

# 國立交通大學

## 影像與生醫光電研究所

### 碩士論文



手機閃光燈照明設計

Illumination design of mobile phone flash lens

研究生：洪國展

指導教授：陳志隆 教授

許根玉 教授

中華民國一百零一年七月

手機閃光燈照明設計

Illumination design of mobile phone flash lens

研究生：洪國展

Student：Kuo-Chan Hung

指導教授：陳志隆

Advisor：Jyh-Long Chern

許根玉

Ken-Yuh Hsu

國立交通大學

影像與生醫光電研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute Imaging and Biomedical Photonics

College of Photonics

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Imaging and Biomedical Photonics

July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年七月

# 手機閃光燈光學設計

研究生：洪國展

指導教授：陳志隆

許根玉

國立交通大學影像與生醫光電研究所碩士班



隨著科技不斷進步，發光二極體原本僅能應用於指示信號及景觀裝飾，提升至照明領域。由於磊晶、製程、封裝等整體技術提升促成發光二極體亮度增進。隨著發光二極體為主要光源，發光二極體雖然有高效率、壽命長、反應快速等優點，但發光的區域較小，所以必須加裝其他的燈具，或是陣列排列設計等等。

智慧型手機發展快速，且搭載高畫素的照相鏡頭，為了讓照相鏡頭能夠在惡劣的環境下拍出漂亮的照片，所以必須具備閃光燈，發光二極體達到手機的需求如體積小、亮度夠、耗電量低等優點，發光二極體的照明設計就變得重要。本論文為手機閃光燈照明設計。以目前 HTC 手機作為設計案例，達到設計與產品作為結合。

# Optical design of mobile phone flash

Student: Kuo-Chan Hung

Advisors: Jyh-Long Chern

Ken-Yuh Hsu

國立交通大學影像與生醫光電研究所碩士班

## Abstract



With the technological advancements, the light emitting diodes originally only applied to the indication signal and landscape decoration, upgrade to the lighting field. Epitaxy, process, package, such as the overall upgrade their technology to contribute to the light emitting diode brightness enhance. As light emitting diodes as the main light source, light emitting diodes with high efficiency, long life, fast response, etc., but the light-emitting area is small, it is necessary to install other fixtures, or array arrangement design.

The rapid development of smart phones, and equipped with high-pixel camera lens. Let the camera lens to make beautiful pictures in harsh environments, it must have the flash. Light emitting diodes to achieve the demand for mobile phones such as small size, enough brightness, low power consumption. The light emitting diode lighting design becomes important. This thesis is designed for mobile phone flash lighting. As a combination of the HTC phone meet the design and product design case.

## 致 謝

2010 年入學，踏入一無所知的光學設計領域，認識指導老師陳志隆教授，經過兩年循序漸進的教導，讓我在光學領域中體會到光學設計的奧妙、樂趣，現在能夠獨立完成光學設計案例，感謝老師的諄諄教誨！

在光學設計實驗室中，認識偉宏、柏宇、書正學長、意雯學姐，感謝學長姐們在光學設計中提供寶貴的經驗、設計方法，幫助我在光學設計的過程能夠有更多的激發、創意，謝謝你們。當然還有一起共患難的朋友品儀、明憲、竑瑋、弘胤、進興、志庭同學一起為光學設計案子思考、討論，為 Meeting 報告內容煩惱，我們一起受挫、成長，真高興認識你們，謝謝！

一路上陪伴我的摯友穎哲、明杰、阿翔、文聖、聿耿、惟盛，在我失落的時



候給我鼓勵、幫助，能夠繼續往目標前進，在未來我們要當一輩子的朋友！

家人是寶貴支柱，感謝爸媽能夠提供給我衣食無憂的生活，讓我可以全心全意的往目標前進，感謝弟妹努力上進，讓我不必為你們擔憂，感謝女朋友的幫助、體諒。

**謝謝你們，我愛你們！**

# 目 錄

中文摘要 .....	i
Abstract.....	ii
致 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
第一章緒論.....	1
1.1 照明簡介 .....	1
1.2 發光二極體概述 .....	2
1.3 研究動機.....	5
第二章光學原理.....	6
2.1 幾何光學基本原理.....	6
2.1.1 反射、折射與全反射定理.....	7
2.2 光線追跡.....	9
2.3 光展量(Etendue).....	10
2.4 邊緣光線定理 .....	12
第三章光源規格與使用工具.....	13
3.1 光源規格 .....	13
3.2 Code V 和 Light Tools 工具 .....	16
第四章透鏡設計 .....	17

4.1 光學設計流程 .....	17
4.1.1 專利文獻分析 .....	18
4.2 FH1A 設計目標、機構圖 .....	19
4.3 FH1A 設計思考 .....	22
4.4 FH1A 透鏡設計 .....	26
4.4.1 大角度收光設計 .....	26
4.4.2 中央透鏡設計 .....	31
4.4.3 最佳化設計 .....	37
4.5 FH1B 設計目標、機構圖 .....	42
4.6 FH1B 透鏡設計 .....	44
4.6.1 照度分布設計、最佳化 .....	44
第五章 公差測試 .....	49
5.1 FH1A 公差分析 .....	49
5.2 FH1B 公差分析 .....	56
第六章 設計結果與結論 .....	60
6.1 透鏡設計結果 .....	60
6.2 討論 .....	61
參考文獻 .....	64

## 表目錄

表(3.1-1)電子與光學特性表

表(4.2-1)FH1A 裸光 LED 照度值

表(4.2-2)FH1A 設計目標照度值

表(4.4.2-1)參數設定表

表(4.4.2-2)優化的變數設定

表(4.4.2-3)優化條件設定

表(4.4.2-4)透鏡組合照度值

表(4.4.2-5)中心透鏡照度值

表(4.4.2-6)FH1A 照度數值

表(4.5-1)FH1B 裸光 LED 照度值

表(4.5-2)FH1A 設計目標照度值



## 圖目錄

圖(1.1-1)101 煙火燈光秀

圖(1.1-2)照明產品

圖(1.2-1)產生白光的四種方法

圖(1.3-1)1000 公厘的中心照度與畫素座標圖

圖(2.1-1)A 點至 B 點間不同路徑的假設

圖(2.1.1-1)折射定律

圖(2.1.1-2)折射、全反射現象

圖(2.1.1-3)光的反射路徑圖

圖(2.2-1)以向量型式表現反射定律

圖(2.2-2)以向量的方式表示折射率

圖(2.3-1)光線進入系統傳遞示意圖

圖(2.4-1)邊緣光限定理示意圖

圖(3.1-1)HTC 雙 LED 設計

圖(3.1-2)不同波長強度分布圖

圖(3.1-3)輻射角度分布圖

圖(3.1-4)極化輻射角度分布圖

圖(3.1-5)封裝尺寸

圖(4.1-1)光學設計流程圖

圖(4.1.1-1)設計概念圖

圖(4.2-1)光源與接收器幾何關係圖

圖(4.2-2)兩顆 LED 光源

圖(4.2-3)FH1A 裸光 LED 照度分布

圖(4.2-4)透鏡設計機構

圖(4.2-5)外觀機構、透鏡和外觀機構組合

圖(4.3-1)光進入透鏡的照度分布

圖(4.3-2)光離開透鏡的照度分布

圖(4.3-3)機構阻擋光線

圖(4.3-4)幾何關係圖

圖(4.3-5)大角度的極限在近場下評估

圖(4.3-6)近場下做修正

圖(4.3-7)有效接收器大小

圖(4.3-8)全反射面設計

圖(4.3-9)光線集中在接收器邊緣

圖(4.4.1-1)NSray 當作參考光線

圖(4.4.1-2)第一層收光面照度分布圖

圖(4.4.1-3)第二層收光面

圖(4.4.1-4)全反射設計圖

圖(4.4.1-5)第二層收光面照度分布圖

圖(4.4.1-6)第三層收光面設計

圖(4.4.1-7)第三層收光面照度分布圖

圖(4.4.1-8)第四層收光面建立

圖(4.4.1-9)第四層收光面照度分布圖

圖(4.4.1-10)第五層收光面建立

圖(4.4.1-11)第五層收光面照度分布圖

圖(4.4.1-12)大角度收光設計完成

圖(4.4.1-13)大角度設計照度分布圖、3D 照度圖

圖(4.4.2-1)二維空間分布

圖(4.4.2-2)優化幾何關係圖



- 圖(4.4.2-3)優化照度圖
- 圖(4.4.2-4)中心透鏡建立
- 圖(4.4.2-5)中心透鏡照度圖
- 圖(4.4.2-7)透鏡設計完成
- 圖(4.4.2-8)中央聚光面幾何圖
- 圖(4.4.2-9)另一凸透鏡收光設計
- 圖(4.4.2-10)中心透鏡照度圖
- 圖(4.4.2-11)FH1A 結構圖
- 圖(4.4.3-1)最外全反射層及其照度分布圖
- 圖(4.4.3-2)優化後的照度分布
- 圖(4.4.3-3)再次優化的結果
- 圖(4.4.3-4)FH1A 增益-均勻度座標
- 圖(4.4.3-5)FH1A 雙閃光燈照明設計完成
- 圖(4.4.3-6)FH1A 照度分布、照度數值
- 圖(4.4.3-7)未設計透鏡結構圖
- 圖(4.4.3-8)未設計透鏡出光光照圖與 1000 公厘接收器光照圖
- 圖(4.4.3-9)FH1A 透鏡外接收器位子
- 圖(4.4.3-10)FH1A 加入透鏡出光光照圖、1000 公厘接收器光照圖
- 圖(4.5-1)光源與接收器幾何關係圖
- 圖(4.5-2)兩顆 LED 光源
- 圖(4.5-3)FH1A 裸光 LED 照度分布
- 圖(4.6.1-1)照度分布圖表
- 圖(4.6.1-2)中間加入透鏡後照度分布圖表
- 圖(4.6.1-3)在中間透鏡外加上凸透鏡
- 圖(4.6.1-4)照度分布圖表

