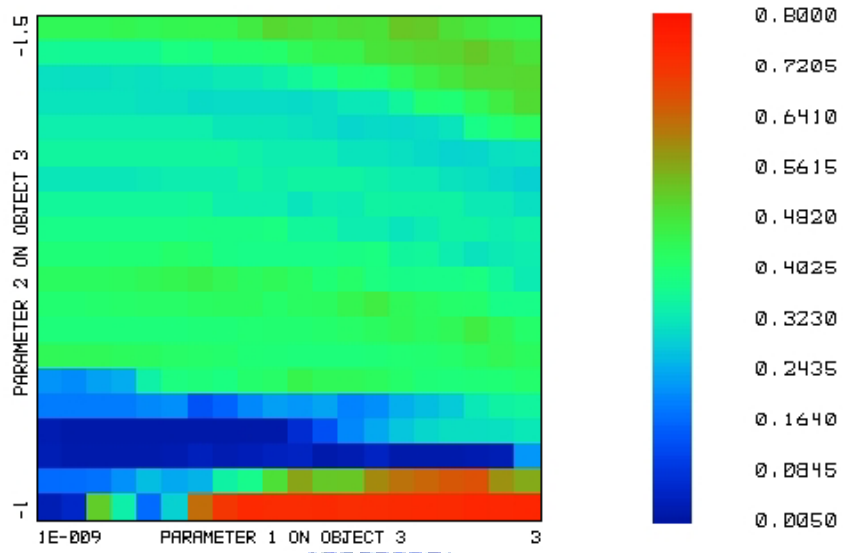


圖 3.28 聚光目標函數之分布



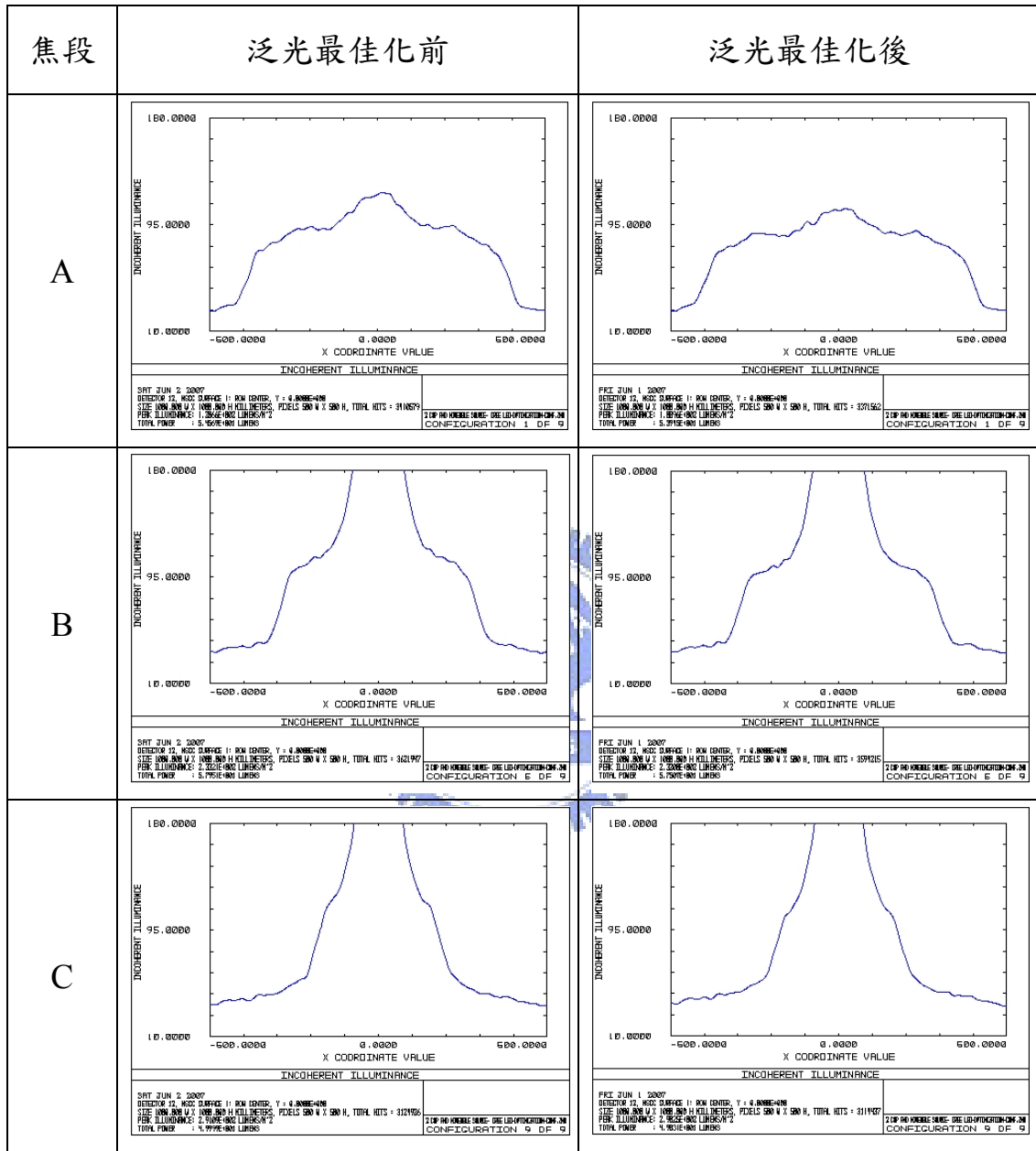


圖 3.29 泛光最佳化前後截面照度值比較







焦段	聚光最佳化前	聚光最佳化後
A	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 20, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 2861156 PEAK ILLUMINANCE: 5.1305E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 3.2978E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 2229282 PEAK ILLUMINANCE: 4.5005E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 3.5667E+001 LUMENS</p>
B	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 20, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 2771836 PEAK ILLUMINANCE: 2.2246E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 4.3317E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 2388572 PEAK ILLUMINANCE: 3.2716E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 4.7687E+001 LUMENS</p>
C	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>WEN MAY 20, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3494799 PEAK ILLUMINANCE: 2.2186E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.5917E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>THU MAY 31, 2007 DETECTOR I:2, NSQC SURFACE I:1 SIZE 1000.000 W X 1000.000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3651515 PEAK ILLUMINANCE: 3.3806E+000 LUMENS/M² TOTAL POWER : 5.8124E+001 LUMENS</p>

圖 3.30 聚光最佳化前後照度圖形比較

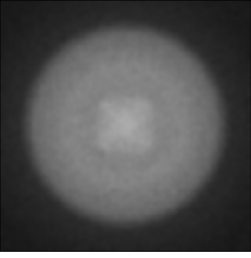
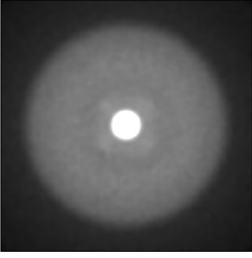
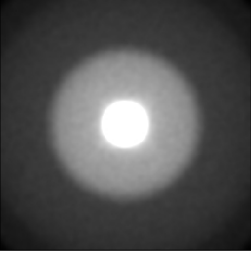
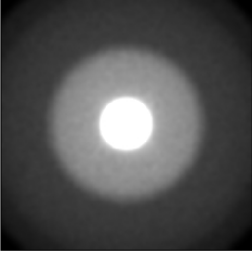

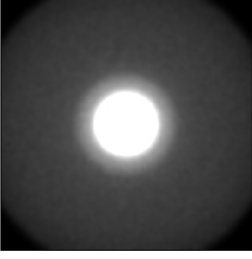
焦段	最佳化前	最佳化後
A	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3416238 PEAK ILLUMINANCE: 1.2163E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 5.7668E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 3543229 PEAK ILLUMINANCE: 5.0027E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 5.6692E+001 LUMENS</p>
B	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 4338838 PEAK ILLUMINANCE: 2.3075E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 6.3591E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 4513924 PEAK ILLUMINANCE: 4.0036E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 7.2283E+001 LUMENS</p>
C	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 4583519 PEAK ILLUMINANCE: 2.5274E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 7.3337E+001 LUMENS</p>	 <p>DETECTOR IMAGE: INCOHERENT ILLUMINANCE</p> <p>MED MAY 30 2007 DETECTOR I2, NSQC SURFACE I1 SIZE 1000,000 W X 1000,000 H MILLIMETERS, PIXELS 500 W X 500 H, TOTAL HITS = 4726181 PEAK ILLUMINANCE: 4.0036E+000 LUMENS/M^2 TOTAL POWER : 7.5619E+001 LUMENS</p>

圖 3.31 最佳化前後照度圖比較

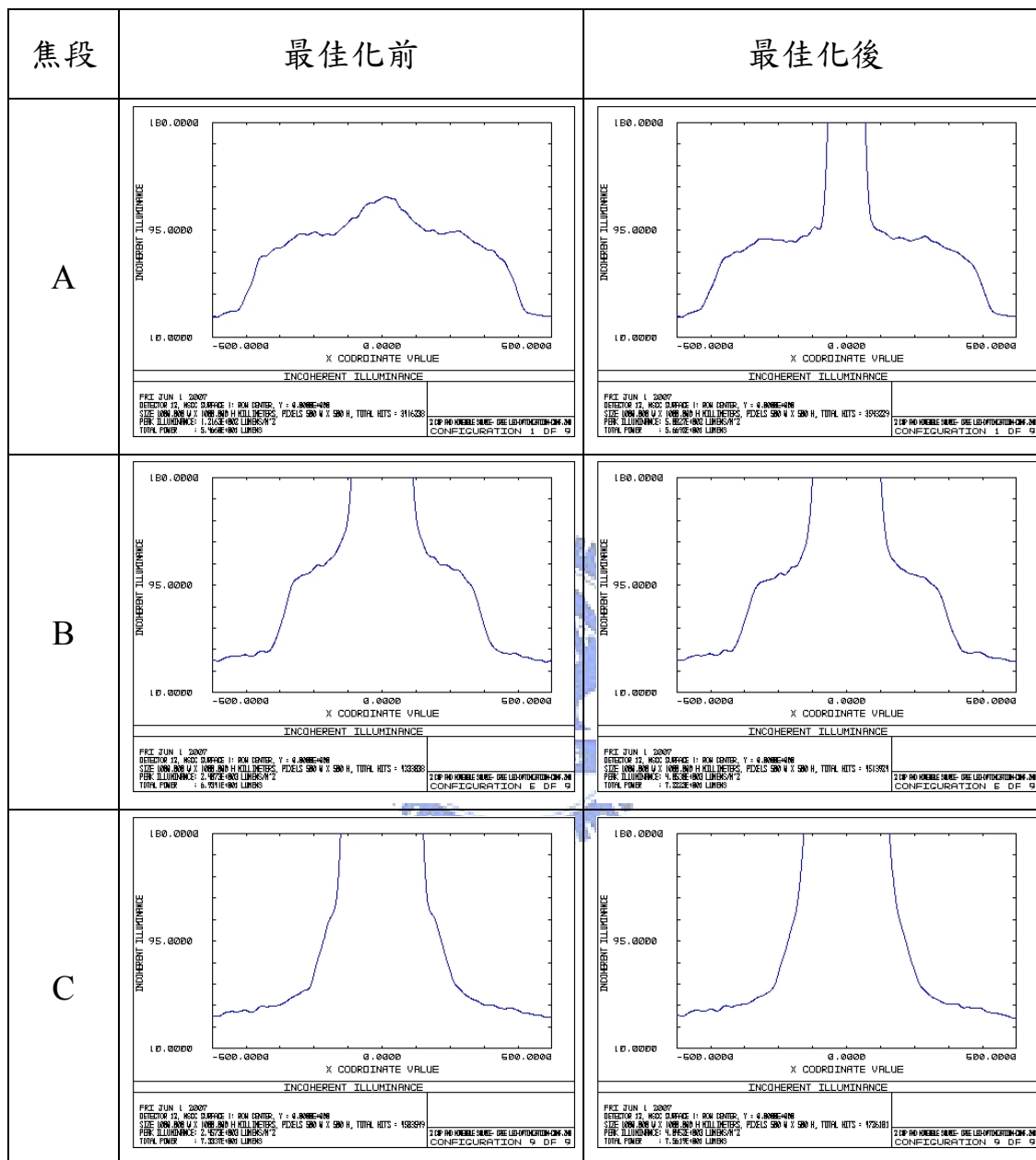


圖 3.32 最佳化前後截面照度比較


第四章 實驗

4.1 實驗目的

為了驗證本研究提出之設計，底下將進行實驗量測，包括變焦的效果、LED 光型，並討論是否能符合設計需求，以及可能造成誤差的原因。

4.2 實驗規劃

4.2.1 實驗設備



光源、內反光杯、外反光杯為本設計的三個主要元件，這些元件藉由相對的運動達到變焦的功能，因此至少需要調整其中兩元件來達成這個目的。本研究自行設計一實驗機台，為了簡化設計，將固定外反光杯而利用內反光杯與光源作為可動的元件，使用上下兩組螺桿分別調整內反光杯與光源的位置，同時也可替換不同的反光杯與光源，對不同的組合進行實驗。圖 4.1 至圖 4.7 為機台之詳細設計圖，圖 4.8 則為實際成品。

將利用電源供應器直接驅動 LED 發光，規格如表 4.2。

光線透過實驗機台內元件的反射向前射出，因此於前方設置一屏

幕，具有尺標可標註照明範圍的大小，再利用數位相機進行取像，規格如表 4.2。

照度計為量測照度之儀器，用以測量在屏幕位置上與光軸不同距離之照度，以驗證截面照度之分布狀況，照度計如圖 4.9，規格如表 4.3 所示。接收器為直徑 2.5 公分之圓形區域，因此所量得的照度為在其範圍內的平均值。

三次元量測儀將用來測量反光曲面的形狀，規格如表 4.5。

實驗選用的 LED CREE XLamp XR-E 發光後溫度提高，會降低發光效率，如圖 4.10 所示，最高溫可承受 145°C ，但效率僅剩 70%，因此須進行溫度的監控，以確保 LED 的輸出不會改變太大。研究中使用電熱偶與數位溫度計來量測溫度，如圖 4.11 所示，規格如表 4.4。由於 LED 體積太小，電熱偶難以固定在 LED 上，因此將把電熱偶黏在固定 LED 的圓柱上。

表 4.1 電源供應器規格

型號	GPC-3030D
Parallel	30V 6A
Series	60V 3A
CONSTANT VOLTAGE OPERATION	
Line regulation	$\leq 0.01\% + 3\text{mV}$
Load regulation	$\leq 0.01\% + 3\text{mV}$ (rating current $\leq 3\text{A}$) $\leq 0.02\% + 3\text{mV}$ (rating current $\leq 10\text{A}$)
Ripple & Noise	$\leq 1\text{mVrms}$ 5Hz~1MHz
Recovery Time	$\leq 100 \mu\text{S}$
CONSTANT CURRENT OPERATION	
Line regulation	$\leq 0.2\% + 3\text{mA}$
Load regulation	$\leq 0.2\% + 3\text{mA}$
Ripple Current	$\leq 3\text{mA}_{\text{rms}}$

表 4.2 數位相機規格

相機	Nikon D50
畫素	610 萬
感光元件尺寸	23.7×15.6mm RGB CCD
鏡頭	AF-S DX Zoom-Nikkor 12-24mm f/4G IF-ED
鏡組結構	7 群內含 11 片透鏡
取相角度	99°-61°
最小 f/stop	22

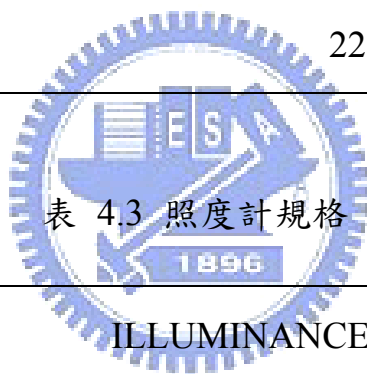


表 4.3 照度計規格

名稱	ILLUMINANCE METER T-10
接收器	矽光電池
接收器尺寸	φ 25mm
測量範圍	0.01 ~ 299900 lux
精確度	量測值±2% ±1digit

表 4.4 數位溫度計規格

名稱	RIXEN T-60
熱電偶形式	Type K (CA)
解析度	0.1°C 在-200 ~ +200°C 之間 1°C 在 200°C 以上
測量範圍	-200 ~ +1372°C
精確度	±0.1% rdg +0.2°C 在-200 ~ +200°C 之間 ±0.2% rdg +1°C 在 200°C 以上

表 4.5 三次元量測儀規格

型號	TJG-420DVP
量測範圍	X 軸 360mm，Y 軸 200mm，Z 軸 100mm
解析讀數	Renishaw Linear Scales 1 μm/0.5 μm/0.1 μm
線性精度	U1, U2 = 1.5+L/300
可重複性	0.003mm
放大倍率	10X...100X

4.2.2 LED 光型實驗

先前進行光學模擬時，設定 LED 光源的光型為採用原廠所提供的資料，然而 LED 在製造過程可能產生誤差，以及保存的方式的好壞，可能對理想數據有所差異，因此先進行實驗來量測實際 LED 的光型，以探討這方面所造成的誤差。光型為光源發射角度與相對光強度的關係如圖 3.14，因正規化後可視為不同角度上所發射流明數的相對關係，所以應等於不同角度且相同距離之被照面的相對照度。然而照度計的接收器有一定尺寸，會涵蓋較大角度的進光量，為了達到理想的結果，必須增加光源與照度計的距離以減小接收器涵括的角度。因此設計實驗架構如圖 4.12 所示，將利用照度計在光源前方量測不同發射角度的照度，距離為 50 公分，因為可視為軸對稱，所以量測角度將由 90° 到 0° 。

4.2.3 變焦實驗

變焦實驗架構如圖 4.13 所示，實驗機台架設在屏幕前方 1 公尺處，利用電源供應器提供 CREE LED 穩定之工作電壓 3.3V 與電流 350mA。利用先前模擬變焦的過程中，元件間相對位置的關係，使用機台的螺桿調整光源與內反光杯形成不同焦段的位置，接著使用照度計測量照度，從距離軸心 0 至 50cm 共 11 個位置，並使用數位相機進