圖(4.6.1-5)FH1B 增益-均勻度

圖(4.6.1-6)FH1B 設計完成結構圖

圖(4.6.1-7)FH1B 照度分布圖表

圖(4.6.1-8)FH1B 透鏡外接收器位子

圖(4.6.1-9)FH1B 加入透鏡出光光照圖、1000 公厘接收器光照圖

圖(5.1-1)兩光源 X 方向位移公差

圖(5.1-2)FH1A 兩光源左位移 0.2mm 照度圖

圖(5.1-3)FH1A 光源二向右位移 0.1mm

圖(5.1-4)FH1A 兩光源右位移 0.04mm 照度分布圖

圖(5.1-5)位移接收器位

圖(5.1-6)接收器+17mm 照度分布圖

圖(5.1-7)Y 方向位移公差

圖(5.1-8)透鏡與光源間距離

圖(5.1-9)+0.2mm、-0.2mm 照度分布圖

圖(5.1-10) 光源與透鏡之間角度

圖(5.1-11)+2<sup>0</sup>、-2<sup>0</sup> 照度分布圖

圖(5.2-1)FH1B 兩光源左位移 0.2mm 照度圖

圖(5.2-2)FH1B 兩光源分別向上下位移 0.2mm 照度圖

圖(5.2-3)FH1B+0.2mm、-0.2mm 照度分布圖

圖(5.2-4)FH1B+2<sup>0</sup>、-2<sup>0</sup> 照度分布圖

圖(6.1-1)FH1A 設計結果

圖(6.1-2)FH1B 設計結果

圖(6.2-1)FH1A 規格界線

圖(6.2-2)FH1B 規格界線

# 第一章緒論

## 1.1 照明簡介

照明裝置的光源由燈泡發展到現在的發光二極體，且許多的家電用具、路燈、車燈等等琳琅滿目的照明用具在我們生活之中，在這麼多個照明設備無不是為了讓生活更便利、舒適，但照明不單單只是單單如此，甚至還結合了藝術燈光秀如圖(1.1-1)是一年一度的 101 煙火燈光秀成為藝術的表現之一，可以了解照明與生活是息息相關。



圖(1.1-1)101 煙火燈光秀[1]

照明設備因需求不同所以衍生出許多的產品，大多數照明的目的是為了看清楚被照射的物體，進而提升成像品質，照明設計常常利用改變光場分布、傳遞的能量、及改變行進方向，達到設計目的，如圖(1.1-2)車頭燈、位置指示燈等等為市面上常見的照明產品，在使用效率上我們必須做到最佳化，降低最少能量的消耗，達到最高效率，這是照明設計所追求的目標，也是許多照明設計者所面臨的困境與難題，在未來突破的目標。



圖(1.1-2)照明產品[2][3]

## 1.2 發光二極體概述

近代常使用的光源為發光二極體稱LED(Light Emitting Diodes) 是一種化合物半導體發光元件，其發光原理是利用半導體技術，形成P型與N型半導體，二極體內分離的2個載子(分別為負電的電子與正電的電洞)於空乏區相互結合而產生光。當然LED的作用必須遵守能量守恆定裡，可以藉由製得不同化學成分的半導體材料，其電子、電洞所佔的能階也隨而不同，能階的高低差將影響結合後光子的能量，能量的不同而產生不同波長的光，如紅、橙、黃、綠、藍光或不可見光(紅外光、紫外光)等，下面關係式可以計算出波長。

波長計算： $\lambda = hc / E_g$

其中 $\lambda$ 為波長， $E_g$ 為能隙值，單位為焦耳(J)， $h$ 為蒲朗克常數，值為 $6.626 \times 10^{-34}$  J×S， $C$ 為光速( $3 \times 10^8$  m/s)。

其發展史，早在1906年第一顆LED問世，以碳化矽(SiC)為基板，由於當時半導體製程技術並不發達，所以發展速度緩慢，至1962年首顆紅光LED，但是效率非常低，所以應用少，70年代以磷化鎵(GaP)、磷化砷鎵(GaAsP)為材料，但發光效率依然是不高，指應用指示燈等用途，90年代以磷化鋁鎵銦(InGaAlP)製作而成，是屬於高亮度的LED，到目前為止，所製作出來的LED發出紅、綠、黃光應用有限如交通號誌、汽車方向燈、剎車燈、尾燈等，缺少三原色中的藍光，無法組合發展出全彩的應用，所以無法在照明方面市場上應用。

來到1994年日本中村休二(Shuji Nakamura)先生在藍寶石(sapphire)基板上成功的成長出高品質的氮化鎵(GaN)薄膜，因而製造出藍光LED，自此之後，才使紅、綠、藍三原色齊全，使得其用途不再被侷限，為下一代新照明光源帶來了一線曙光。

之後又發展出黃光的YAG螢光粉，再搭配藍光LED，調合做出高效率的白光光源，自此以後，白光LED的應用發展，便成為了照明的研發重點，在目前的應用上如白熾燈泡被取代、液晶顯示器之背光源、手電筒、閃光燈、掃描器燈源等，

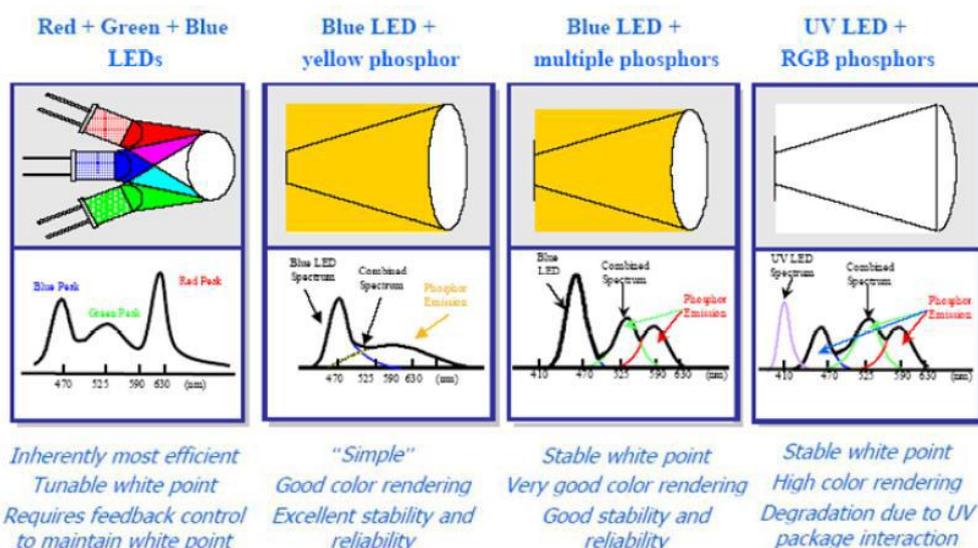
在未來生活中LED的產品會不斷增加，成為新的光源。半導體材料與發光波長、發光色的關係表(1.2-1)。

發光色	發光材料	峰值波長 $\lambda_p$ (nm)
紅色	GaP	700
	GaAlAs	660
	GaAsP	635
	InGaAlP	623
橙色	InGaAlP	620
	GaAsP	610
黃色	InGaAlP	590
	GaAsP	587
	GaP	570
黃綠色	InGaAlP	574
	GaP	565
綠色	InGaAlP	562
	GaP	555
	InGaN	525
藍色	SiC	470
	InGaN	450
	GaN	395

表(1.2-1)發光材料與波長關係表[4]

目前產生白光的方法有四種：1. RGB LED混光 2. 藍光LED激發黃色螢光粉 3. 藍光LED激發多色螢光粉 4. UV(ultraviolet, 紫外光) LED激發RGB螢光粉。

如圖(1.2-1)



圖(1.2-1)產生白光的四種方法[5]

## 1. RGB LED混光

使用紅、藍、綠三種顏色的LED，由這三原色來直接混成白光，其優點為具有較好的混光效率及色溫可調，但由於熱效應對於不同顏色LED，會產生不同的發光效率衰減以及主波長飄移，使得混出來的顏色會有所變化，這是重要的議題。

## 2. 藍光LED激發黃色螢光粉

使用藍光LED 激發黃色螢光粉來產生白光，這是目前市售的白光LED 最常使用的方法，最早是在1996 年由日本日亞公司所提出，具有設計簡單、封裝容易的優點，唯一的缺點在於演色性(colorrendering )略嫌不足。

## 3. 藍光LED激發多色螢光粉

使用藍色LED 激發綠色、紅色螢光粉，這個設計可產生高演色性的白光，且具有容易封裝、高堅固性的優點，但螢光粉的選擇、螢光粉的激發效率及螢光粉的壽命都是這個設計所面臨的最大挑戰，往後研究出相應的方法。

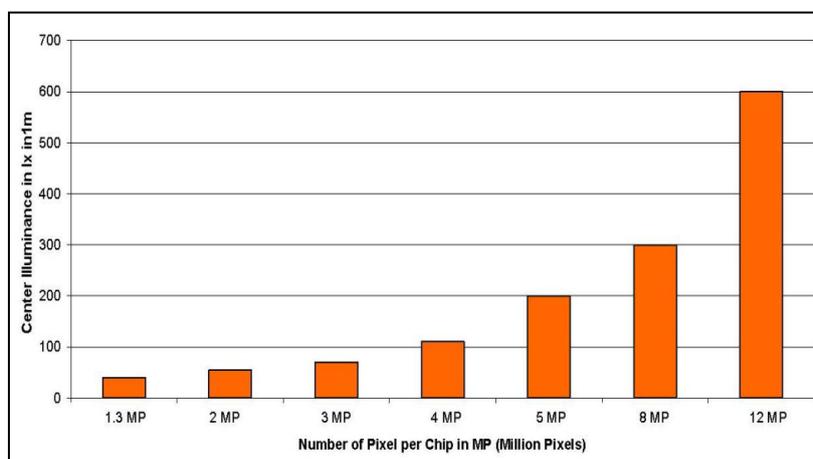
## 4. UV(ultraviolet，紫外光) LED激發RGB螢光粉

使用UV LED來激發RGB螢光粉，具有高演色性、高堅固性及封裝容易的優點，但LED塑膠封裝材質易受到未被螢光粉完全吸收的UV光線破壞，需要再經過研究克服這個問題。

### 1.3 研究動機

早在愛迪生發明白熾燈泡，當時的人們生活型態產生重大改變，是個重要的發明，隨著日光燈、鹵素燈等等照明設備陸續的出現，影響著現在我們的生活，讓我們生活過得更便利、完善，照明設備的發明不單單只是用照明，很多時候會做許多應用，像在很多的街道、建築物、演唱會等等，上面的燈具都是經過精心設計，到了夜晚走在街道上光彩奪目的夜景，在演唱會表演上燈光與音樂的完美結合。數十年來，人們不斷地創新，希望能夠發明更實用、更有效率、更美觀的光源，70 年代發光二極體 LED 出現，經過多年的努力，在技術層面上的問題得到了重大性的突破，使得 LED 將成為這個世紀的新照明光源。