行取相，計算照明範圍以及照明角度之大小。在此過程中必須隨時注意溫度的變化，避免 LED 輸出的變動太大。

4.2.4 反光杯形狀量測

先前透過光學模擬與最佳化求得反光杯之理想參數後，將利用 CNC 製造成形，再進行表面拋光，由於製造上的誤差，成品之形狀可能與原始設計有所差異，而反光面的形狀為影響照明效果的一大主因，因此需要量測反光杯曲面的形狀，以研究可能形成的誤差原因。將使用三次元量測儀進行量測。

4.3 實驗結果



4.3.1 LED 光型實驗結果

使用 CREE XLamp XR-E LED 進行實驗，比較兩顆不同 LED 與原廠資料，整理於圖 4.14。黑色曲線為原廠資料，紫色與藍色曲線為不同 LED 所得之實驗結果，在 90° 至 30° 之間原廠資料略低於實驗值，表示實際 LED 的光型較為發散，但差距相當有限，且都具有相同趨勢； 30° 以下則較無規律，但數值已經降低且在此發射角度之光線已較無利用，因此 LED 光源實際的發光情況為可接受的範圍。

4.3.2 變焦實驗結果

進行光學模擬設計時，光源與內反光杯的相對位置從-2mm 變化至 2mm，內反光杯的開口大小剛好為 LED 的透鏡，使透鏡可穿過開口而進行變焦，但是實際上 LED 實品的透鏡附於電路板上，無法穿過開口的情況下，使 LED 無法完全進入內反光杯。由於以上因素，先前變焦設計的焦段將會有某些部份無法立即實驗，所以先對 LED 在可移動的前半段範圍內的焦段進行討論。請參考圖 3.13 元件位置關係，實驗將採用表 4.6 作為變焦過程的參數，實驗焦段 a 對應模擬之焦段 A，實驗焦段 e 對應模擬之焦段 B。

表 4.6 實驗元件相對位置關係

模擬焦段	A				B
實驗焦段	a	b	c	d	e
X(mm)	2	1.5	1	0.5	0
Y(mm)	9	8	7	6	5

實驗結果的圖形如圖 4.15 所示，主要可分為三個區域，中央最亮區主要為外反光杯反射之光線所形成，外圍次亮區域為內反光杯所形成的泛光，最外圍是不受反光杯控制而直接射出之光所形成。尺標每單位為 10 公分，可表示變焦過程中泛光範圍改變的情形，其光斑的大小與照射角度，並整理於表 4.7 中。由結果明顯得知變焦過程使

得泛光的範圍逐漸縮小，除焦段 c 至 d 較無改變之外，由焦段 a 至 e 直徑共減小約 34 公分，照射角度減小了 17.5° ，也可看出中央集中的區域稍微增大。

照度數值方面，實驗測量的結果將由位置與照度關係整理於圖 4.16 至圖 4.17，其中因為位於 0 公分、5 公分之照度數值相當高，而圖中之顯示設定為與模擬相同之最大值 180 lux，因此中央部份之照度值未標示於圖中，另整理於表 4.8 中。焦段 a 的 10 至 30 公分區域的照度都很接近 80 lux，為極均勻的泛光；對應照明圖形，泛光與外圍較暗的散光區域的分界約在 40 公分處，截面的照度圖中在此處有落差。由焦段 a 至 e 的變焦過程中，此落差的位置逐漸往中央移動，符合泛光的範圍變化。最大照度皆發生在中央的 0 公分位置，且數值越來越大，至焦段 e 時為焦段 a 的 3.32 倍。

在實驗的過程中，溫度變化紀錄於表 4.9，平均為 33.9°C ，最大溫差約為 1.6°C ，因此 LED 的輸出維持在 95% 以上，可忽略溫度對發光效率造成的影響。

表 4.7 變焦過程之泛光範圍

焦段	a	b	c	d	e
直徑(cm)	84	70	70	60	50
角度($^\circ$)	45.56	38.58	38.58	33.40	28.07

表 4.8 中央附近之照度值

焦段	a	b	c	d	e
位置 0cm 之照度(lux)	520	770	1370	1457	1725
位置 5cm 之照度(lux)	208	400	342	499	329

表 4.9 實驗過程溫度變化

	a	b	c	d	e
溫度(°C)	33.0	33.6	33.9	34.6	34.4

4.3.3 反光杯形狀量測結果

內反光杯的測量結果如圖 4.18 所示，橫座標為徑向 r ，縱座標為軸向 z ，紫色曲線為內反光杯利用非球面公式計算求得之形狀，藍色線為利用三次元量測儀所量得之結果，軸向較低位置由於反光杯此處在加工時為轉角，量測儀之球形探針無法沿著準確的形狀進行量測，因此與理論值發生較大差異。此處以上範圍，量測值相當符合理論值。外反光杯量測結果如圖 4.19 所示，同樣在軸向較低處發生較大差異，但其餘區域非常接近，這表示反光杯的加工準確，誤差在可容許範圍之內。