手機也掀起了重大革命，從以前機械式的按鍵，發展成現在電容式觸控式螢幕，從黑白螢幕到彩色，且手機的功能越來越多樣、完備，手機搭載照相鏡頭已經是必備的，照相鏡頭的拍照品質要求越來越高，且在許多惡劣的環境下如何拍出好得照片，所以在手機上裝上閃光燈是必然的，且必須包括體積小、發光效率佳、壽命長、操作反應速度快、可靠度高、不易破損等條件非 LED 莫屬，所以 LED 閃光燈設計變得重要，如何在有限的光能之下，達到最佳的照度分布，且為最有效率的使用是本篇論文主要研究的議題，隨著畫素不同，需要的照度也不同，如圖(1.3-1)距離 1000 公厘的中心照度與畫素座標圖，往後陸陸續續有許多智慧型手機產品問世，使得手機照相鏡頭閃光燈設計會變得重要。



圖(1.3-1) 1000 公厘的中心照度與畫素座標圖[6]

## 第二章光學原理

在光學設計中，無論是成像光學或是非成像光學，背景理論為幾何光學，幾何光學在光學設計中是重要的理論基礎，藉由幾何光學我們可以掌握光的路徑與能量的傳遞方向，光通過不同的介質介面時，產生折射與反射現象，折射可以改變光行徑的方向，遵守折射定律(Snell's law)。

利用幾何光學基礎知識進行光學設計，在光學系統中加入透鏡，以一個會兩個以上的透鏡相互組合，達到設計的目標，使用光學軟體可以進行分析，可以檢視是否有像差等成像品質問題。在照明設計方面，我們要知道光線從光源進入光學系統，隨著光線行進的軌跡，產生折射、反射等現象，然後傳遞到我們要的位子上，在這過程中要知道能量的消耗，影響著照明的照度是否足夠、是否效率良好、分布是否均勻等問題，所以光線追跡是重要的程序。

### 2.1 幾何光學基本原理

由 Fermat's 原理為出發點，然後證明反射定理與折射定理，Fermat's 原理為法國數學家 Pierre de Fermat 在 1657 年所提出，此理論被廣泛的應用在不同領域上，其中在光學的定義為光在任何介質中從一點 A 傳播至另一點 B 時，光會沿著所需時間最短的路徑前進，又稱作極短光程原理或最小時間原理，光程的公式如下：

$$\int_A^B n(s) ds$$

$n(s)$  為所在介質折射率， $s$  為幾何路徑。

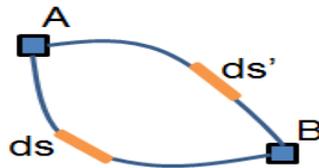
若選擇不同路徑，相同的起始點，則兩條光程差為：如圖(2.1-1)

$$\Delta OPD(\varepsilon) = \int_A^B n ds' - \int_A^B n ds$$

$\varepsilon$  為兩條光線的微小變化差異量，因此我們可以得到：

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\partial OPD(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} = \delta \cdot \int_A^B n ds = 0$$

由上可以知道因為路徑長度  $\int_A^B n ds \neq 0$  因此變異量  $\delta$  必須為零，則兩條路徑必須相同，說明了 Fermat's 原理兩點間走最短路徑的唯一性，最短距離為直線傳播。



圖(2.1-1)A 點至 B 點間不同路徑的假設

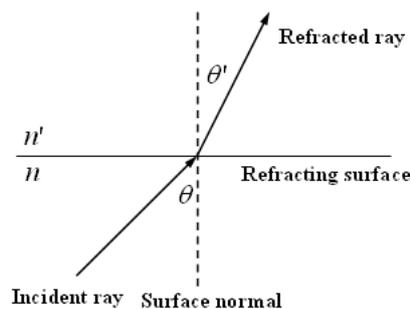
## 2.1.1 反射、折射與全反射定理

### (一) 折射定律

光由一個介質入射不同的介質時，會發生折射與反射現象，在這裡討論折射定律，光進入不同介質會產生偏折，如圖(2.1.1-1)所示，折射光與入射光行進方向改變，亦代表傳遞能量的方向改變，入射光與界面的法線夾角及折射光與界面的法線夾角關係為 Snell's Law 如下：

$$n \cdot \sin\theta = n' \cdot \sin\theta'$$

其中  $n$  與  $n'$  分別為入射光與折射光所在介質中的折射率， $\theta$  為入射光和界面法線的夾角，稱為入射角， $\theta'$  為折射光和界面法線的夾角，稱為折射角。



圖(2.1.1-1)折射定律

由 Snell's law 我們可以掌握住入射光進入不同的介質後行進方向，更可以利用折射將光線往我們要得方向偏折行進，達到光學設計得目標。

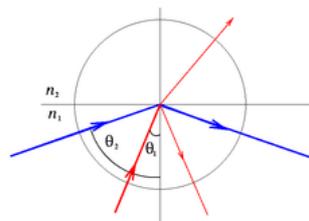
### (二) 全反射定理

全反射現象發在於折射現象的臨界點，假設當入射的角度超過某個極限值，折射角  $\theta'$  超過  $90^\circ$  就不會有折射現象發生，折射  $\theta'$  最大為  $90^\circ$ ， $\sin(90^\circ)=1$ ，則全

部的光會被反射，我們稱此入射角 $\theta$ 為臨界角 $\theta_c$ (critical angle)。臨界角公式計算：

$$\theta_c = \arcsin \frac{n'}{n}$$

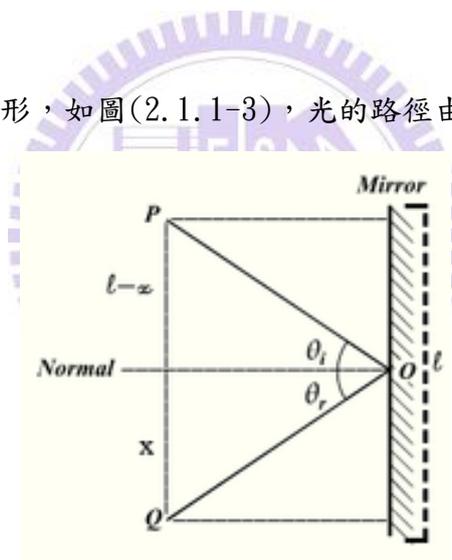
這只會發生在當光線從光密介質（較高折射率的介質）進入到光疏介質（較低折射率的介質），如圖(2.1.1-2)所示，紅色入射角較小為折射現象，藍色入射角大過臨界角為全反射現象。



圖(2.1.1-2)折射、全反射現象[7]

### (三)反射定律

使用相同方式於反射情形，如圖(2.1.1-3)，光的路徑由P點至Q點。



圖(2.1.1-3)光的反射路徑圖[7]

由光的反射基本定理：

$$\theta_i = \theta_r$$

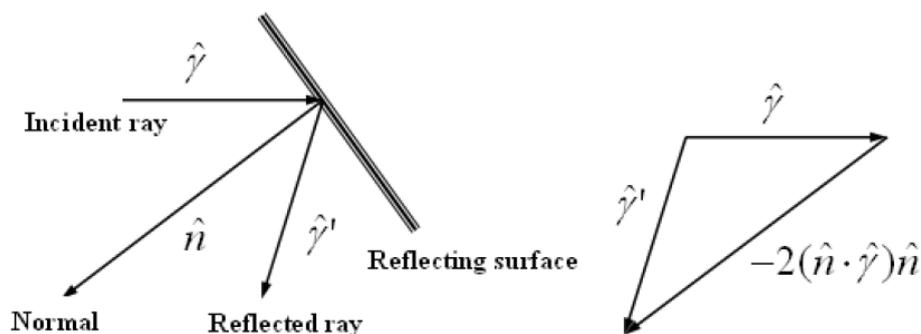
利用反射面的傾斜可以控制，光行進路徑，調整曲率，可使光線集中達到設計目標。

## 2.2 光線追跡

光從光源進入光學系統中，會如何折射及反射是我們關心的，光進入光學系統中我們如何預測行進路線，如何讓光走我們要的路徑，我們必須透過光線追跡掌握光的動向，光線追跡的基礎為折射定律，光學系統中，所使用得透鏡會用到球面透鏡，全面透鏡的中心點與光軸在同一條直線上，稱之為軸對稱系統，透過調整曲率、厚度等可以將光線傳遞在我們要的位子，在非成像光學中並非都是對稱系統，所以為了在很多情況之下能夠適用，將光線追跡以向量的方式表示，如圖(2.2-1)，以向量來表現反射定律。入射光與反射光皆以單位向量 $\hat{\gamma}$ 、 $\hat{\gamma}'$ 表示，然而反射面的法線方向則是以單位向量 $\hat{n}$ 來表示。藉由向量的方式我們可以將反射定律以向量的方程式改寫成：

$$\hat{\gamma}' = \hat{\gamma} - 2(\hat{n} \cdot \hat{\gamma})\hat{n}$$

由上式可知，知道了入射點的位置，及利用反射面的取率推得反射面的法線方向，進而可得反射光線的方向。利用此方法可以知道所有的入射光線與其反射光線作用之後，所有反射光線的行進方向。



圖(2.2-1)以向量型式表現反射定律

同樣的以向量來表現折射定律，當光線從介質 1 入射到介質 2，光線會產生偏折的情況。圖(2.2-2)示之， $\hat{\gamma}$  為入射光的單位向量， $\hat{\gamma}'$  為折射光的單位向量， $\hat{n}$  為法線的單位向量， $n$  與  $n'$  則是表示兩個介質的折射率。