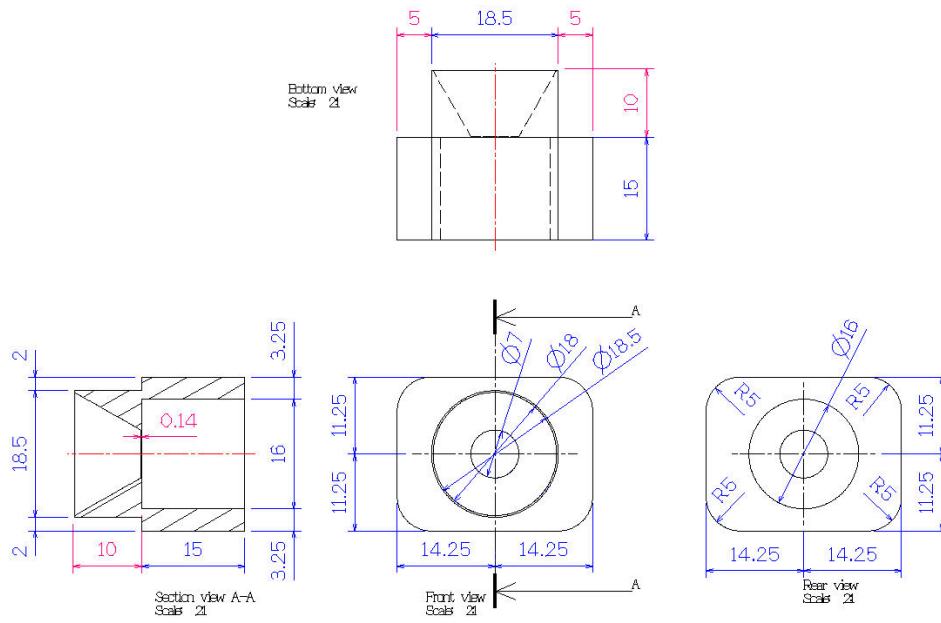


圖 4.1 內反光杯設計圖

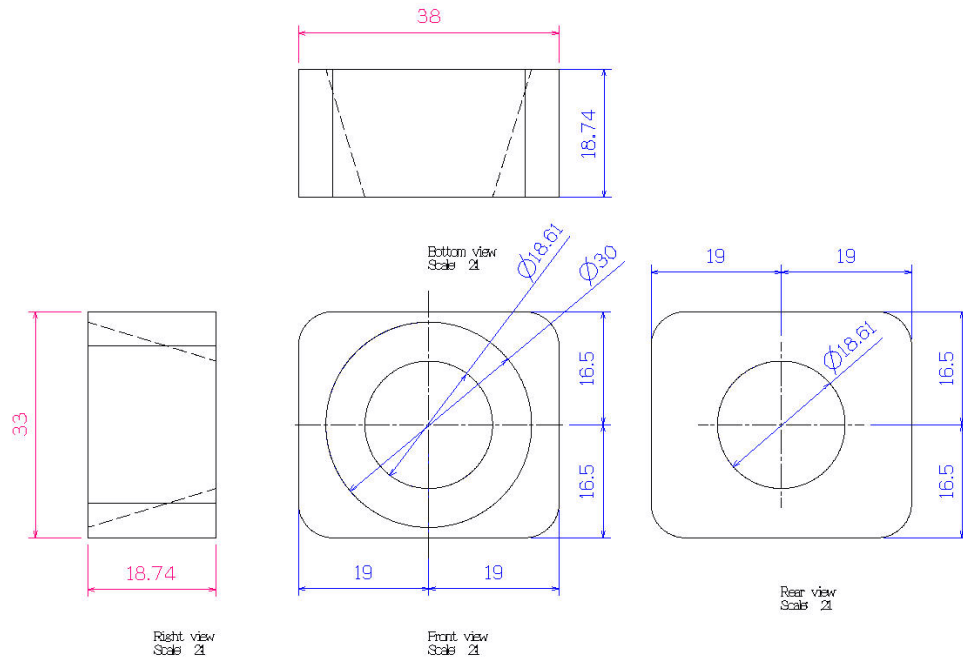


圖 4.2 外反光杯設計圖

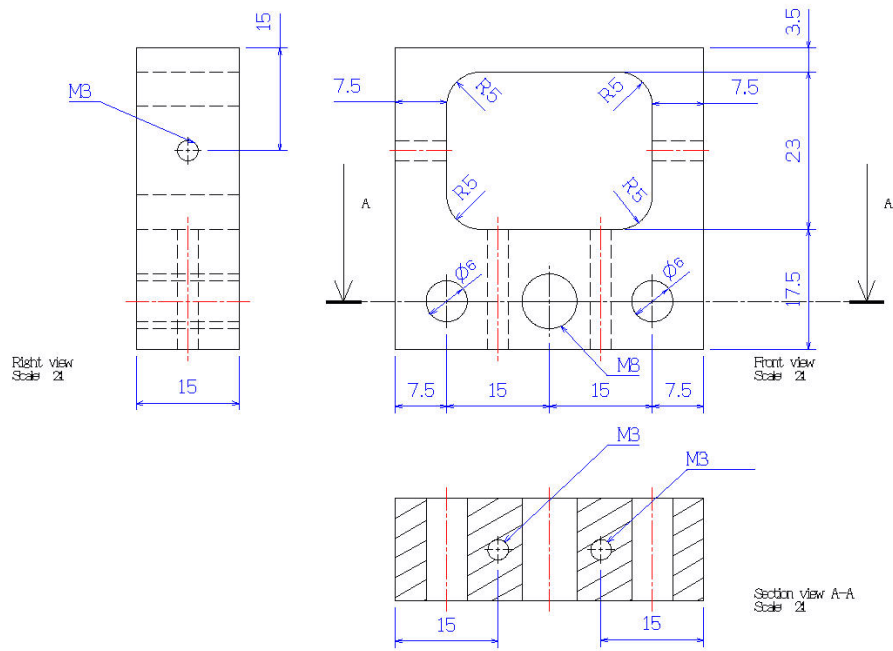


圖 4.3 內反光杯座設計圖

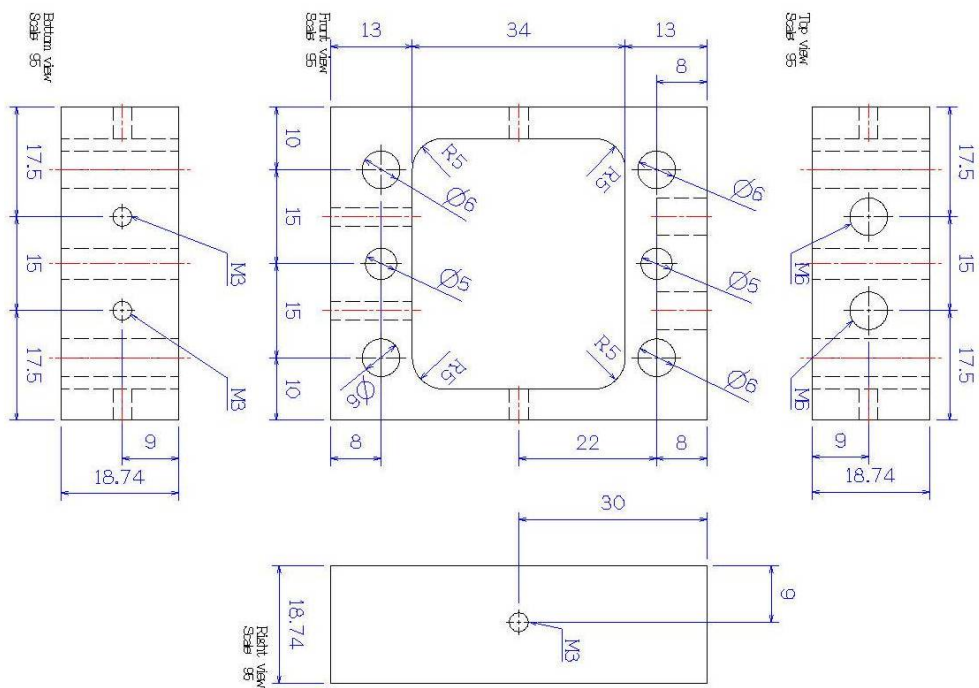


圖 4.4 外反光杯座設計圖

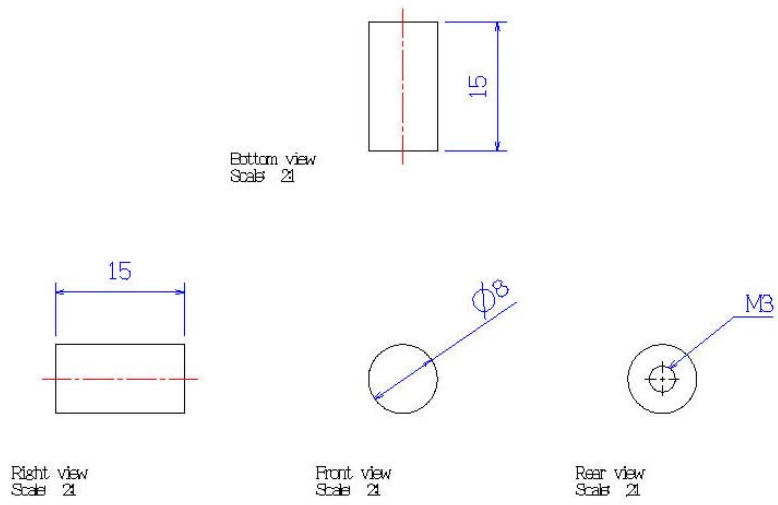


圖 4.5 光源放置架設計圖

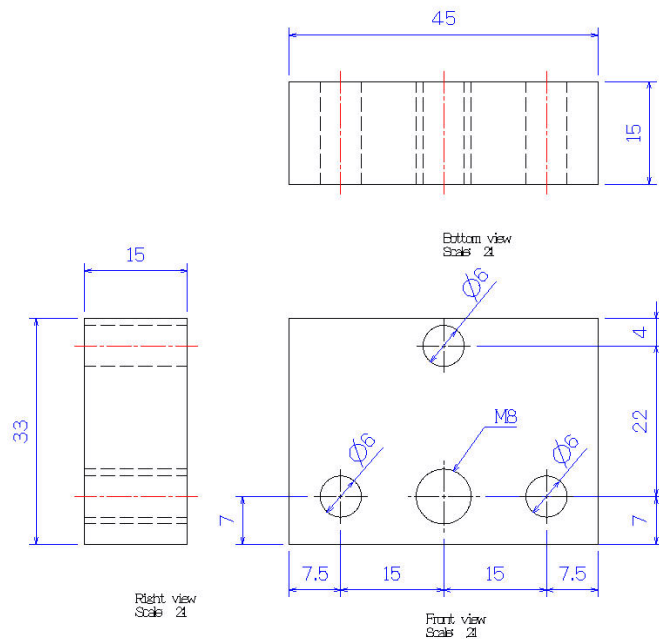


圖 4.6 光源座設計圖

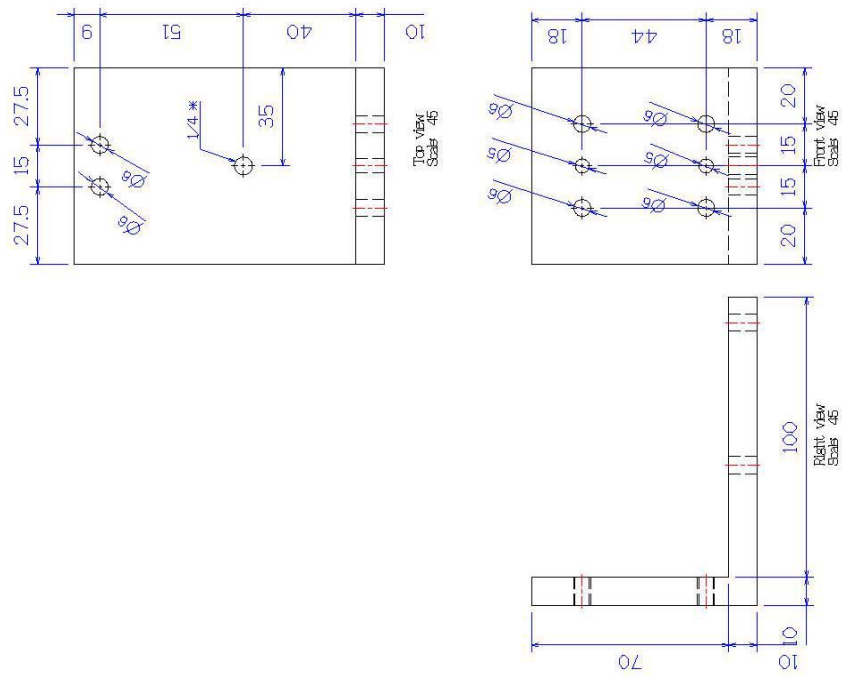


圖 4.7 底座設計圖

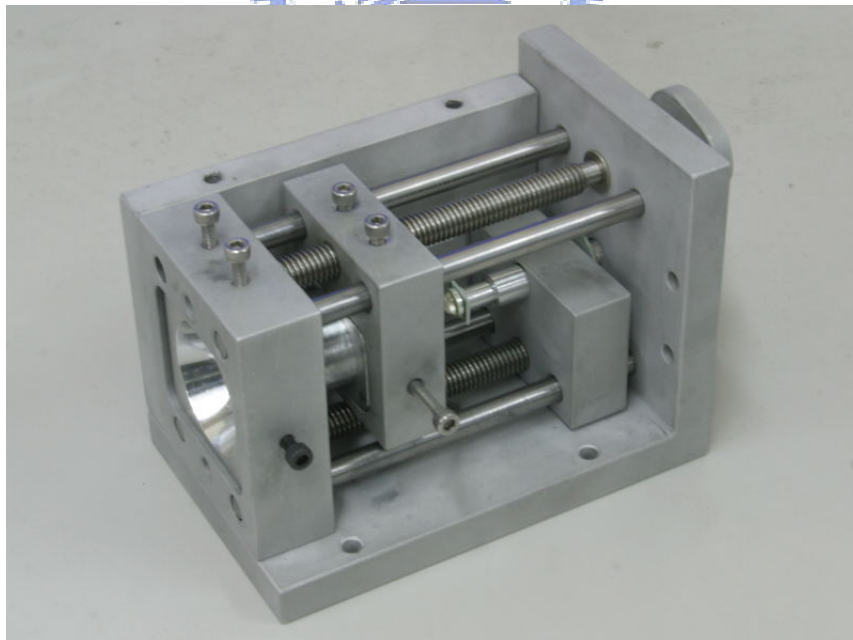


圖 4.8 實驗機台



圖 4.9 照度計

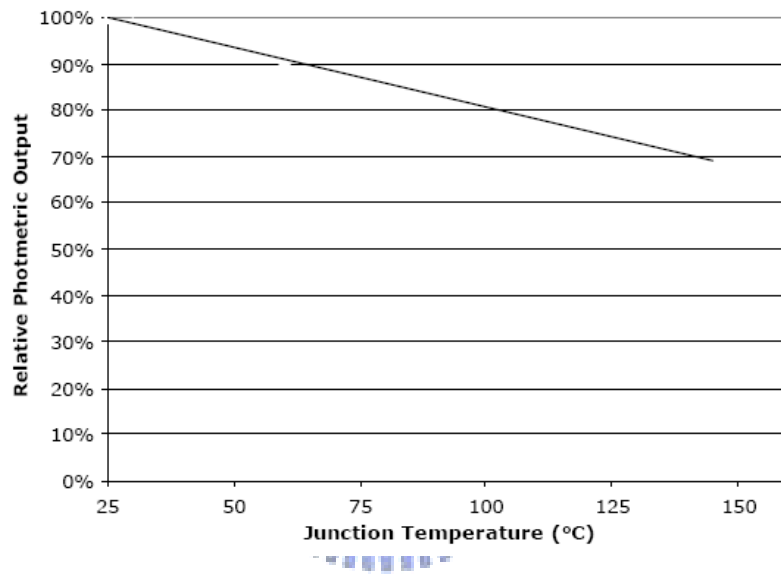


圖 4.10 CREE XLamp XR-E 350mA 下溫度與輸出之關係



圖 4.11 數位溫度計

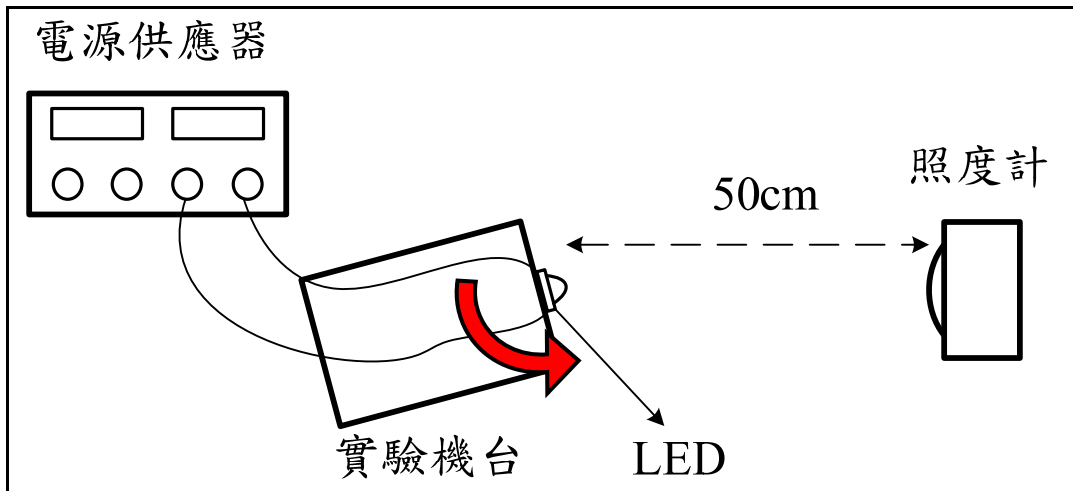


圖 4.12 LED 光型實驗架構示意圖

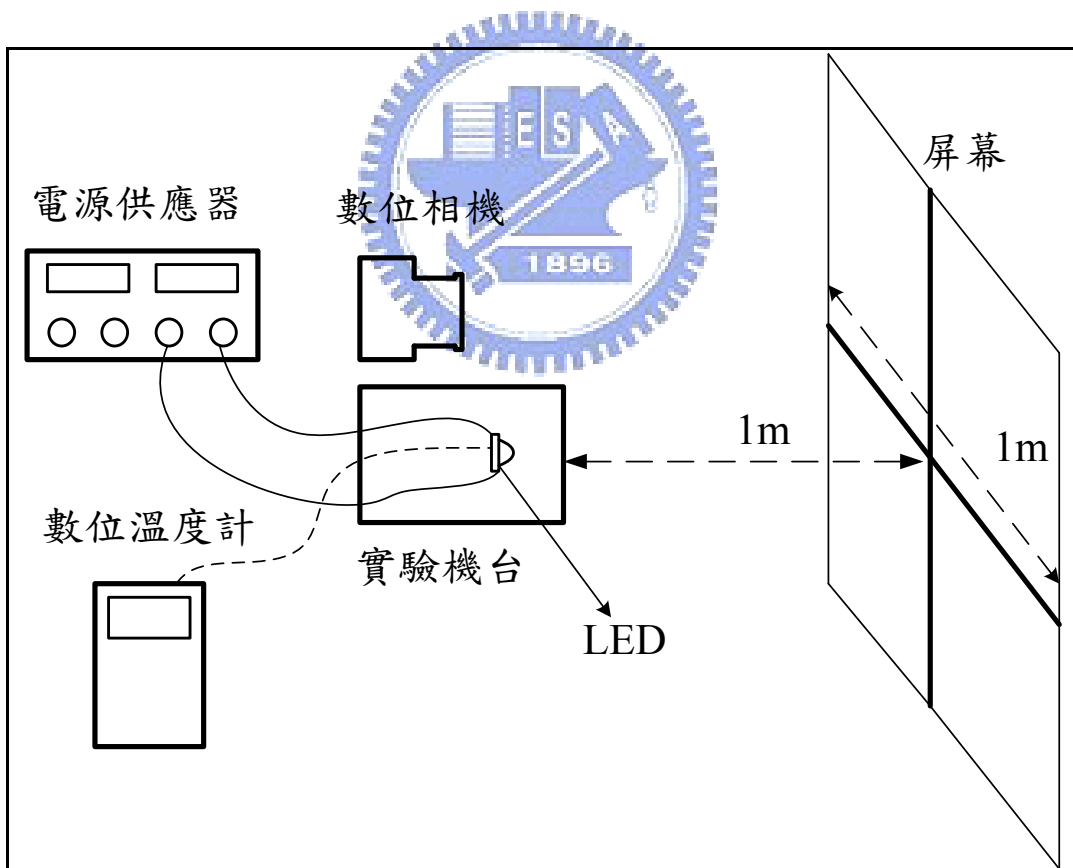


圖 4.13 變焦實驗架構示意圖

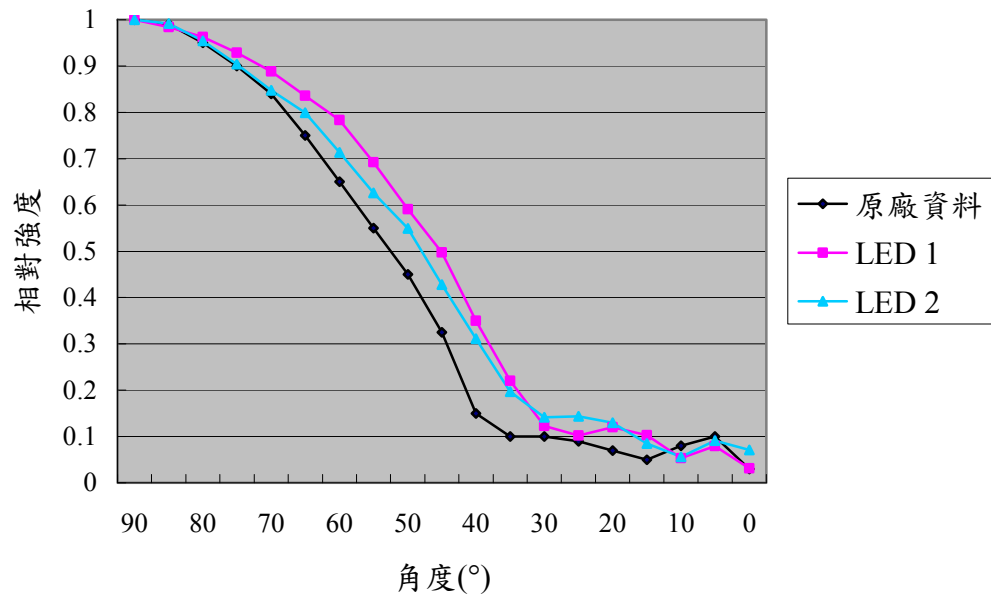


圖 4.14 CREE XLamp XR-E 光型實驗結果



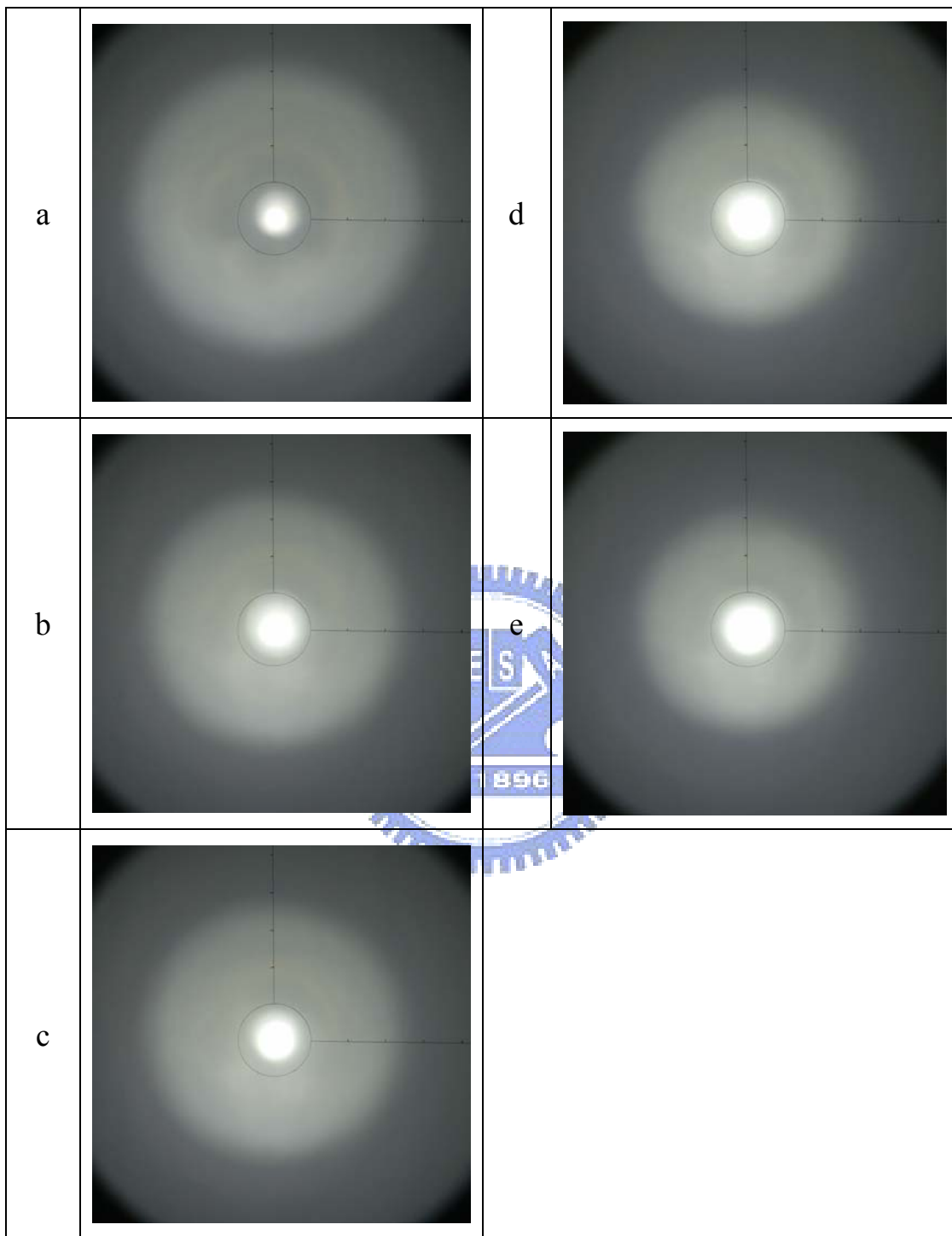


圖 4.15 變焦過程實驗圖形

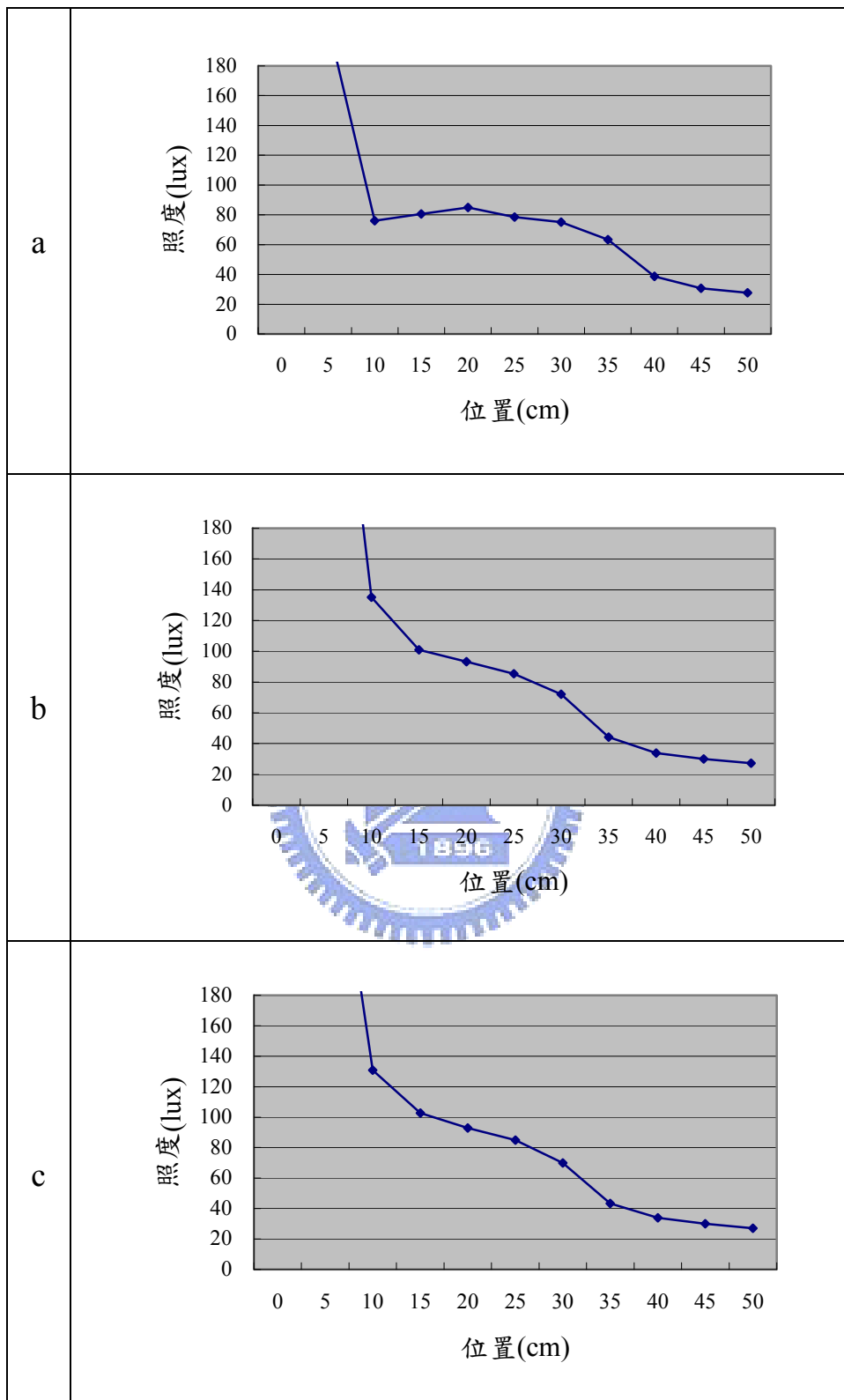


圖 4.16 變焦過程截面照度實驗值

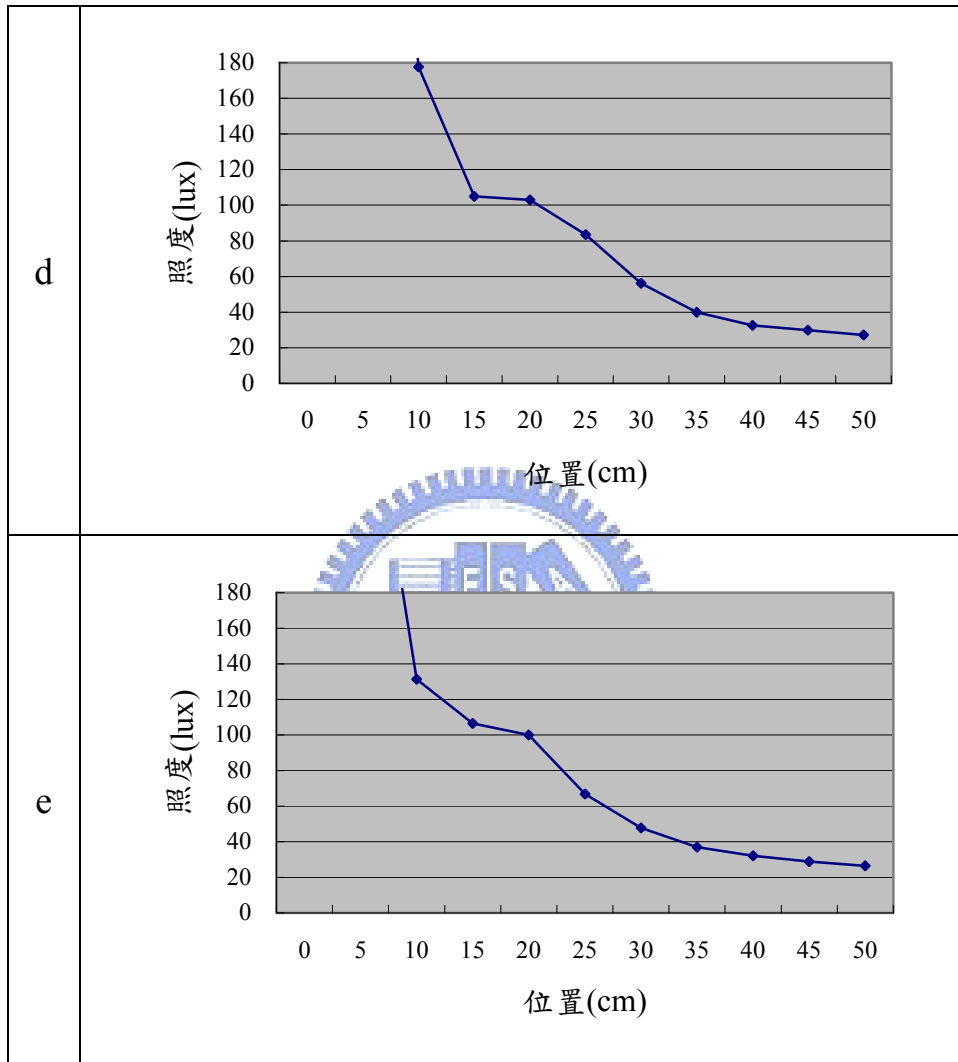
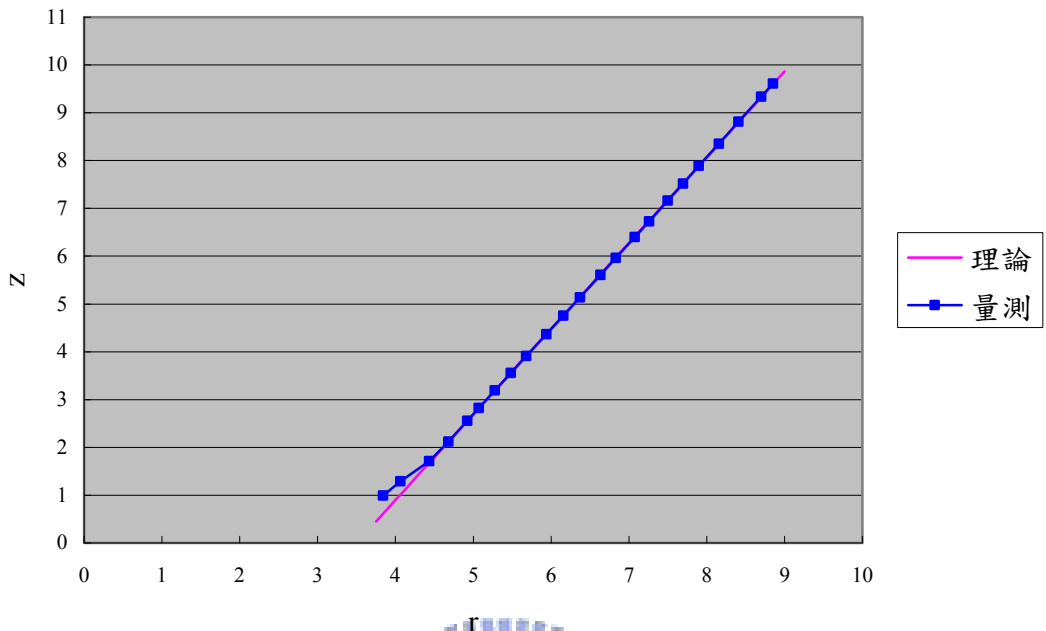


圖 4.17 變焦過程截面照度實驗值(續)



第五章 結果與討論

本章的目的在於比較模擬與實驗的結果，研究可能形成誤差的原因，以驗證本論文提出之設計的可行性，並且討論系統內設計因素對結果的影響。

5.1 模擬與實驗比較

比較模擬與實驗在變焦過程中的變化情形，討論 a、c、e 三個焦段，圖 5.1 為照明圖形，尺寸皆為 1 公尺x1 公尺，圖 5.2 為截面照度數值，模擬為完全截面，而實驗因視系統為軸對稱而只有 0 至 50 公分的資料範圍，因此將只針對模擬之右半邊數據進行比較。模擬與實驗在變焦過程中泛光的範圍非常相符，直徑分別為 80 公分、70 公分與 50 公分。焦段 a 有最大的泛光範圍，約從 10 至 30 公分之區域具有相當均勻的照度，模擬值約為 90 lux，實驗值約為 80 lux；泛光與散光的落差區也同樣發生在約 35 至 40 公分處。焦段 c 的泛光範圍縮小，同樣可見截面照度的落差區向中央移動至 30 至 35 公分之間。焦段 e 的泛光範圍再縮小，對應截面照度圖的落差區，模擬值移動至 25 至 30 公分處，而實驗值為 20 至 25 公分之間，可能是因為在此焦段時光源稍微超過設計之 X 等於 0 公分位置，LED 更進入內反光杯所以泛光範圍較小。模擬與實驗之截面照度在各個焦段皆具有相同趨

勢，可得知內反光杯的加工良好，反光面的形狀符合預期要求，但是因為表拋光處理無法達到理想的完全反射，因此數值方面實驗值略比模擬值低 10 lux。