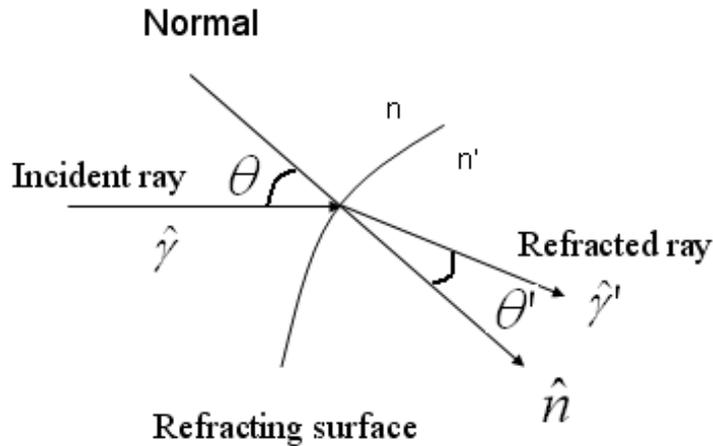
折射定律向量式：

$$n'\hat{\gamma}' \times \hat{n} = n\hat{\gamma} \times \hat{n}$$

經過整理後，將上式改為：

$$n'\hat{\gamma}' - n\hat{\gamma} = (n'\hat{\gamma}' \cdot \hat{n} - n\hat{\gamma} \cdot \hat{n})\hat{n}$$

此公式為光線追跡法最常使用的通式。

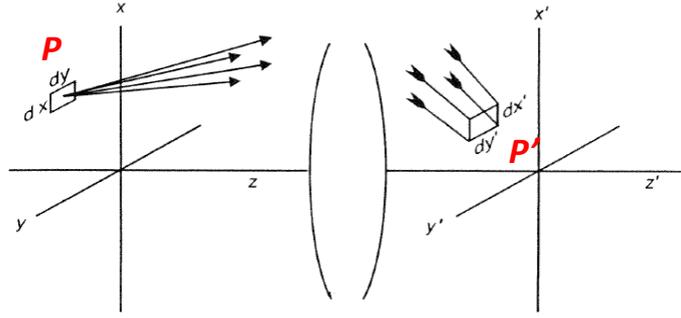


圖(2.2-2)以向量的方式表示折射率

### 2.3 光展量(Etendue)

光展量(etendue)，又稱為光學不變量(optical invariant)在照明系統中常常被用來評估光效率，其簡單定義為面積乘上立體角為定值，可以用來計算光學系統中光傳遞的幾何邊界。當光速通過一光學系統後，在不考慮光的繞射、散射及吸收，光束的光展量將保持相同或是增加，光展量會增加的情況是因為某些光學元件會產生光散射的特性，由於光的散射會產生較大的發散角，光束的光展量因此增加，光展量的評估方式，仍有其準確性在。

圖(2.3-1)在一個成像光學系統中，一個方型孔徑 P 邊長為 dx 和 dy 與 P' 方型孔徑邊長為 dx' 和 dy'，分別位於物空間 z=0 位置以及像空間 z'=0 位置，P 位於直角座標 (x, y, z) 系統的 xy 平面上，P' 位於直角座標 (x', y', z') 系統的 y'z' 平面上。由 P 面上發射出一條光線，其方向餘弦為 (L, M, N)，而這條光線經過光學系統打到 P' 面，其方向餘弦為 (L', M', N')，因此方向餘弦的改變分別為 (d<sub>1</sub>L, d<sub>1</sub>M, d<sub>1</sub>N) 以及 (d<sub>2</sub>L, d<sub>2</sub>M, d<sub>2</sub>N)。



圖(2.3-1)光線進入系統傳遞示意圖[8]

將  $P'$  的立體角先計算出來，經由此無限小面積的基底向量互相外積，在與此面積的法線向量  $(L, M, N)$  作內基即可求得，因此立體角可以被表達成：

$$d\Omega = \begin{vmatrix} d_1L & d_1M & d_1N \\ d_2L & d_2M & d_2N \\ L & M & N \end{vmatrix} \quad (2.3-1)$$

計算出此行列式，在將守恆式  $LdL + MdM + NdN = 0$  代入可得：

$$\begin{aligned} d\Omega &= \frac{1}{N} (d_1Ld_2M - d_2Ld_1M) \\ &= \frac{1}{N} \left( \frac{\partial L}{\partial x'} \frac{\partial M}{\partial y'} - \frac{\partial L}{\partial y'} \frac{\partial M}{\partial x'} \right) dx'dy' \end{aligned} \quad (2.3-2)$$

再將上式改寫成  $d\Phi$  (輻射通量)：

$$d\Phi = B \left( \frac{\partial L}{\partial x'} \frac{\partial M}{\partial y'} - \frac{\partial L}{\partial y'} \frac{\partial M}{\partial x'} \right) dx'dy'dx'dy' \quad (2.3-3)$$

$B$  為  $P$  面上的亮度 (radiance)，我們可以利用相同的方法做反向計算可得：

$$d\Phi' = B' \left( \frac{\partial L'}{\partial x} \frac{\partial M'}{\partial y} - \frac{\partial L'}{\partial y} \frac{\partial M'}{\partial x} \right) dx'dy'dx'dy' \quad (2.3-4)$$

假設無吸收及無損耗，此系統為一個理想系統，所以式(2.3-3)與式(2.3-4)是相等的，所以可堆得：

$$\frac{B}{n^2} = \frac{B'}{n'^2} \quad (2.3-5)$$

將式(2.3-5)帶入  $d\Phi = d\Phi'$  再利用 Jacobians 轉換即可得：

$$\begin{aligned} n^2 \left( \frac{\partial L}{\partial x'} \frac{\partial M}{\partial y'} - \frac{\partial L}{\partial y'} \frac{\partial M}{\partial x'} \right) &= n'^2 \left( \frac{\partial L'}{\partial x} \frac{\partial M'}{\partial y} - \frac{\partial L'}{\partial y} \frac{\partial M'}{\partial x} \right) \\ n^2 \frac{\partial(L, M)}{\partial(x', y')} &= n'^2 \frac{\partial(L', M')}{\partial(x, y)} \end{aligned} \quad (2.3-6)$$

利用 Liouville's 理論，我們可以在兩端乘上  $dx dy dx' dy'$ ，上式可變為：

$$n^2 dx dy dL dM = n'^2 dx' dy' dL' dM' \quad (2.3-7)$$

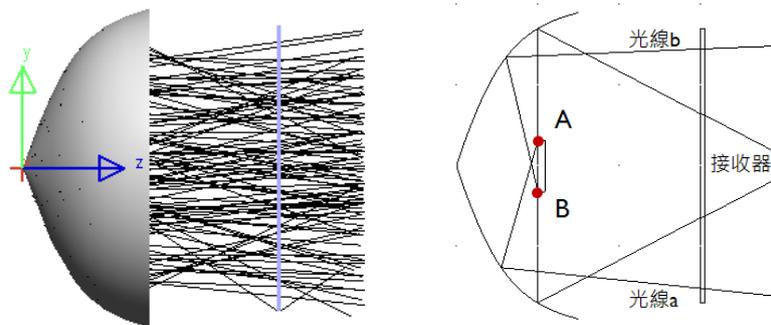
此式即為 Lagrange invariant，我們可再將方向餘弦座標由直角座標系轉換到球座標系，即  $(L, M, N) = (\sin \theta \sin \phi, \sin \theta \cos \phi, \cos \theta)$  可得：

$$n^2 dA \cos \theta d\Omega = n'^2 dA' \cos \theta' d\Omega' \quad (2.3-8)$$

此等式代表完美成像系統中，光源與影像之間光展量守恆的情形，由式子可以發現光展量的大小與光源面積大小、發散立體角有關，且並無與能量有關的變數，即光展量為光線的幾何特性，與光線所帶的能量無關。

## 2.4 邊緣光線定理

邊緣光線定理[9]在照明系統中是重要的評估，目的為了將光能量均勻的照射在目標上並且有最大的使用效率，在一個照明系統中，由邊緣光線的定義為通過面邊緣的光線，如圖(2.4-1)所示，中間擺了一個長條的燈管，利用反射杯將光線打在接收器上，藉由此觀察光線兩端所發出來的光線決定了整個照明範圍區域，剛好若接收器的範圍可以涵蓋住此區域範圍，我們可以稱作為一個不漏光系統，能完全收集到光源的光，這可以保證光能使用為最高效率，但未必是一個均勻分布的系統，像光線 a 只打到螢幕下方而光線 b 只打到其上方，在接收器中央的地方卻沒有由兩端點所發出來的光，所以此為高效率但非常不均的光學系統，當然我們可以利用光學設計達到我們要的均勻，但在光效率通常會降低，如何找到其平衡點，會因不同的設計案例而異。



圖(2.4-1)邊緣光限定理示意圖

### 第三章光源規格與使用工具

了解光源是每個光學設計師在設計之前會先做的事，了解光源才能夠知道如何去抓住光線，抓住光線就是抓住”能量”，光源的場型分布是很重要的，許多LED的場型在遠場情形之下為Lambertian分布的光源，但是如果設計的案例光源與外掛透鏡靠近到一定距離，光源入射在透鏡上的場型就不是Lambertian分布，在這麼近的距離做光學設計是需要特別注意，必須將光源做近場分析，才能夠完整得掌握住光線，達到最佳的設計。

本論文所使用的工具為LightTools、Code V 兩套光學軟體，這兩套光學軟體在光學設計的領域中是不可或缺的，工欲善其事，必先利其器，軟體的熟悉是相當重要的，本篇論文均會在不同位置設計透鏡時分別做使用，此兩套軟體各有不同的優缺點，可以依照設計者個人喜和、需求作選用。

#### 3.1 光源規格

本篇論文為 HTC 近期所發表新款手機 sensation 所裝載 LED 閃光燈設計，所選用的光源為 EVERLIGHT LED(CH06)，sensation 手機為兩顆 LED 閃光燈特殊設計，如圖(3.1-1)，位在手機的背面與照相鏡頭做搭配，充分的補光讓拍照更方便，其實在許多款式 HTC 手機也都是搭載相同閃光燈。



圖(3.1-1)HTC 雙 LED 設計[10]