表 5.1 為變焦過程模擬與實驗最大照度比較，差異表示實驗值相對模擬值減少的比率。焦段 a 至 e 變焦的過程中數值皆逐漸提升，模擬值除了焦段 a 稍低於實驗值以外，其餘皆大於實驗值。由於反光杯表面加工的過程，可能形成表面的缺陷或不平整而無法達到完全反射，因此外反光杯集中光線的情況不甚理想。由焦段 a 移動至焦段 e 的過程中，差異的比率逐漸增加，是因為外反光杯在逐漸向前移動的變焦過程中，控制光的面積逐漸增加，相對反射過程造成的損失漸漸增大。但焦段 a 的實驗值大於模擬值，推測是因為光源置入內反光杯時，稍微超過 X 等於 0 公分位置，發生更聚光狀態，內反光杯形成之聚光部分增強，再加上外反光杯之聚光而達到較預期高的照度值。

表 5.1 變焦過程模擬與實驗之最大照度比較

焦段	a	b	c	d	e
模擬(lux)	508.3	1195.3	2385.7	3475.9	4053.0
實驗(lux)	520	770	1370	1457	1725
差異	+2.3%	-35.6%	-42.6%	-58.1%	-57.4%

5.2 誤差原因

利用光學模擬進行設計時，大部分條件皆設定為理想狀態，然而實際進行實驗時，誤差可能造成模擬與實驗結果的差異。由本論文模擬與實驗的過程中，得知可能造成誤差的原因包括 LED 光型、曲面外型加工以及表面加工等。

1. LED 的光型影響反光杯形狀，然而實際上 LED 光型可能隨著不同生產期而有些差異。由光型實驗結果可得知，實際光型和廠商提供的資料的確有些許不同。
2. 反光杯例用 CNC 成形，機具的精度、刀具，加工速率、溫度等條件，皆可能影響曲面的形狀，進而改變光線反射的路徑與所形成的照明圖形。
3. 反光面為利用拋光的方式形成鏡面，拋光的好壞影響反射效率，甚至會改變曲面的形狀。
4. 實驗中利用螺桿來調整元件間相對位置的關係，由於元件製造時的公差、機構間運動時產生的誤差，將使得元件難以達到理想的位置，因此造成照度圖形的大小、數值的誤差。

在以上的研究中，利用美國 CREE 公司之 LED 作為光源進行模擬，著手設計曲面，利用最佳化求得較佳的參數，接著進行實驗，驗證設計的正确性。在 CREE 公司發展之前，美國著名的 LED 廠商為

Lumileds 公司，因此本研究也利用其生產之 LED 作為光源，以同樣的方式進行設計。然而所選用之 Lumileds LED 之光型與 CREE LED 差異性較大，因此效果較無法達到使用 CREE LED 之設計，但仍可看出變焦趨勢，已將此部份之研究收錄於附錄 B。

由於實際 LED 無法更進入內反光杯，因此對照模擬之設計，僅能進行前半段的變焦實驗，但可得知實驗結果之照明範圍、照度數值皆與模擬結果具有相同趨勢。因此，推測實驗光源若能繼續向前移動，將可達到模擬之聚光效果。另一方法為回到模擬設計階段，重新考慮光源的移動距離，對反光杯設計新的曲面參數，再以最佳化求得較佳結果。



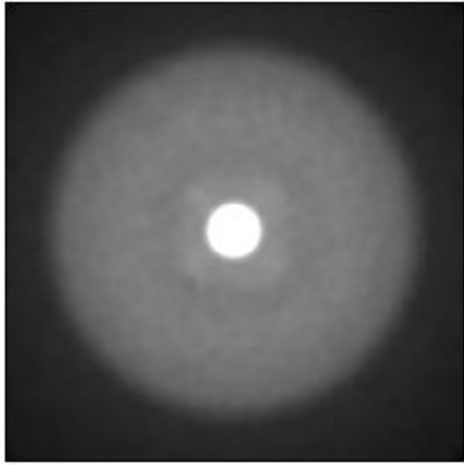
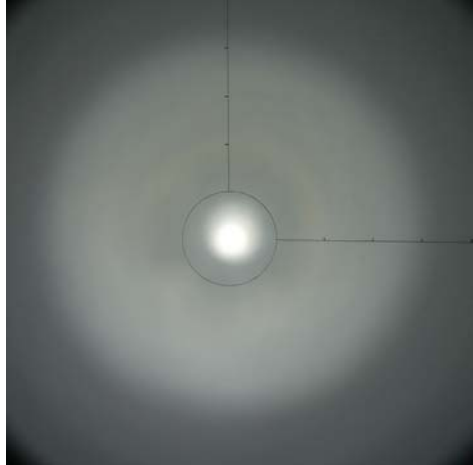
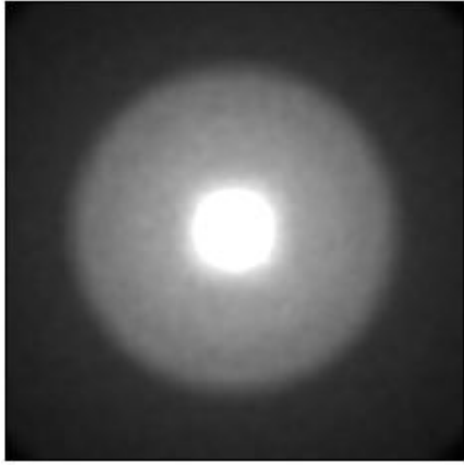
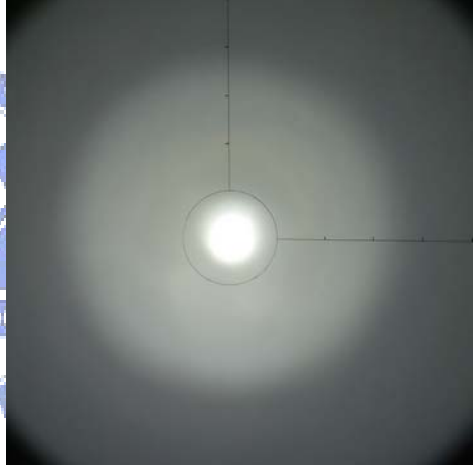
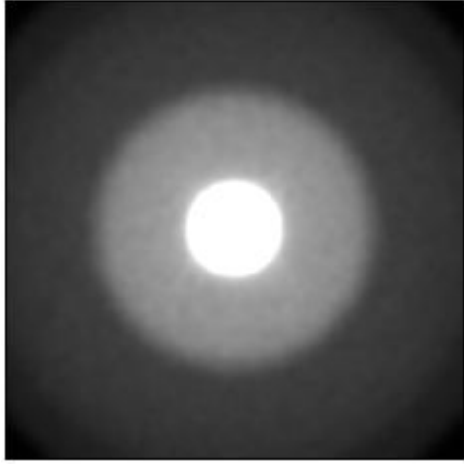
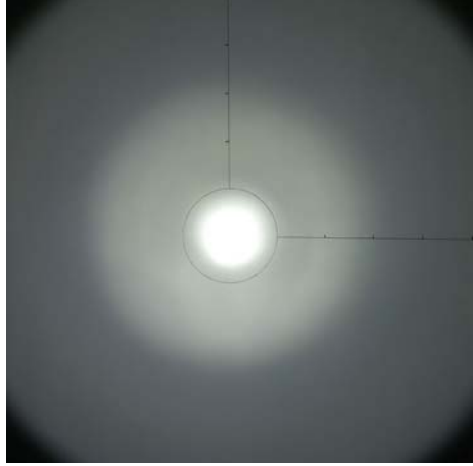
	模擬	實驗
a		
c		
e		

圖 5.1 變焦過程模擬與實驗之照明比較

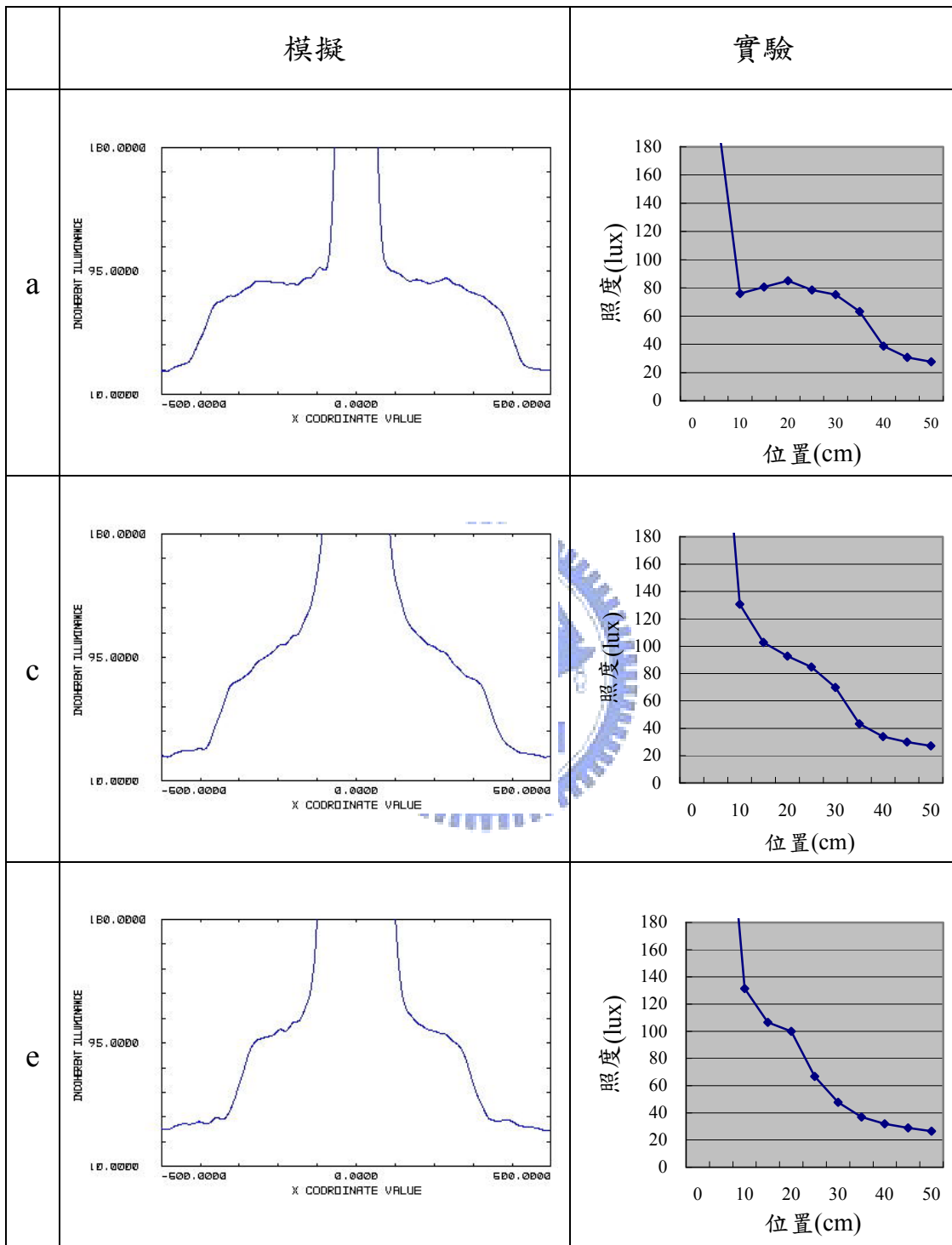


圖 5.2 變焦過程模擬與實驗之截面照度比較

第六章 結論與未來展望

本研究提出新型的照明變焦設計，採用兩個雙曲面反光杯，藉由光源、內外反光杯之間相對位置的關係，達到照明變焦的效果。利用光學模擬軟體 ZEMAX，建立反光杯、光源模型進行模擬，接著運用程式之最佳化功能分別以泛光的均勻性、聚光的效能作為目標，進行曲面參數調整，結果確實達到改進照明效果之目的。再使用自行設計的實驗機台進行實驗，產生與模擬相同的照明變焦，驗證了模擬設計的可行性，並且做了 LED 光型與曲面量測等實驗以討論誤差原因。在這段研究過程中，可得到以下結論：