## EVERLIGHT LED(CH06)介紹

特性:1. 高透光率

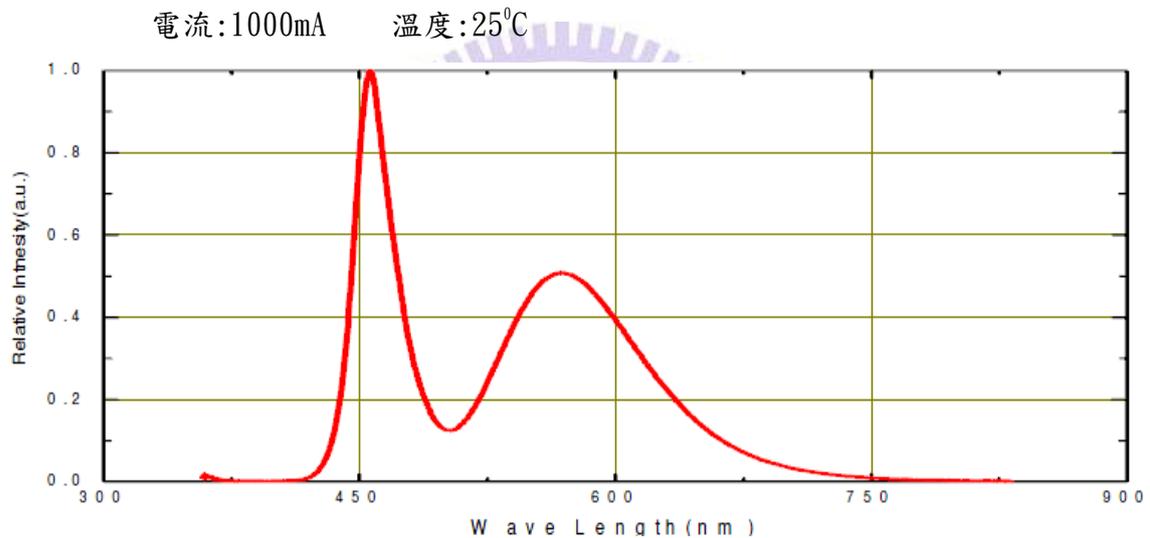
2. 材料 InGaN 為藍色 LED 參雜黃色螢光粉

3. 電子與光學特性表(3.1-1)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Luminous Flux(1)	$\Phi_v$	160	200	250	lm	$I_F=1000\text{mA}$
Forward Voltage(2) (3)	$V_F$	2.95	----	4.45	V	
Color Temperature	CCT	4500	----	7000	K	

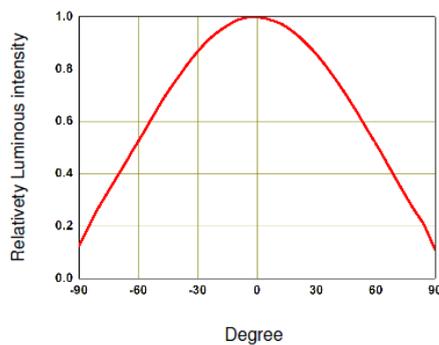
表(3.1-1)電子與光學特性表[11]

4. 藍光 LED 不同波長強度分布圖(3.1-2)

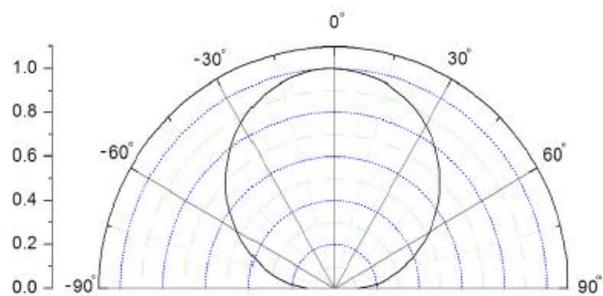


圖(3.1-2) 不同波長強度分布圖[11]

5. 輻射角度分布圖(3.1-3), 極化輻射角度分布圖(3.1-4)為 Lambertian



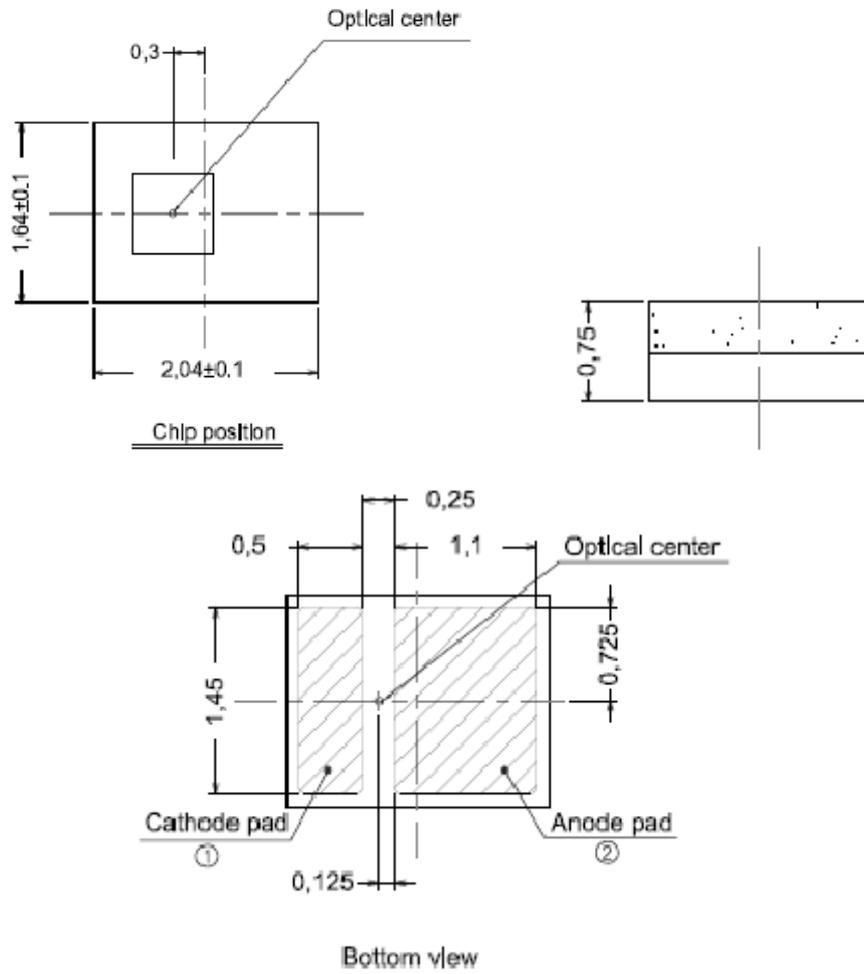
圖(3.1-3) 輻射角度分布圖[11]



圖(3.1-4) 極化輻射角度分布圖[11]

## 6. LED(CH06) 封裝尺寸

封裝尺寸大小，圖(3.1-5)。



圖(3.1-5)封裝尺寸[11]

將光源的特性充分了解後，能夠在接下來的光學設計做充分得運用，設計出符合此光源的設計。

### 3.2 Code V 和 Light Tools 工具

在現在的光學系統的架構因為需求，而越來越複雜，許多的光學產品必須透過光學模擬來減少不必要的資源浪費，所以光學軟體越來越普及，光學軟體操作介面更趨向簡易及人性化。還有演算法與分析法的進步，光學軟體的功能日益增強，在使用光學軟體更能跟真實的情況做連結，讓在研發的時間、資源的耗費可以得到最佳效果，本篇論文使用的光學軟體為 Code V 和 LightTools，Code V 常被使用在成像光學系統設計，在成像品質的分析上它有很多功能可供使用、分析，而 LightTools 在非成像光學系統有較顯著的功能，包括照度分布、輻射角度分布等等，在設計照明系統常常需要使用，每個軟體都有各自的優缺點，依照每個光學設計案例需求，選擇適當的軟體是必得。

Code V 簡介



Code V 為 Optical Research Associates 公司所出品的光學設計軟體，它存在超過 30 年，但是它仍然不斷地再創新、改進，走在眾多的光學軟體中的前列。它提供光學設計、成像品質分析、公差分析、完備的最佳化功能等等，它有容易上手的介面，使用者可以很容易的使用。[12]

LightTools 簡介



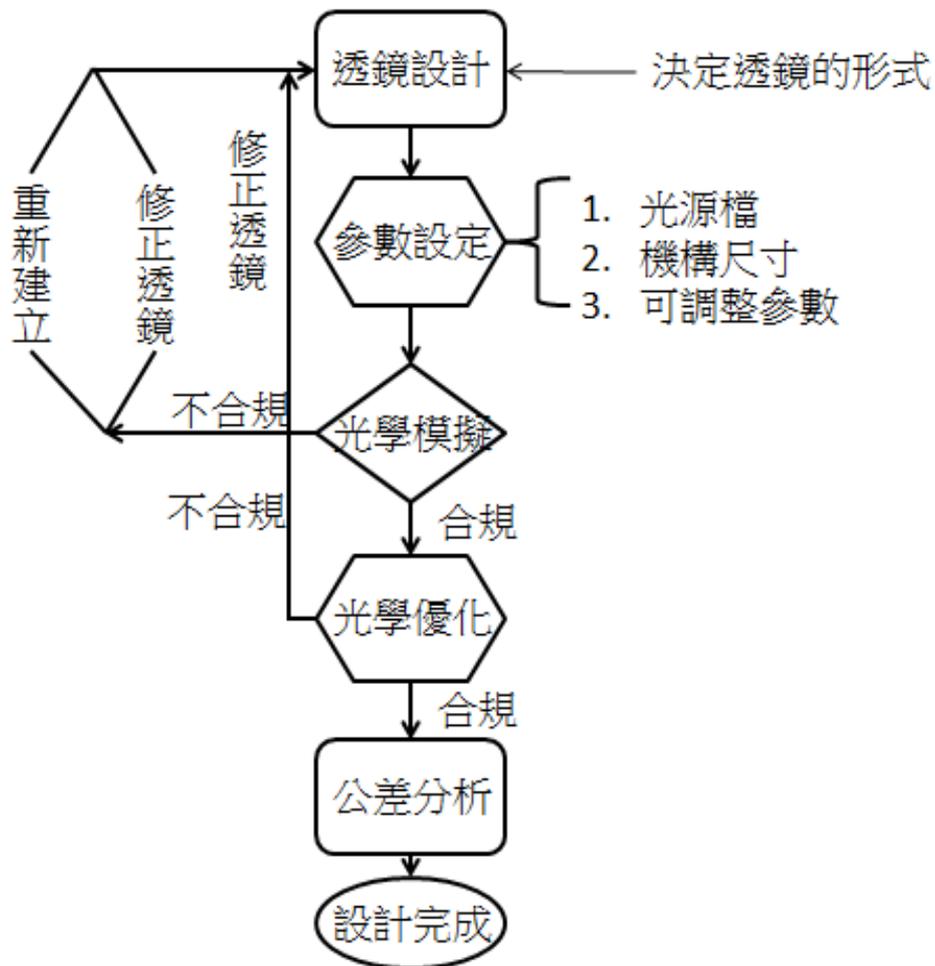
LightTools 提供強大的照明設計功能，使用者不論在什麼樣形式的照明系統，它均能夠明確的模擬出來，提供一切你所需要的照明系統分析，讓你可以很真實的跟實際情況做連結。[13]