1. 利用兩個雙曲面反光杯的設計，配合反光杯與光源間相對位置關係的改變，可達到照明變焦的效果。內反光杯與光源的相對運動可形成泛光的變化，外反光杯收集多餘散出之光線，在中央形成聚集的照明區域。
2. 以泛光均勻性以及聚光效能為目標，由於內反光杯的尺寸影響著外反光杯所能控制光的比例，而外反光杯之聚光效果並不會影響泛光品質，因此分別對內、外反光杯的非球面參數做最佳化計算，結果確實提昇了照明的效果。
3. 利用自行設計的機台進行變焦實驗，但是因為 LED 电路板的

關係，光源無法完全達到模擬時的位置，因此僅進行前半段變焦的測試。結果證明實驗與模擬相符，以所得之趨勢可推測若 LED 能更進入內反光杯，將能達到更聚光之效果，因此系統為合理之設計。

4. 實驗可能發生的誤差包括 LED 光型、曲面加工、表面處理、機構運動形成的誤差等，這些條件在本研究中皆為可接受範圍，因此實驗的結果可信度高。

綜合上述，證明利用雙反光杯達成照明變焦功能為可行，所以亦申請了專利，詳細請見附錄 C。

在未來展望方面，本研究中針對新型的照明變焦設計進行光學模擬，以及實驗驗證了正確性，但在實用化的過程，還需要一些更深入的考量，包含以下幾點：

1. 由於實際 LED 無法更進入內反光杯，因此須回到設計階段，調整光源可移動的距離與反光杯的非球面參數，重新進行模擬與最佳化，以便再與實驗進行驗證。
2. 反光杯目前使用二階非球面之雙曲面，將來可嘗試高階非球面參數的設計，或許可達到更好的照明效果。
3. 由於反光杯製造時表面處理的關係，光線反光過程會有一定的損失，因此未來可採用拋光後鍍反射膜等較佳的處理方

式，以降低能量的損耗。

4. 目前變焦過程元件間的運動為等間距分佈，因此形成之變焦照明範圍，並非最符合使用需求的變化情況。因此將來可由實驗與模擬的配合，找到最好的變焦變化，得到元件間相對運動的位移、速度關係。
5. 以設計實際可用之手電筒為方向，進行可變焦手電筒之設計，範圍包含了縮小反光杯的體積，利用凸輪機構來控制元件相對運動的速度，以及電子元件的設計等。
6. 本研究提出的變焦照明設計，優點在於使用少量元件而達成高品質的變焦照明效果，調整範圍相當大，且體積小，除了手電筒外，尚可運用於其他的照明設備，例如探照燈、室內照明、路燈、車燈等，具有很好的發展空間。

參考文獻

- [1] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M.O. Holcomb, M. J. Ludowise, Illumination With Solid State Lighting Technology, IEEE Journal on Selected topics in quantum electronics, vol. 8, no. 2, March/April 2002.
- [2] Unite State Patent number: 4101957, July 18, 1978.
- [3] Unite State Patent number: 4388673, June 14, 1983.
- [4] Unite State Patent number: 4987523, January 22, 1991.
- [5] Unite State Patent number: 5171086, December 15, 1992.
- [6] Unite State Patent number: 6986593, January 17, 2006.
- [7] Jenkins and White, Fundamentals of Optics, 4th edition, McGraw Hill, 1981.
- [8] Milton Katz, Introduction to Geometrical Optics, 1st edition, World Scientific Publishing, 2002.
- [9] Warren J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd edition, McGraw Hill, 2000.
- [10] 李榮彬，杜雪，張志輝，自由曲面光學設計與先進製造技術，香港理工大學先進光學製造中心，2005.
- [11] 國家實驗研究院儀器科技研究中心，光機電系統整合概論，2005.
- [12] Alexander D. Ryer, The light measurement handbook, 1991.
- [13] 台灣歐斯朗 <http://www.osram.com.tw/>
- [14] 許招庸，現代照明實務，初版，全華科技圖書，1998.
- [15] 陳建隆，發光二極體之原理與製程，初版，全華科技圖書股份有

限公司，2006.

[16]孫培真，新世代節能環保照明，生活科技月刊，38 卷第七期，2005.

[17]Maglite http://www.maglite.com/index_flash.asp

[18]flashlightreviews <http://www.flashlightreviews.com>

[19]CREE <http://www.cree.com/>

[20]Focus Software, ZEMAX Optical Design Program Users Guide.

[21]Lumileds <http://www.lumileds.com>

[22]David Jenkins, and Mark Kaminski, “Using Computers to Design Nonimaging Illumination Systems”, SPIE Vol. 3130, pp. 196-203, July 1997.



附錄 A 利用 Damped Least Square 最佳化演算法

ZEMAX 之最佳化演算法在 Orthogonal Descent(OD)功能發表之前，Damped Least Square(DLS)為最常用的方法。非序列光學模擬的目標函數通常不只一個極值，需透過全域最佳化求解，且常常發生資料變化無變動，或者突然快速變化且不連續的狀況，對於利用梯度求解的最佳化演算法相當不利。OD 演算法的步距較大，不計算梯度而使用非連續的資料進行運算，因此可提升非序列分析在最佳化計算時的效率。相對地 DLS 對於序列性分析的連續資料，具有很好的功效。然而針對不同系統與分析對象，演算法的運用並非絕對，因此本研究也嘗試使用 DLS 進行最佳化的計算。

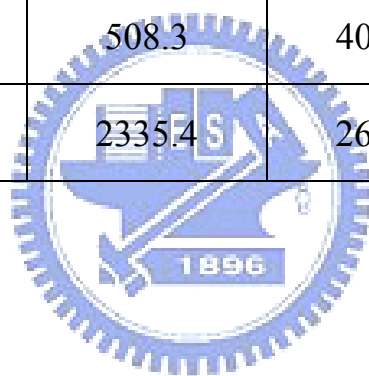
使用同樣的初始系統與目標函數，使用延伸 DLS 的全域搜尋演算法進行最佳化計算。圖 A 1 為最佳化前後之照度圖，可見對於中央聚光區的範圍有明顯增加，由圖 A 2 之截面照度比較圖，也可看到聚光的範圍擴大的情況，不過泛光的均勻性仍然未有顯著改變。表 A 1 裡整了透過 OD 演算法與 DLS 演算法所得之結果，比較最大照度間的關係，表示 OD 的結果犧牲了 A 焦段的數值而大幅提升了 B、C 焦段的最大照度，相對 DLS 同時提升三個焦段的數值，但使得最大照度和另一演算法的結果有一段差距。

使用求得之反光杯參數，進行實驗，對照模擬結果於圖 A 3。實

驗圖形之泛光區與散光區之交界處模糊，整體來說泛光的範圍較模擬大，均勻性較模擬圖稍差，中央聚光區的範圍較小，因此可能是反光杯的表面處理不佳，但仍然可看出變焦過程泛光縮小，中央聚光漸強的趨勢。

表 A 1 變焦過程最大照度值比較

焦段	A	B	C
最佳化前(lux)	121.6	2407.3	2457.3
OD 最佳化後(lux)	508.3	4053.0	4045.2
DLS 最佳化後(lux)	2335.4	2643.9	2547.0



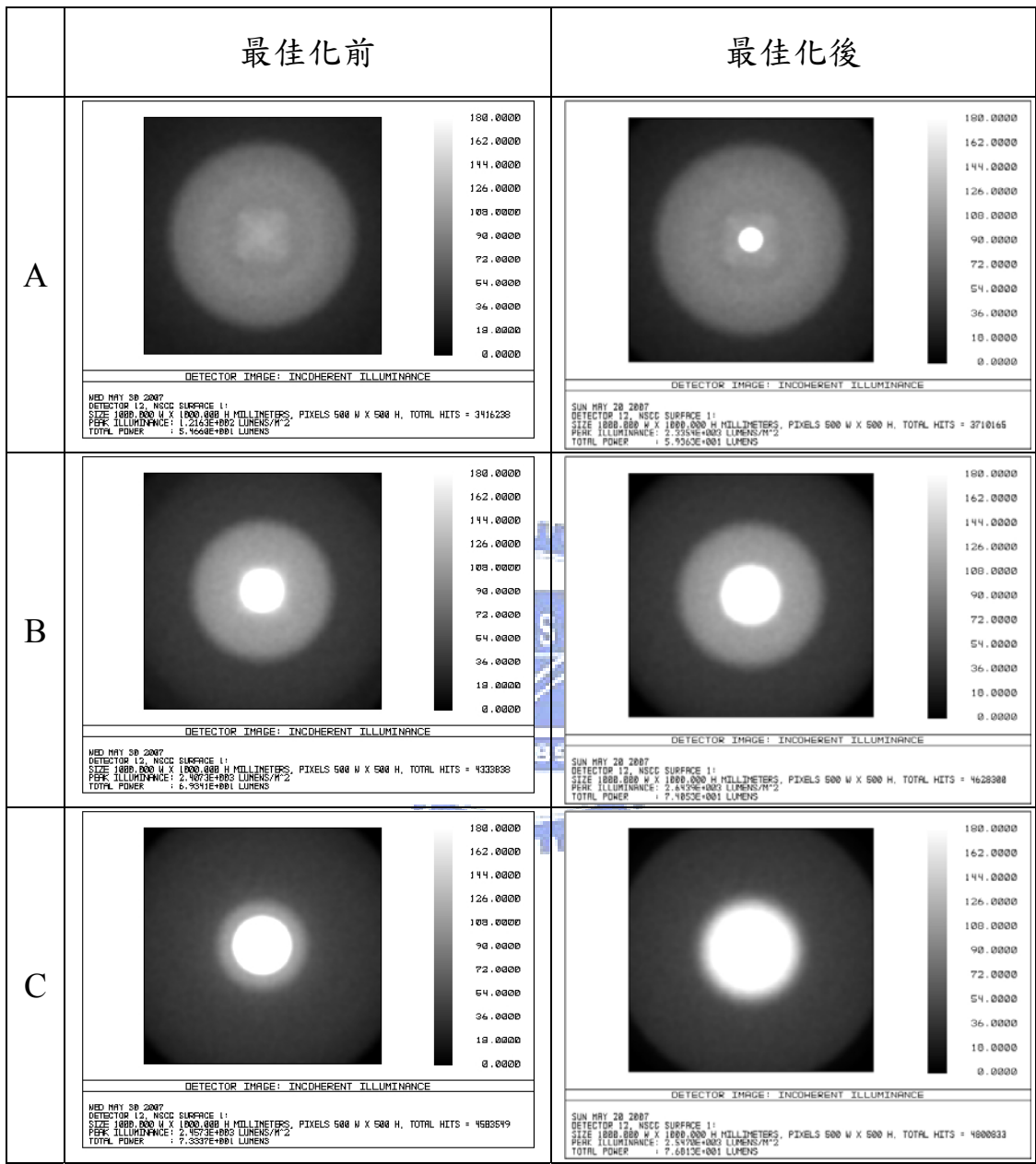


圖 A1 DLS 最佳化前後照度圖比較

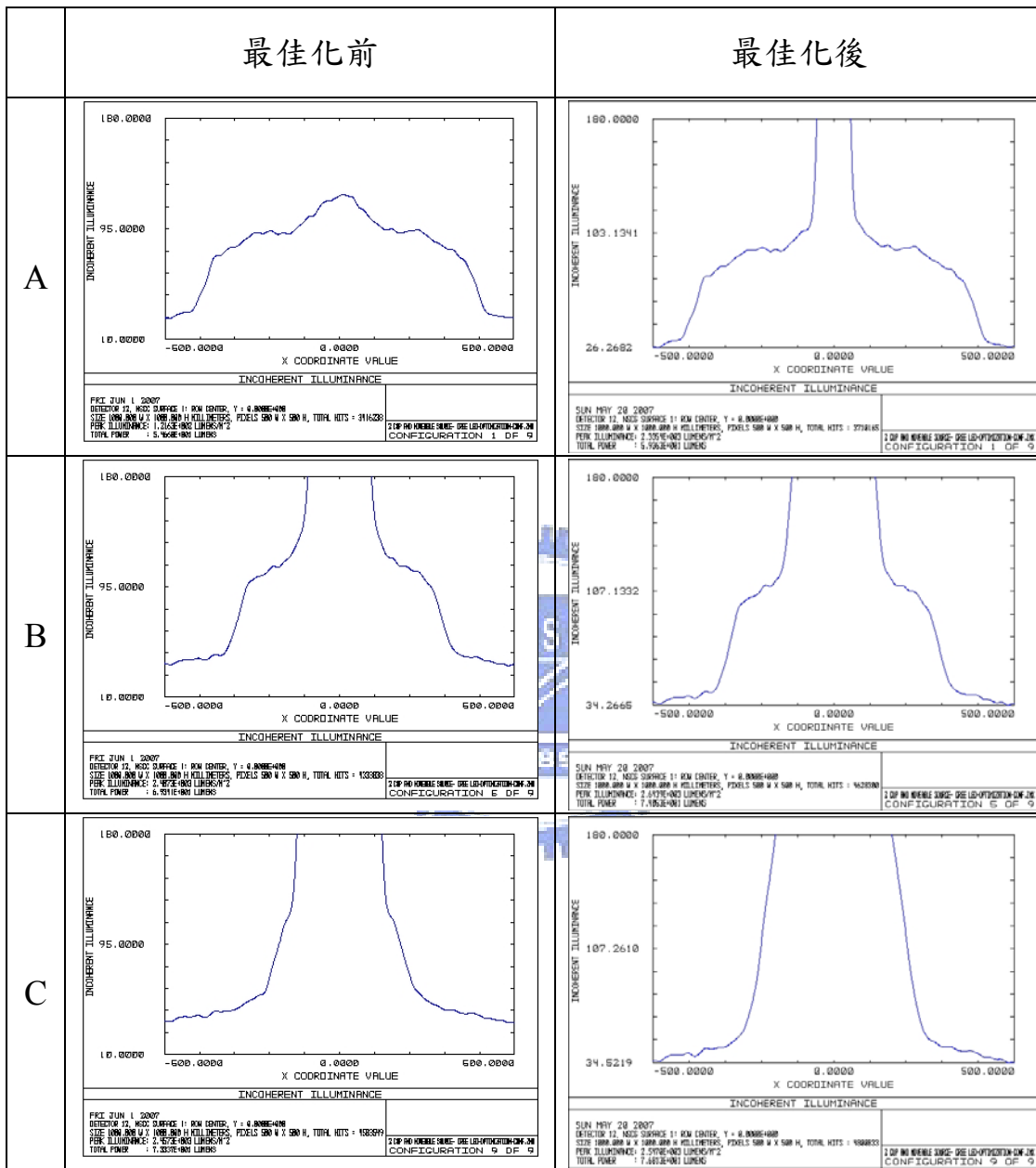


圖 A2 DLS 最佳化前後截面照度比較

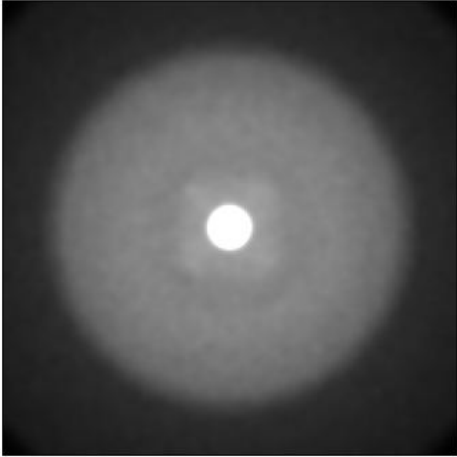
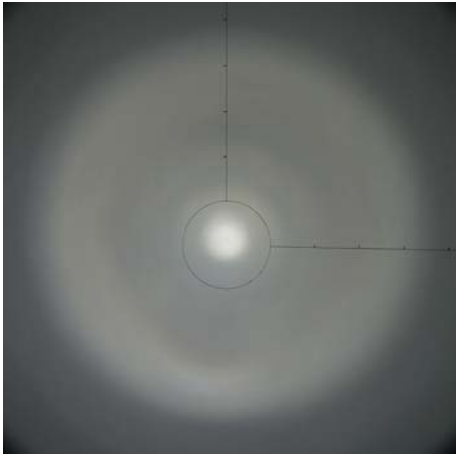
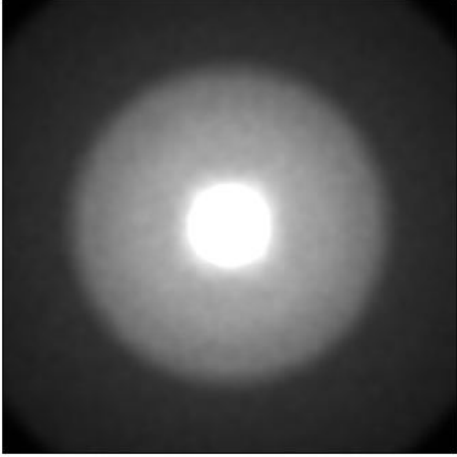
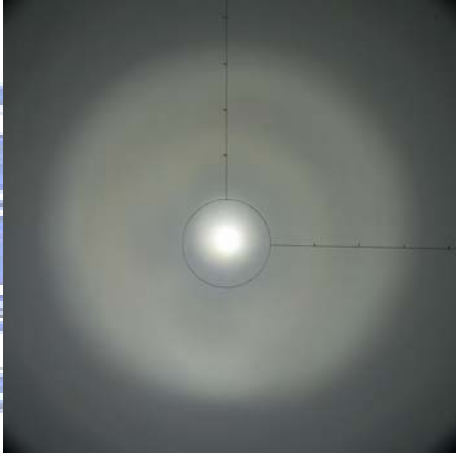
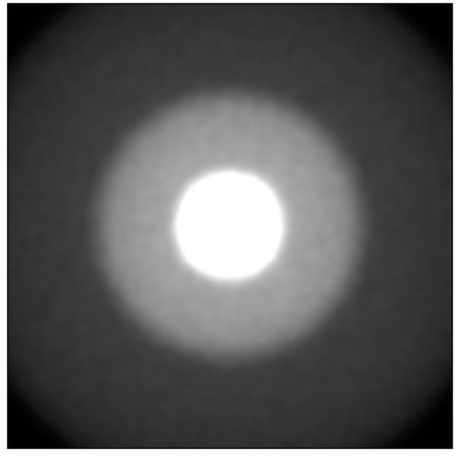
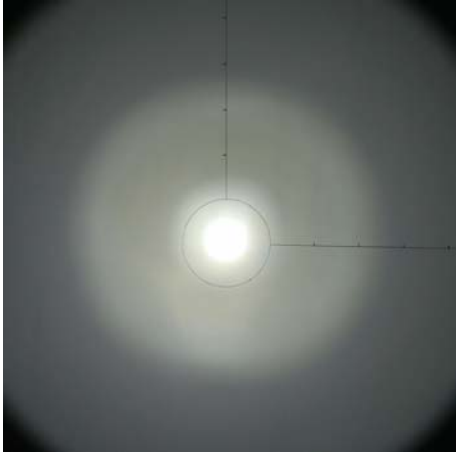
	模擬	實驗
a		
c		
e		

圖 A3 變焦過程 DLS 模擬與實驗照明比較

附錄 B 使用 Lumileds LED 設計

Lumileds 為美國著名的 LED 廠，在此利用本研究之設計方法，改用其 LED 作為光源，進行討論。接下來使用 Luxeon I 系列之型號 LXHL-MW1D LED 作為光源，進行光學模擬、最佳化、實驗以誤差討論。

圖 B 1 為最佳化前後之照度圖比較，第一焦段中央附近差發生較不連續的照度分佈，進行內反光杯的最佳化提升均勻性，稍微降低這樣的情況，但未能完全消除。第二、第三焦段的中央聚光區周圍與泛光間的過渡區照度變化緩慢，透過外反光杯的最佳化，結果使得過渡區較不明顯，且提升了泛光區的整體照度。因此最佳化運算的結果的確使得設定的目標發揮作用。

模擬與實驗之結果比較如圖 B 2，截面照度比較如圖 B 3 所示，泛光在三個焦段的實驗圖形均較模擬範圍小，但隨距離的改變較為連續，完整性較佳；中央的區域可看出較亮的聚光範圍，但集中的效果不明顯，如表 B 1 比較實驗與模擬之最大照度，實驗值遠低於模擬值。整體來說，實驗與模擬的圖形存在著一定的差異性，但仍然具有改變照明範圍的變焦趨勢。

表 B 1 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗最大照度比較

焦段	a	c	e
模擬(lux)	1044.3	1403.4	1408.0
實驗(lux)	177.5	372	547

為了討論可能的誤差原因，進行 LED 光型實驗，結果如圖 B 4 所示，藍色曲線為模擬所使用之光型，紫色曲線為實際量測之 LED 光型，發現在 25°至 35°範圍內實際發光強度低於模擬之設定值，其餘範圍實驗值較理想值高，兩者的趨勢不完全相同。使用三次元量測儀量測內、外反光杯的形狀結果如圖 B 5 與圖 B 6，兩者在較低位置接與理論值有誤差，表示在 CNC 加工、表面處理時使得反光杯的形狀發生偏差。綜合以上結果，可推論使用 Luxeon I 之設計，其光源、反光杯與理想的模擬條件皆有一定的誤差，而使得實驗與模擬的比較結果不完全相符

雖然討論的結果不令人滿意，但依然可證明利用本研究提出出雙反光杯設計，可達到照明變焦的效果。比較 CREE XR-E 與 Luxeon I LED 作為光源進行設計過程，由於 Luxeon I 的光型分佈較 CREE XR-E 寬，即相同的發射角度下相對強度較強，且角度越大此差異越大，使得 Luxeon I 的照明，在泛光的均勻性上無法達到使用 CREE XR-E 之良好結果，因此本研究採用 CREE XR-E 作為主要研究對象。

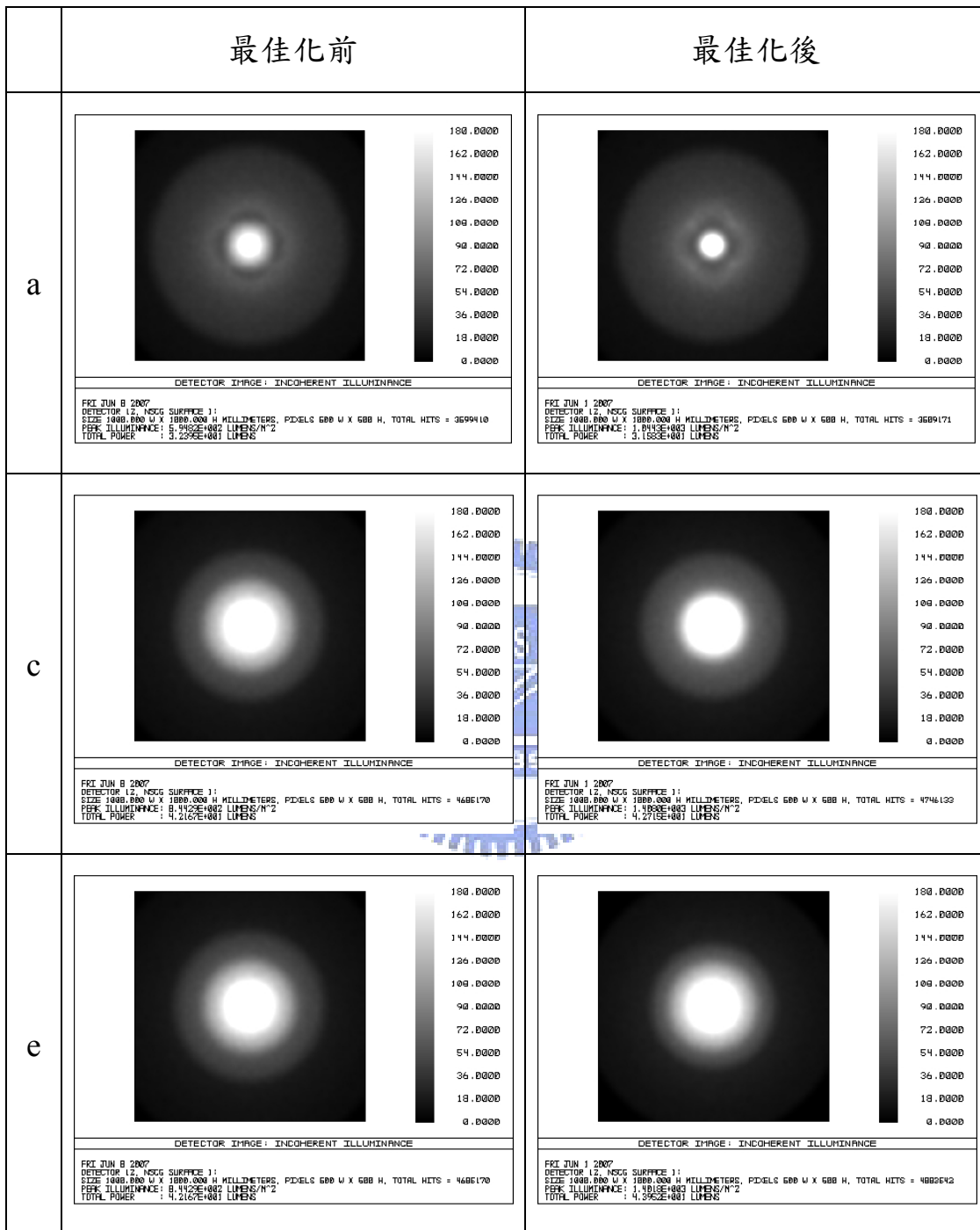


圖 B 1 使用 Luxeon I 設計之最佳化前後照度圖比較

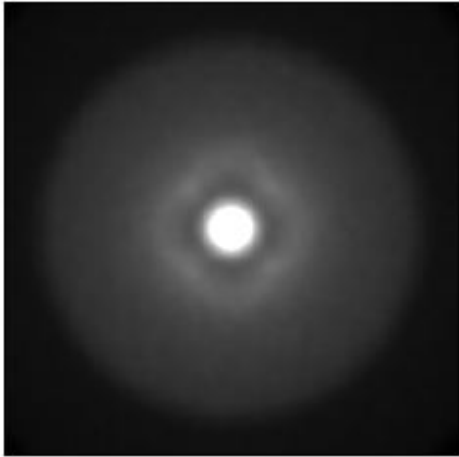
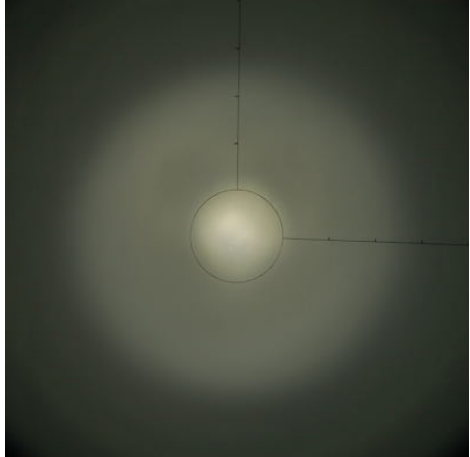
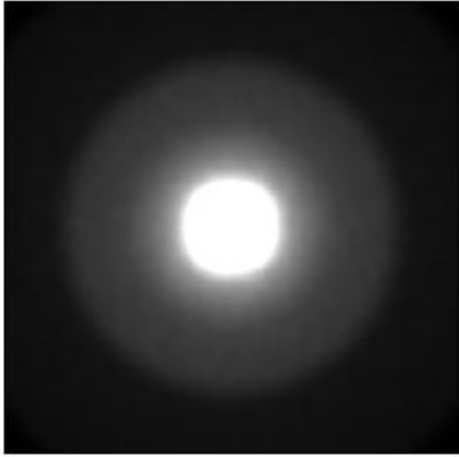
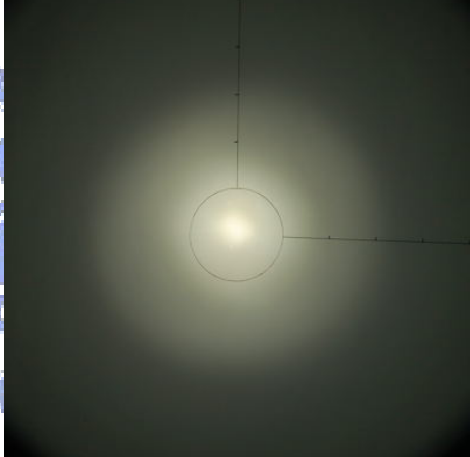
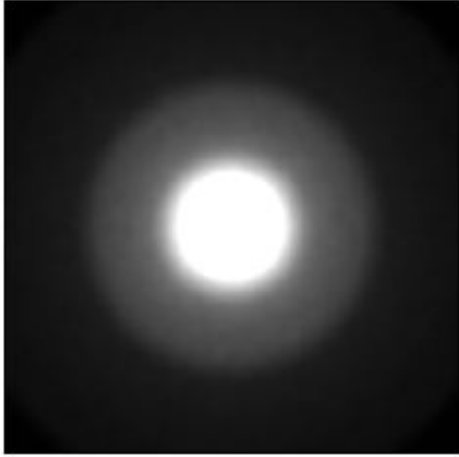
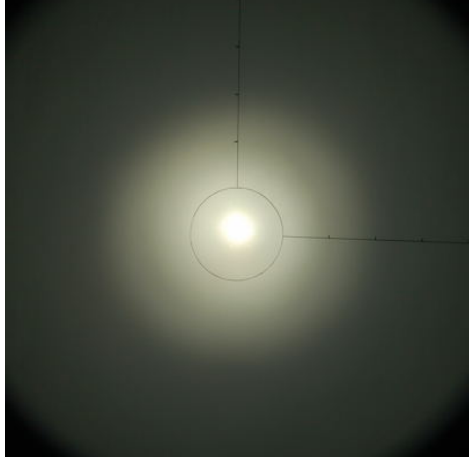
	模擬	實驗
a		
c		
e		