## 第四章透鏡設計

### 4.1 光學設計流程

- 事先準備：
1. 設計目的
  2. 設計的架構、尺寸、位置
  3. 光源參數、場型分布
  4. 參數初步估算

本篇論文光學設計流程圖(4.1-1)



圖(4.1-1) 光學設計流程圖

每個光學設計個案都是經過一連串的設計流程，為達到設計目標，需要耐心和毅力將設計完成。

#### 4.1.1 專利文獻分析[14]

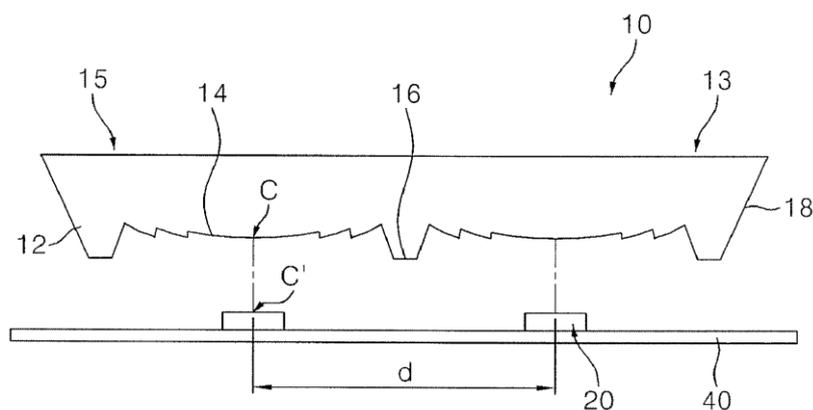
Pub.No.:US 2010/0178046 A1

Pub.Date: Jul.15,2010

Camera Flash Lens And Portable Device Including The Same

Inventors: Kyung Mi MOON,Suwon;

Jin Ha Kim,Seoul



圖(4.1.1-1)設計概念圖

設計概念

概念為圖(4.1.1-1)設計概念圖

- 1.此透鏡設計在位子 14 為一個 Fresnel 的透鏡。
- 2.利用位子 12、18 反射面，將部分光線收進來。

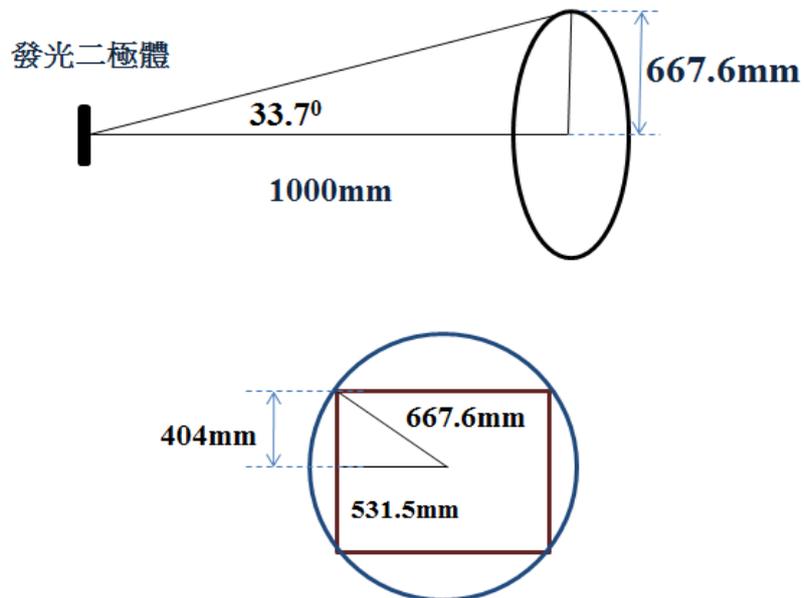
位子 14 的 Fresnel 透鏡，可以有效的讓透鏡與光源之間的空間增大，在產品的空間表現上是重要的創新，位子 12、18 全反射面設計，目的是將位子 20 的 LED 部分大角度的光線進入透鏡後，經過一次折射，再利用全反射設計，將光線集中在目標位子，利用此架構能夠達到收光的效果，進而達到設計目標。

本篇論文為手機雙閃光燈設計，利用此篇專利文獻為發想，在特定的條件規格之下，設計完成本篇論文案例，論文中加入本人的設計思考、方法，有效提升整體效能。

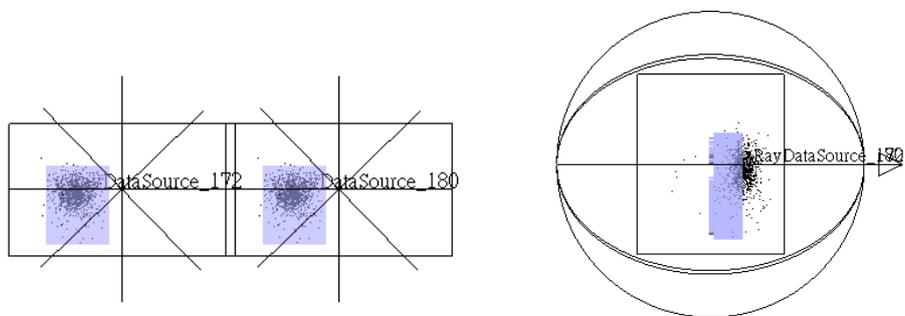
## 4.2 FH1A 設計目標、機構圖

首先了解設計起始條件、幾何關係，圖(4.2-1)，在這些規範下進行設計。

1. 光源:50 lm .兩顆光源共 100 lm，光源模擬如圖(4.2-2)。
2. 接收的表面:1063mm X 808mm
3. 解析度:17 X 13 (橫 X 縱)
4. 接收表面距離光源:1000mm
5. 光線數以 100 萬條為參考模擬光線

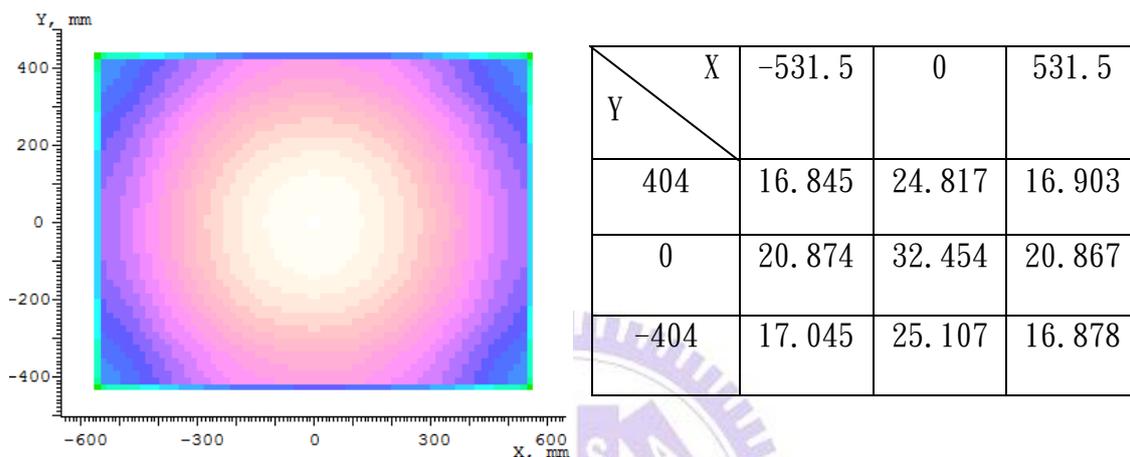


圖(4.2-1)光源與接收器幾何關係圖



圖(4.2-2)兩顆 LED 光源

在設計之前，先對裸光(無加透鏡)進行測試，本篇論文以億光公司所提供的光源檔進行設計，所以光源檔的場型分布、能量大小由實際 LED 測得，將必要的參數調整好如光源的距離接收面 1000mm、兩顆光源各為 50 流明(Lumen)、解析度 17 X 13，進行光學模擬，得到裸光的測試值，進而估算出設計的目標值，如圖(4.2-3)，在接受器上可讀到照度值，再將裸光的中心照度和接收器上四個角落個別的照度值，記錄下來，如表(4.2-1)，這樣就可以清楚估算目標值。



圖(4.2-3)FH1A 裸光 LED 照度分布 表(4.2-1)FH1A 裸光 LED 照度值(lux)

#### FH1A 設計目標制定

1. 增益值=1.5，增益值=裝上透鏡測得中心照度/裸光測得的中心照度
2. 均勻度 50%，均勻度= 四個角照度值(最低)/中央照度值

Gain=1.5，裝上設計透鏡測得中心照度

$$=1.5 \times 32.454 = 48.681 \text{ lux}$$

均勻度 50%，4 個角落最低照度值

$$=0.5 \times 48.67 = 24.340 \text{ lux，如表(4.2-2)}$$

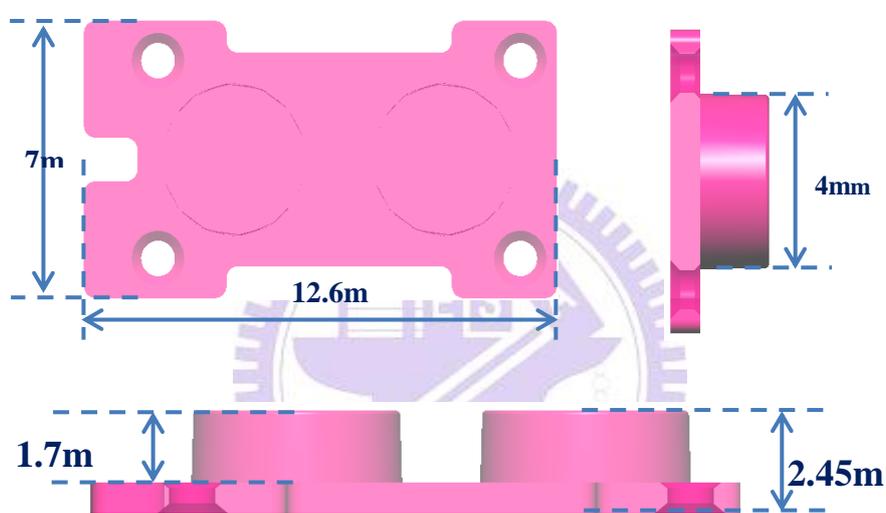
Y \ X	-531.5	0	531.5
404	24.340	0	24.340
0	0	48.681	0
-404	24.340	0	24.340

表(4.2-2)FH1A 設計目標照度值(lux)

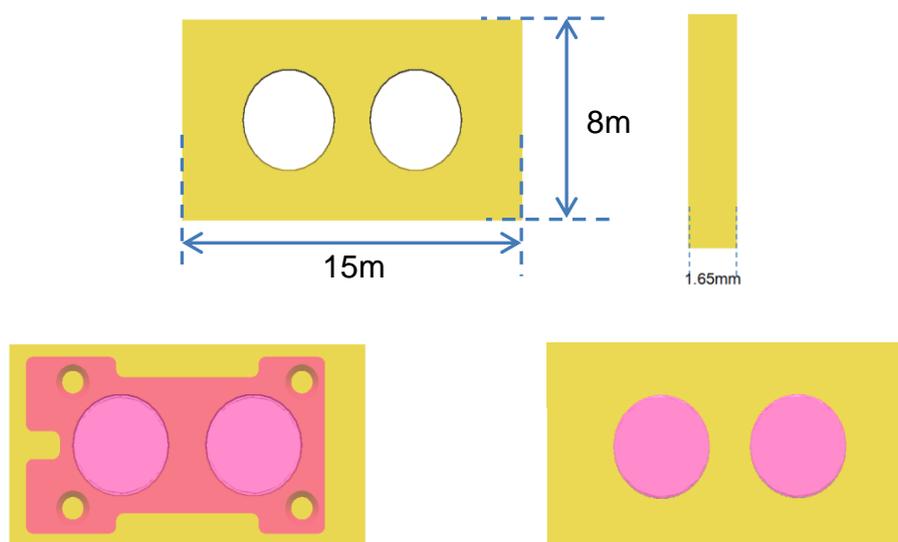
將目標照度值計算出來，但注意照度值並非能量值，不過設計得目標為照度值，不須再經過計算出能量，在照明設計中，照度值為設計得依據。

## 機構圖介紹

透鏡所使用的材料為聚碳酸酯(polycarbonate)，高折射率( $n=1.586$ )，為透明熱塑性材料。本篇論文為LED手機閃光燈設計，裝載在手機上面使用，手機的尺寸越做越小，所以透鏡的構造會被限制住，可供使用的空間是有限的，包括出光孔的大小、透鏡厚度、形狀、發光二極體與透鏡間距離圖(4.2-4)。至於黃色的外觀結構為機殼部分，機殼與透鏡組裝如圖(4.2-5)，會擋住部分的光會被外觀機殼擋住無法通過，造成損失，在進行模擬時將機殼的部分設定吸收，表示光線無法穿透及反射，符合實物的模擬。



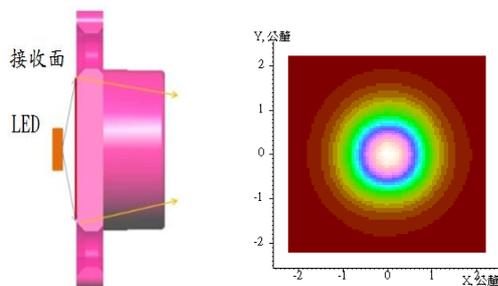
圖(4.2-4)透鏡設計機構



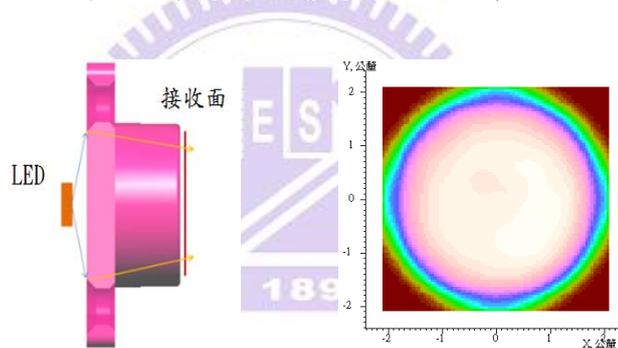
圖(4.2-5)外觀機構、透鏡和外觀機構組合

### 4.3 FH1A 設計思考

開始設計前，先觀察光源在近場的照度分布情況，由 LightTool 光學模擬可以清楚的看出面光源在近場下的照度分布，圖(4.3-1)為光要進入到透鏡時的照度分布，圖(4.3-2)為光離開透鏡的分布，可以依據此結果，可以了解光場的分布情形，當作之後設計的參考依據。

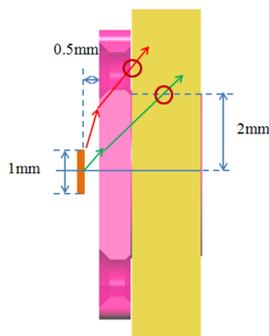


圖(4.3-1)光進入透鏡的照度分布



圖(4.3-2)光離開透鏡的照度分布

因為機構的不同，而限制了我們的設計，由圖(4.3-3)可以看出，部分大角度的光線經過透鏡會被機構卡住，這些光將會被浪費掉，所以在開始設計時，分成兩個部分設計 1. 大角度光線收光設計 2. 小角度光線聚光設計。

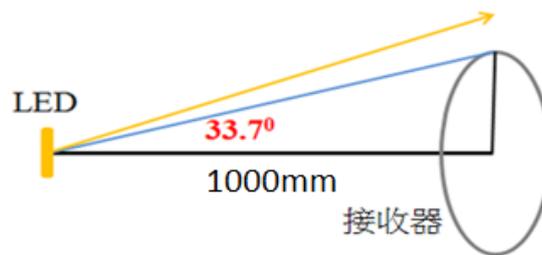


圖(4.3-3)機構阻擋光線

## 大角度設計估算

幾何關係，如圖(4.3-4)，進行評估大角度的極限，進行大角度的設計，由幾何關係  $33.7^\circ$  為大角度的極限，計算如下，大於此角度的光是無法打在接收器上，這些光被浪費，所以透過光學透鏡的設計，將光收進接收器目標區域，達到有效的運用，然而在利用之前在近場中場型分布進行評估如下。

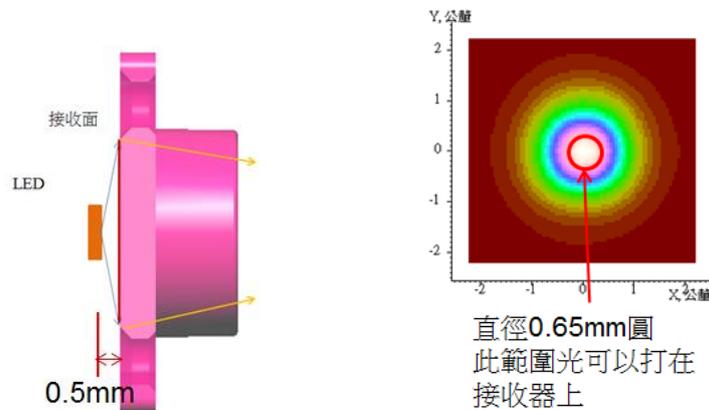
$$\tan^{-1}\left(\frac{667.6}{1000}\right) = 33.7 \text{ 度}$$



圖(4.3-4)幾何關係圖

## 評估

以遠場極限  $33.7^\circ$  設計出發，先設計大角度可以應用的範圍，如圖(4.3-5)，將接收器設定在光進入透鏡的表面，經過光學模擬，再由接收器上照度分布的情形，可以知道直徑  $0.65\text{mm}$  內的光是可以打距離  $1000\text{mm}$  的接收器內，但在此時會發現這是遠場的情況，有部分評估是有瑕疵的，所以對此角度進行近場修正。

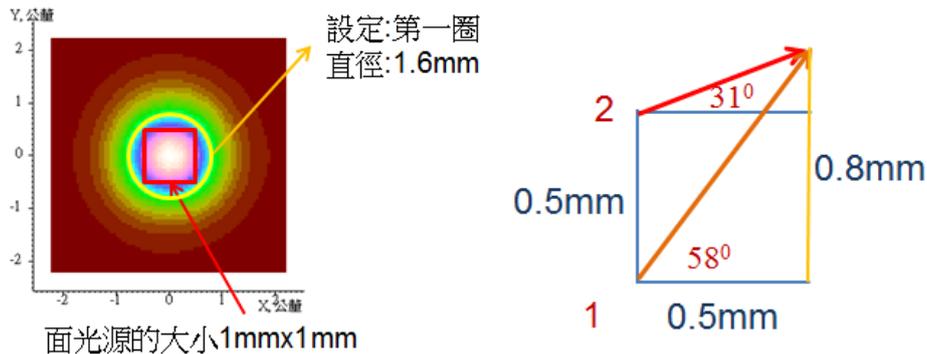


圖(4.3-5)大角度的極限在近場下評估

在近場的情形下，提出兩個修正：1. 光源為面光源。（在遠場下視為點光源）

2. 面光源的強度為均勻分布。

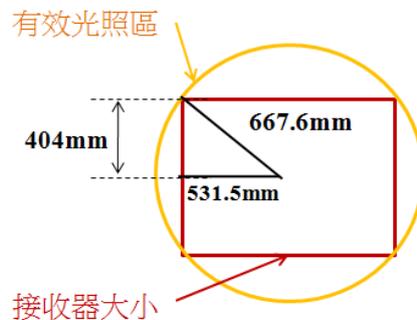
由這兩個修正，所以必須對大角度極限重新估算，光源的面積為  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ ，所以取直徑  $1.6\text{mm}$  作為大角度收光設計的起始點，如圖(4.3-6)近場照度圖、近場修正。