圖 B 2 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗照明比較

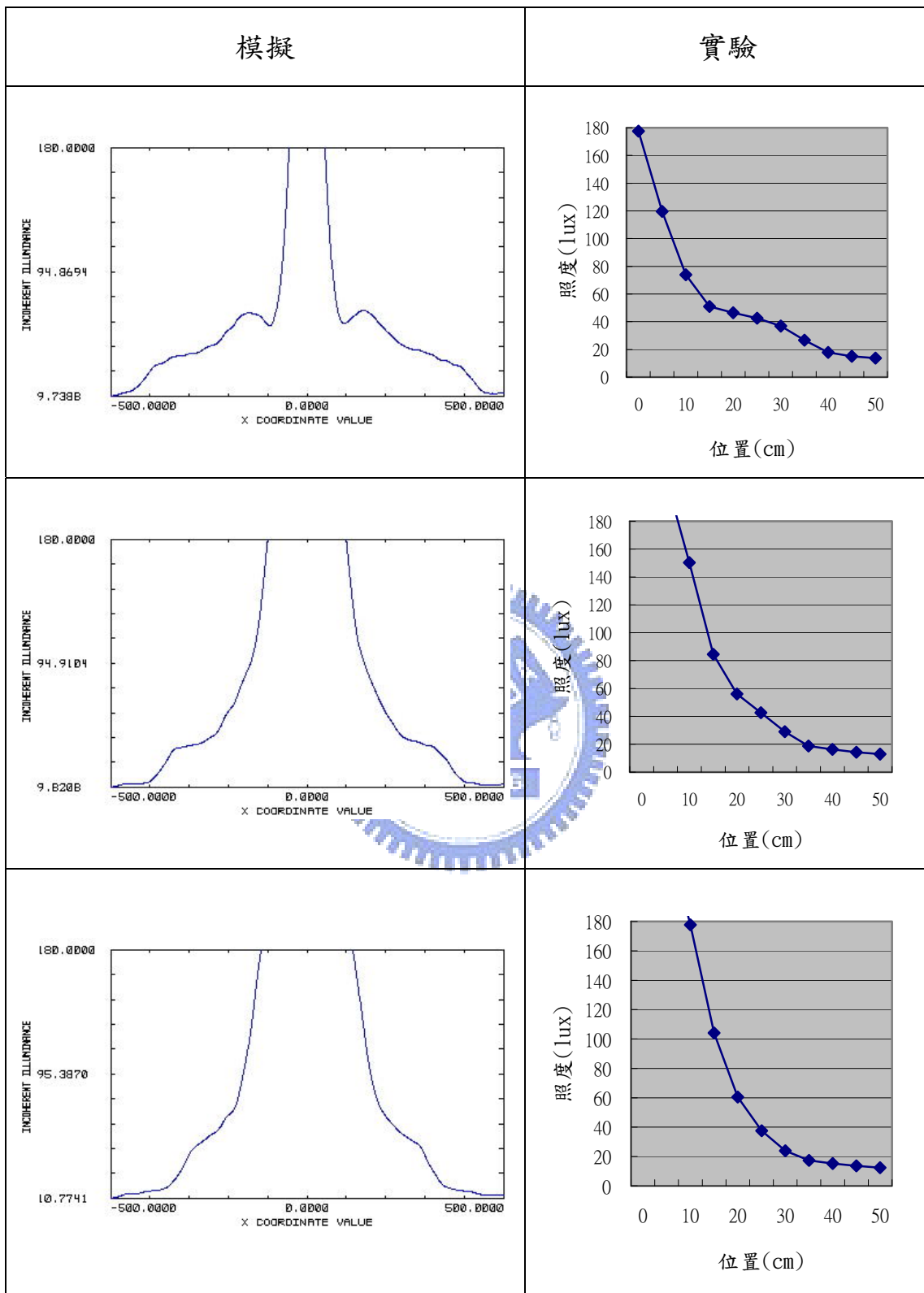


圖 B 3 使用 Luxeon I 設計之模擬與實驗截面照度比較

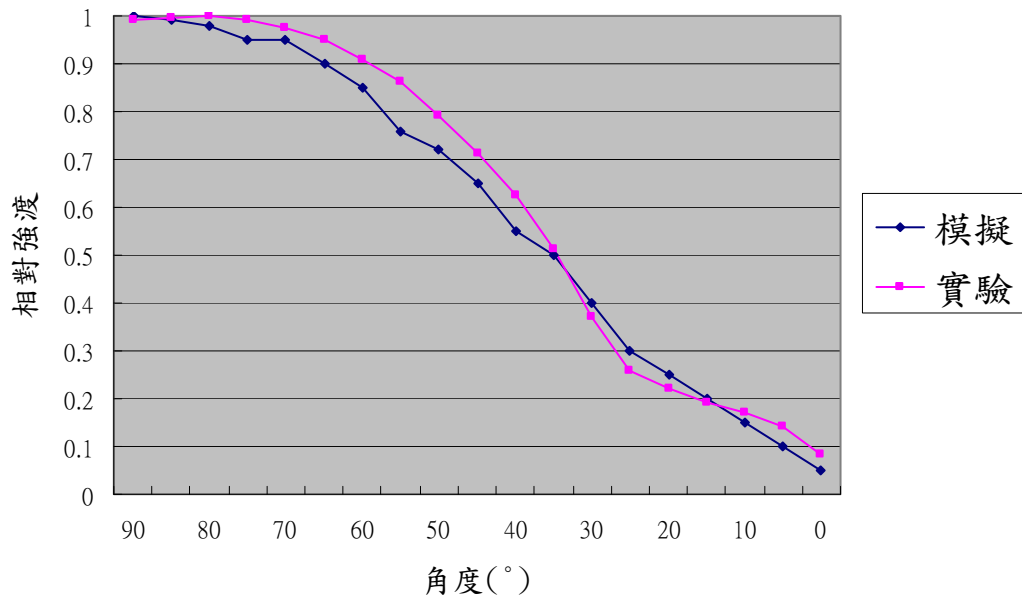


圖 B 4 Luxeon I LXHL-MW1D 光型模擬與實驗比較

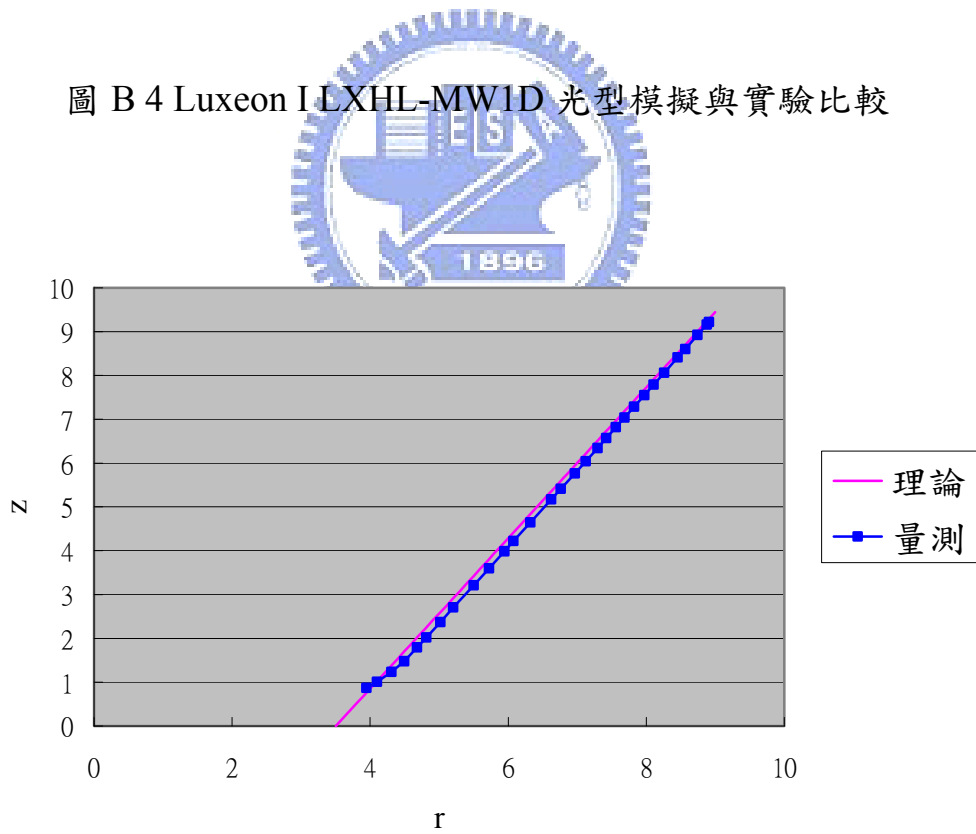


圖 B 5 使用 Luxeon I 設計之內反光杯量測

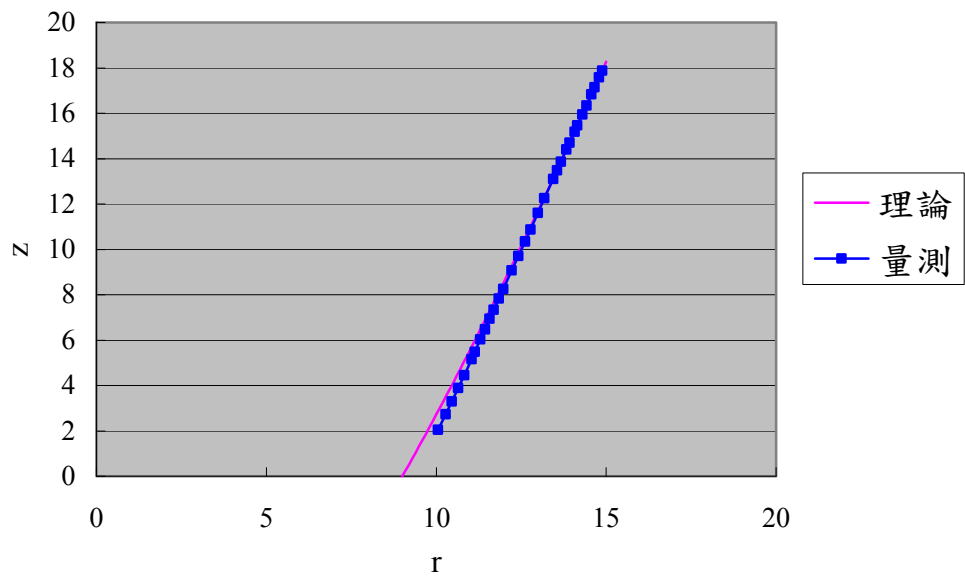


圖 B 6 使用 Luxeon I 設計之內反光杯量測



附錄 C 中華民國新型專利說明書

新型專利說明書

※ 申請案號：

※ 申請日期：

※IPC 分類：

一、新型名稱：(中文/英文)

可變焦的照明設計/Illumination Design with zoom function

二、申請人：(共 3 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

1. 蔡彥彬/ TSAI, YEN-PIN ID : F125720689

2. 洪景華/ HUNG, CHING-HUA ID : M120161292

3. 洪榮崇/ HUNG, RONG-CHONG ID : R121408403

代表人：(中文/英文)

住居所或營業所地址：(中文/英文)

1. 新竹市大學路 1001 號交通大學工程五館 408 室

2. 新竹市建中一路 25 號 16 樓之 1

3. 台中市永平路 385 號

國 籍：(中文/英文) 申請人 1,2,3 皆中華民國/Taiwan

三、創作人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 蔡彥彬/ TSAI, YEN-PIN ID : F125720689

2. 洪景華/ HUNG, CHING-HUA ID : M120161292

3. 洪榮崇/ HUNG, RONG-CHONG ID : R121408403

國 籍：(中文/英文) 創作人 1,2,3 皆中華民國/Taiwan

四、聲明事項：

主張專利法第九十四條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第一百零八條準用第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第一百零八條準用第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第一百零八條準用第二十九條第一項國內優先權：


【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】



五、中文新型摘要：

本創作為一種照明設計，具變焦的功能。此設計包含一個光源，一個內反光杯與一個外反光杯，置於同一光軸上，內反光杯、外反光杯都具有特殊的反射曲面，藉由光源、內反光杯、外反光杯在光軸上的相對移動，可發散光線形成大範圍且完整的照明，也可聚集光線形成強烈的光束，或是提供兩極端間的照明。本創作提供良好的照明效果，具有可改變照明範圍大小的變焦功能，且僅需要極小的尺寸就可達成目的，可以節省成本與提高可用性。

六、英文新型摘要：



An illumination design with zoom function is invented. This design comprises a light source, an inner reflector and an outer reflector placed on an optical axis, and the inner reflector and the outer reflector contain reflecting surfaces with special shape. Through the relative movement of the light source, the inner reflector and the outer reflector along the optical axis, this design can either disperse light and then bring large range and complete illumination, or collect light and become powerful beam, or has illumination in between. This invention provides great illumination with the capability of adjusting the size of the illumination region, and achieves the purpose with small dimension to save cost and raise practicability.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（四）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 光源 | 2 內反光杯 |
| 201 內反光杯之特殊曲面 | 3 外反光杯 |
| 301 外反光杯之特殊曲面 | 4 內反光杯反射之光線 |
| 5 光源直接射出之光線 | 7 掠過內反光杯之光線 |
| 9 光線最大的射出角度 | |



八、新型說明：

【新型所屬之技術領域】

本創作是有關一種照明裝置，具有改變照明範圍的變焦功能。

【先前技術】

現今一般的照明技術中，利用反光杯來反射光源所發射的光線，或許再配合透鏡的折射，最後在某範圍內形成所需的照明。根據不同的使用需求，對於照明範圍大小的設計就有所不同，有時需要集中的光束，將光傳播到極遠處，例如燈塔；有時需要擴散的光，照亮大範圍區域，例如室內照明、搜索燈。具變焦功能的照明系統可依照需求來調整照明的範圍，使用同一設備就可形成集中的光束，或是大範圍的照明。因此，可變焦的照明設計節省了空間與成本，著實具有利用價值與研究的需要。

基於此，Chang 在美國專利號 4101957 提出變焦照明設計，利用透鏡組的移動來達成目的，可應用在舞台燈，但是使用透鏡組的缺點為重量太重，且體積太過龐大(圖一)。美國專利號 5171086 提出固定的拋物面反光杯，讓光源在光軸方向移動，達成變焦照明的設計(圖二)，現今大部分的變焦設計採用此方法。然而在光源移動的變焦過程中，拋物面之形狀會使反射光線從光軸的另一半邊射出，且與光軸間的角度越來越大，即光線將遠離光軸而無法聚集在中央，因此照明

的範圍雖然改變，但中央的亮度降低了，而形成空洞的情形。美國專利號 6986593 中的設計利用一個反光杯與一個透鏡，因透鏡的移動來改變光線折射的角度以及反光杯可控制的光量，而達成變焦的效果(圖三)，不過連接透鏡的機構卻會擋住光源發射的光線，因此大大降低了照明的效率。

【新型內容】

本創作之主要目的，是提供一種照明設計，可達成照明調焦功能，且具有良好的效率，及低製造成本。本創作包含一內反光杯、一外反光杯、一光源。內反光杯與外反光杯可以為塑膠、金屬或其他可支撐反光面之材料製成。光源可以為 LED、白熾燈、螢光燈或其他形式之光源。光源置於內反光杯之光軸上，外反光杯可套於內反光杯之外部，且外反光杯之光軸與內反光杯相同。藉由光源及反光杯在光軸上的移動，可調整光線反射的角度，以及兩個反光杯所控制光的比例，而達成變焦效果。

內反光杯為具有發散功能的曲面，光由光源所發射，透過內反光杯反射射出之後，結合由光源直接射出的光，可形成均勻的照明效果，此為泛光。移動光源向前，在內反光面同一位置上之光線入射角變小，反射角也隨著變小，因而射出的光線與水平的夾角變小。當光源移動一定距離後，透過內反光杯反射的光線將大部分水平射出，此為聚光。如此便達成了照明變焦的效果，並且藉由本創作的特殊設計之反光面，反射後之光線，在隨光源移動的過程中，光線將不會從光


軸的另一半邊射出，而是在同一半邊且漸趨近水平的角度射出，即光線將聚集在中央，因此整個過程中將不會產生中央空洞的情形；相較於先前技藝中，使用拋物面反光杯之設計而產生之空洞，本創作具有更優秀之效果。

然而本創作不僅滿足於此變焦效果，期望更提高效率。當光源向前移動，透過內反光杯反射之光可水平射出，但另一部分光，即由光源直接射出者，其所佔的比例也隨之增加，此部分的光形成了更大範圍的泛光，但對於某些使用時機，例如探照燈，要求盡量聚光，而不需要如此大範圍的泛光。因此提出加入一外反光杯的設計，目的在於反射直接射出的光而使之聚集。當外反光杯在光軸上向前移動，通過內反光杯邊緣且直接射出的光，將有越來越多的光打到外反光杯，再透過外反光杯之特殊形狀，使光若打在此反光面上將會以接近水平的角度射出。由此可知，當外反光杯向前移動，越多直接射出的光將會受到外反光杯的反射而變成水平射出，因此泛光照明的範圍逐漸減小，聚光的情形增加。

本創作的優點在於，使用極少的元件而達成高品質的照明效果，可調整的照明範圍相當大，同時具有均勻、聚集、高效率的照明效果。並且在實際生產時，不像透鏡的設計需要高成本的材料費用和成形費用，且需透過研磨、拋光的程序才能達到良好的透光性，因此本創作在節省成本上具有極大的優勢。本創作可應用在車燈、手電筒、探照燈與其他的照明器具等。

【實施方式】

參考第四圖，光源(1)可為 LED、白熾燈或其他不同類型的光源，內反光杯(2)置於光源前方，其具有反光功能的特殊曲面(201)，例如雙曲面或其他曲面。外反光杯(3)具有反光功能的特殊曲面(301)，例如雙曲面或其他曲面。外反光杯之小開口大於內反光杯之最大外徑，因此外反光杯可套於內反光杯。由光源(1)所發射，光線(4)交曲面(201)於(P)點，在曲面(201)上發生反射而射出。此時曲面(201)為發散功能，因此光線(4)與其他射向曲面(201)之光線，被反射後其與水平的夾角皆大於零度。光線(5)為光源所發射，不受內反光杯(2)反射的光，其與內反光杯(2)反射之光結合後，可在前方形成大面積且均勻的照明。



當光源(1)向前移動，如第五圖所示，由光源(1)所發射，光線(6)交曲面(201)於(P)點，在曲面(201)上發生反射而射出，相對於圖一，此時由於入射角減小，反射角也跟著減小，因此所有透過曲面(201)反射的光線與水平之夾角將趨近於零度，即發揮光集中的效果。光線(7)定義為剛好掠過內反光杯(2)之最外緣，不受內反光杯(2)反射之光線，因此光線(7)與水平的夾角可定義最大的光線射出角度。在光源(1)移動之前光線(7)與水平的夾角為第四圖中標號 a，光源(1)移動之後夾角為第五圖中標號 b，且 b 大於 a，即光直接射出的角度增加，因此最大照明的範圍也增大了。然而有些場合下，並不需要如此大的照明範圍，例如探照燈，因此本創作再提出進一步縮小照明範圍且增加效率的設計。

當外反光杯(3)向前移動，如第六圖所示，外反光杯(3)具有特殊

曲面(301)將光源(1)發射至此的光，透過反射將之射出，且與水平的夾角極小。掠過內反光杯(2)外緣的光線(7)，將受到外反光杯(3)之反射而水平射出，定義光線(8)為剛好掠過外反光杯(3)外緣之光線，此時光線(8)與水平之夾角定義最大的光線射出角度，標號為 c ，且 c 小於第二圖中標號 b 。因此，當外反光杯(3)向前移動，原本直接射出的光線(7)至光線(8)之區間內之光線，將受外反光杯(2)之反射而水平射出，在前方形成聚集之照明，即收集了邊緣的光而形成集中的光束，縮小了前方的照明範圍，提高了聚光的效率。

移動外反光杯(3)來收集邊緣射出的光，在光源(1)移動變焦的過程中皆可發揮作用。如第七圖所示，光源(1)在變焦過程的任意位置，掠過內光杯(2)的光線(7)，將受到外反光杯(3)之反射而水平射出，光線(8)為剛好掠過外反光杯(2)外緣之光線。因此，當外反光杯(3)向前移動，原本直接射出的光線(7)至光線(8)之區間內之光線，將受到外反光杯(3)之反射而水平射出，在前方形成聚集之照明。

【圖式簡單說明】

第一圖係習知變焦照明設計

第二圖係習知變焦照明設計

第三圖係習知變焦照明設計

第四圖係本創作之第一剖面圖

第五圖係本創作之第二剖面圖

第六圖係本創作之第三剖面圖

第七圖係本創作之第四剖面圖

【主要元件符號說明】

[習知]

第一圖 17 光源；12 第一透鏡；5 第二透鏡

第二圖 28 光源；20 反光杯

第三圖 1 光源；22 透鏡之平面；20 透鏡之半球面；28 反光杯

[本創作]

1 光源

2 內反光杯

201 內反光杯之特殊曲面

3 外反光杯

301 外反光杯之特殊曲面

4 光源移動前 P 點反射之光線

5 光源直接射出之光線

6 光源移動後 P 點反射之光線

7 剛好掠過內反光杯之光線

8 剛好掠過外反光杯之光線

9 變焦前光線最大射出角度

10 光源移動後光線最大射出角度

11 光源與外反光杯皆移動後最大射出角度



九、申請專利範圍：

1、一種可變焦的照明工具，至少含有：

一個光源；

一個內反光杯，光源置於其光軸上；

一個外反光杯，與內反光杯在同一光軸上，可套住內反光杯；

光源、內反光杯、外反光杯可在光軸上相對移動。

2、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中光源可以為不同形式，例如發光二極體(LED)、白熾燈、螢光燈等。

3、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中內反光杯與外反光杯的反射面可以為雙曲面、橢圓面、拋物面、球面或其他非球面之曲面。



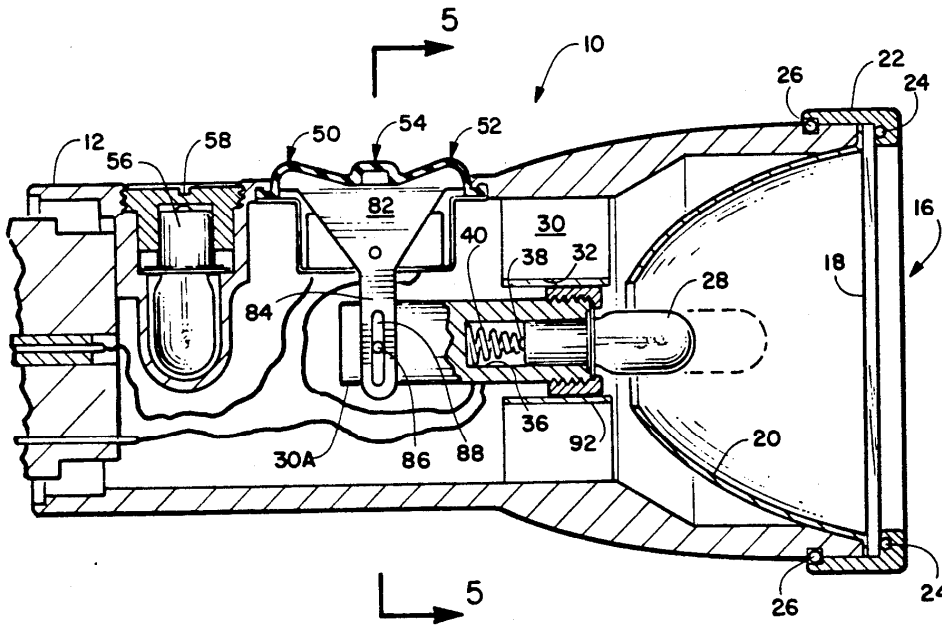
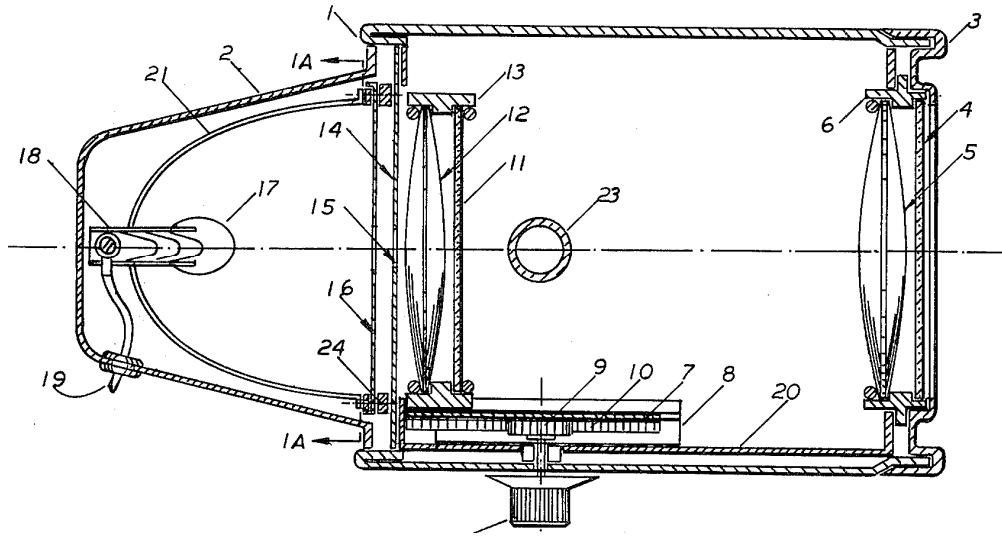
4、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中內反光杯與外反光杯，可以為塑膠、金屬或其他材料製成。

5、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中若光源固定，內反光杯與外反光杯可在光軸上移動。

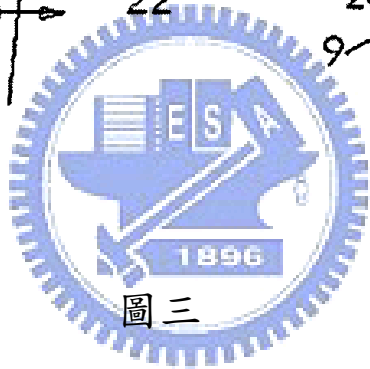
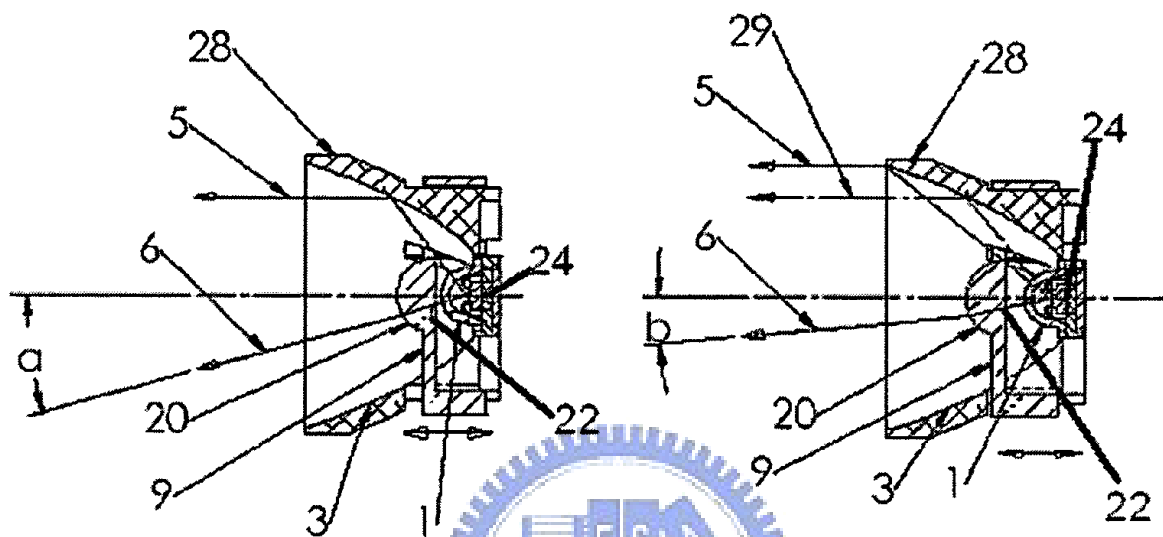
6、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中若外反光杯固定，光源與內反光杯可在光軸上移動。

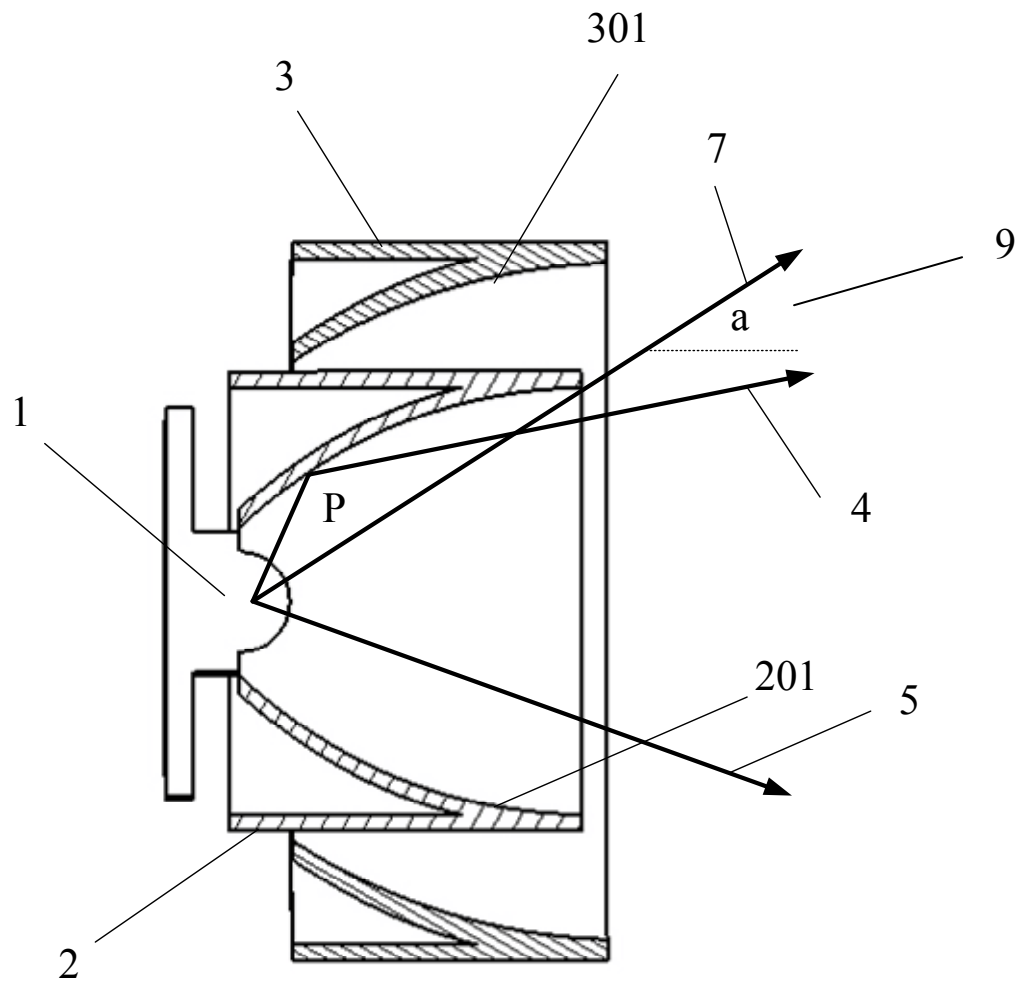
7、如請求項第 1 項所述的可變焦照明工具，其中若內反光杯固定，光源與外反光杯可在光軸上移動。

十、圖式：

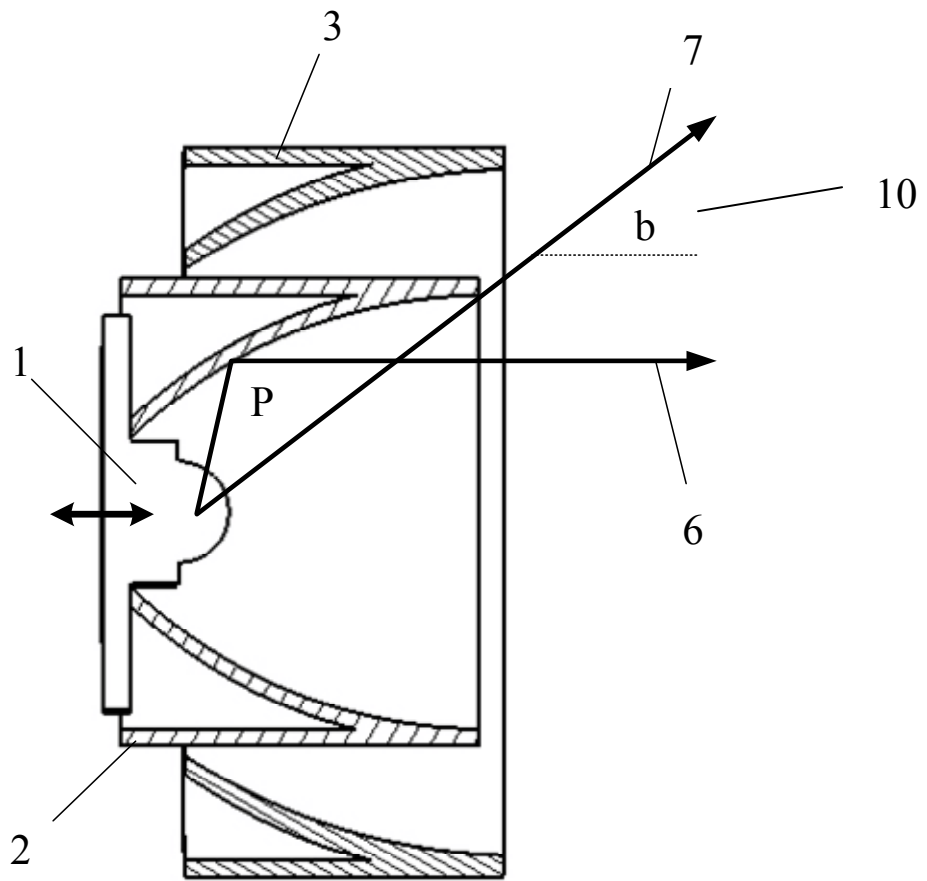


圖二

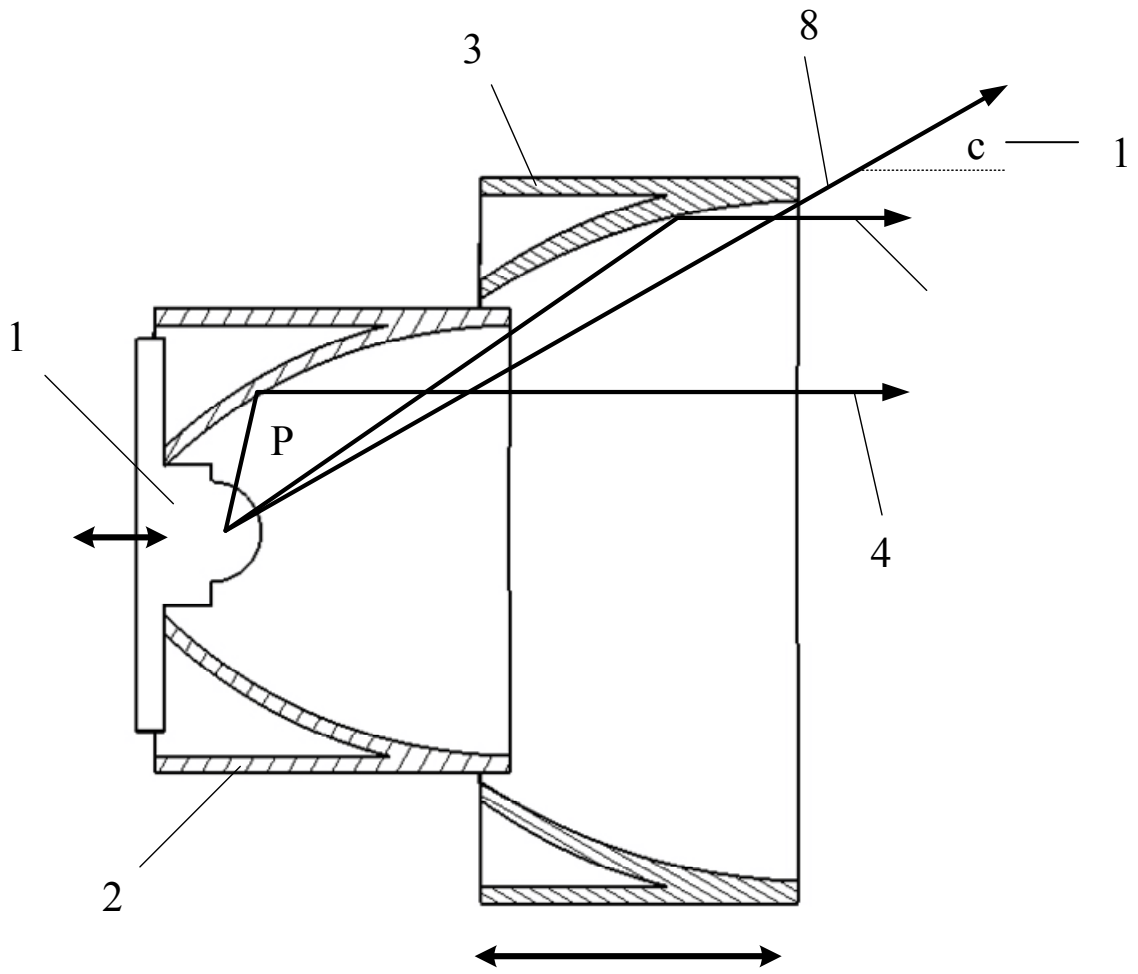




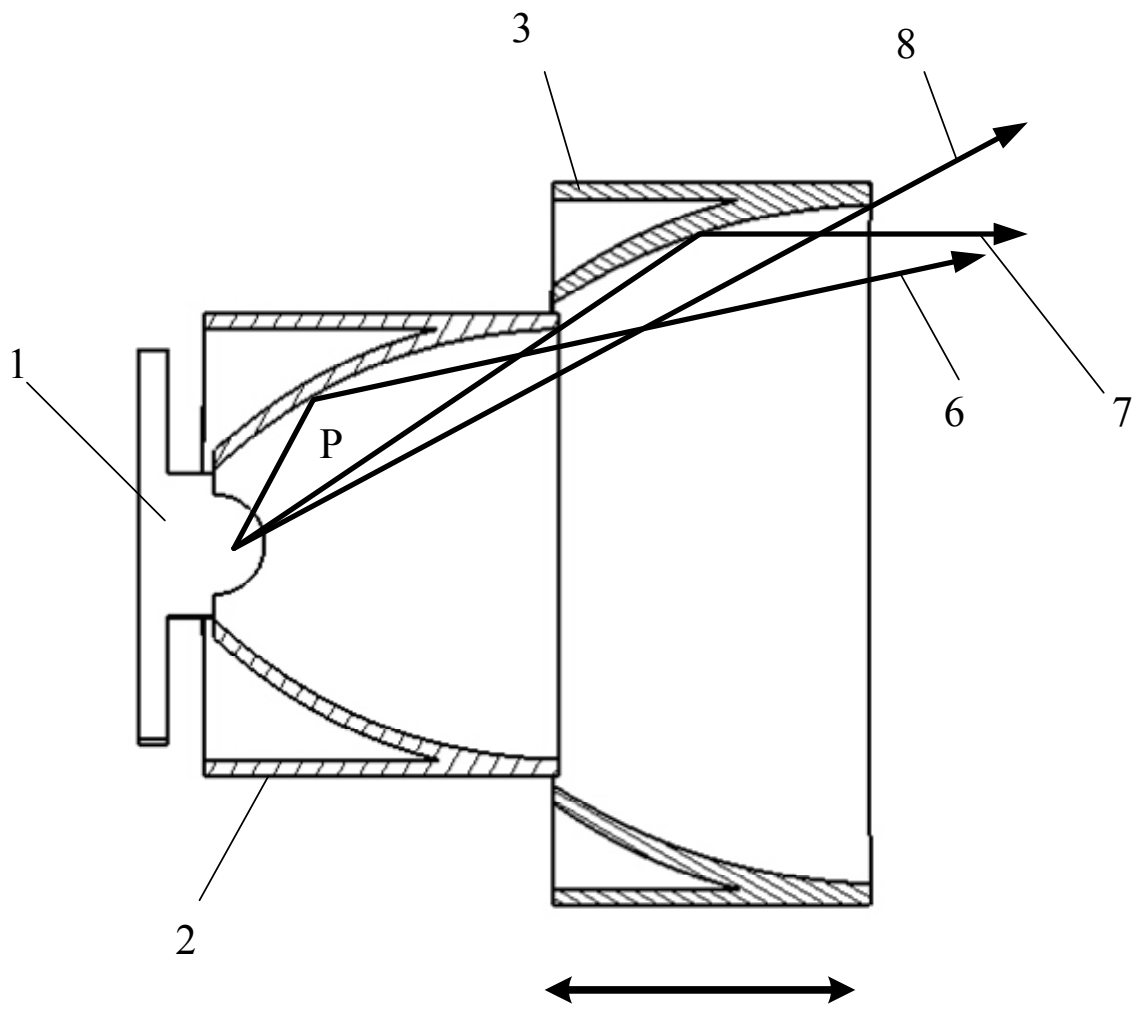
圖四



圖五



圖六



圖七