圖(4.3-6)近場下做修正

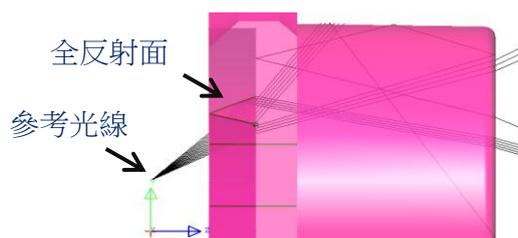
修正之後，在面光源的最邊緣( $0.5\text{mm}$ )至第一個收光面角度為  $31^\circ$ ，此設計收光角度由  $31^\circ$  至  $58^\circ$ ，不會有小於  $31^\circ$  的光經過此設計面，這樣就能確定出全反射角的極限，推算出大角度收光角修正極限後，進行大角度收光設計。

有效光照區大小的釐清，因為被要求的接收器為矩形( $1063\text{mm} \times 808\text{mm}$ )，但是在設計的透鏡時以圓型對稱為主，光打在接收器上的照度為圓形分布，所以為了讓接收器上的照度均勻，所以要修正有效光照區大小，才能達到設計目的，如圖(4.3-7)，修正過後大小，直徑  $1335.2\text{mm}$ 。



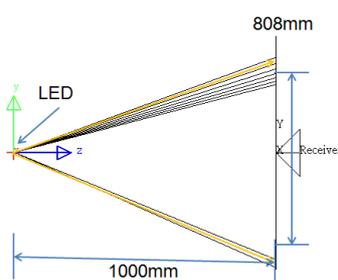
圖(4.3-7)有效接收器大小

透鏡設計將光分成兩個部分大角度與小角度後，開始設計以大角度收光先進行著手設計，大角度的光在閃光燈設計裡面是重要的一環，大角度的光會被機構所擋住而浪費掉的，如果可以收進來，想必一定有會大大提升接收器上的光能量，增加整體的照度。大角度收光設計方法，如圖(4.3-8)所示，利用全反射原理光進入到介質中設計一全反射面，光會因為設計全反射面的不同，全反射角度也不同，大角度的光不被機構所阻擋、且可以調整光往我們設計的方向前進。



圖(4.3-8)全反射面設計

知道如何利用大角度收光，接下來探討光行進的目標，收進來的光如何應用，起始設計將光線集中在接收器的邊緣地方，提升四個角的照度，增加均勻度，大角度的光集中在邊緣是容易的，由圖(4.3.1-1)，可以看到將剛剛設計的結果，光線往最邊緣集中，達到設計得目的，使用 LightTools 軟體中的光線追跡(NSray)功能當作參考依據，設計的全反射面為圓對稱系統，符合圖(4.3-5)有效接收器大小。



圖(4.3.1-2)光線集中在接收器邊緣

小結:從剛開始的光源特性和透鏡機構介紹、進行裸光模擬評估，推算出設計目標值，再來進行設計前的理論分析、設計思考、模擬評估，事前的準備工作是重要的，決定我們設計的架構方向與達到目標的方法，準備工作完成，可以開始著手進行手機閃光燈光學設計。

## 4.4 FH1A 透鏡設計

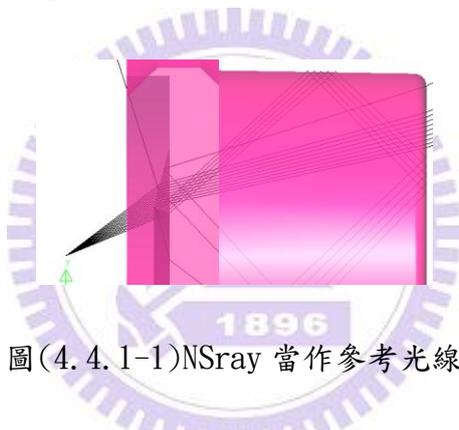
透鏡設計分成兩個設計方向 1. 大角度收光設計

### 2. 中央透鏡設計

設計得目標、方式不同，所以分別討論。

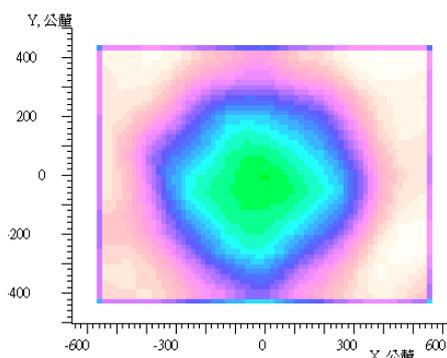
#### 4.4.1 大角度收光設計

大角度極限制定完成，經由光學軟體 LightTools，如圖(4.4.1-1)，先建立第一個角度  $31^{\circ}$  的收光面，利用 LightTools 軟體中 NSray 功能當作模擬參考光線，建立第一層收光面，使光導入透鏡後，可以從出光孔射出，不會被機構給擋住，這是建立在大角度收光的目標與方法，以  $31^{\circ}$  界線往大角度設計。



圖(4.4.1-1)NSray 當作參考光線

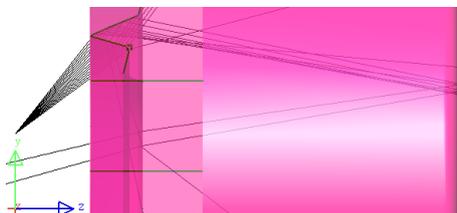
第一層收光面調整適當的角度，光學模擬如圖(4.4.1-2)，設計目標提高均勻度。



圖(4.4.1-2)第一層收光面照度分布圖

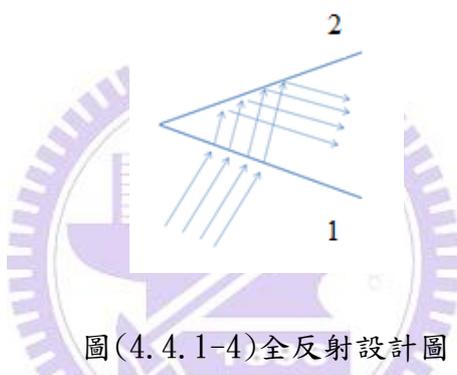
在大角度極限上，第一層收光透鏡建立完成，以此當作建立的起步，陸續地建立起其它大角度的收光，圖(4.4.1-3)，建立起第二層收光面。

此收光面與第一層收光面設計不同，因第二層收光面的入射光角度較大，所以必須使用全反射透鏡設計，此設計方法是將光導入進透鏡，再利用全反射光學原理，將光投射到設計的目標。



圖(4.4.1-3)第二層收光面

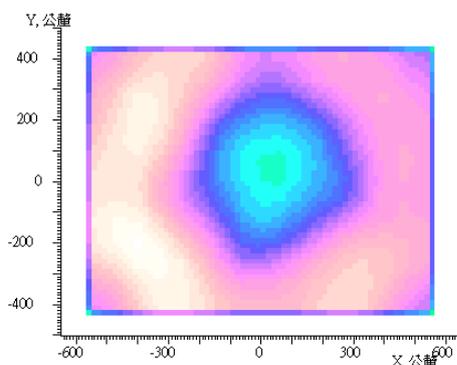
適當調整進光面 1 與全反射面 2，可以設計光出射方向，圖(4.4.1-4)。



圖(4.4.1-4)全反射設計圖

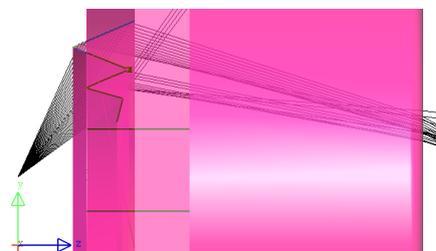
在設計此結構時，調整 1 可以將大角度的光收進到透鏡中，進而再適當調整 1, 2 的曲率，可以讓收進來的光更集中，光線打在接收器上目標位子上。

再以 NSray 當作參考光線，適當調整收角度  $37^{\circ}$ ~ $52^{\circ}$  的光，進行光學模擬，檢測是否有達到設計目標，圖(4.4.1-5)光線集中接收邊緣符合預期目標。



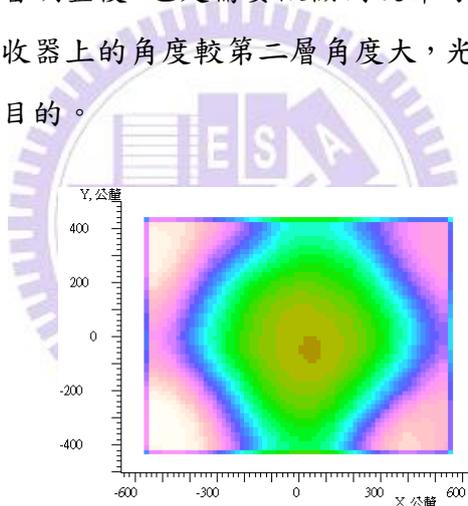
圖(4.4.1-5)第二層收光面照度分布圖

遵循第二層收光面設計，評估第三層收光角度與位子高度，建立完成第三層收光面如圖(4.4.1-6)，第二層收光面已經先將部分角度的光收入出光面，所以第三層收光面再收角度較大的光  $52^{\circ}\sim 67^{\circ}$ ，所以在設計時，往光源靠近，達到收此角度光線的目標。



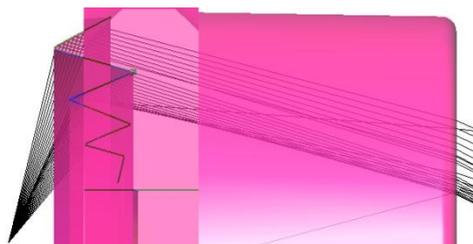
圖(4.4.1-6)第三層收光面設計

第三層收光面做適當調整後，也是需要做檢測設計的結果，如圖(4.4.1-7)，可以發現第三層打在接收器上的角度較第二層角度大，光收在接收器得邊緣，增加邊緣照度，達到設計目的。



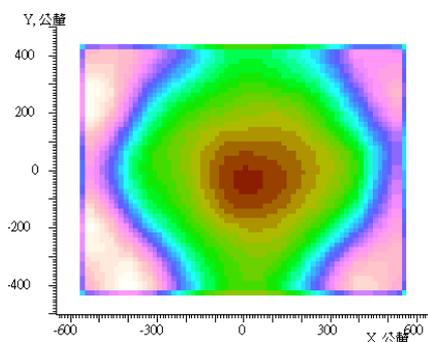
圖(4.4.1-7)第三層收光面照度分布圖

遵循設計原則，第四層收光面建立如圖(4.4.1-8)，收光角度為  $67^{\circ}\sim 77^{\circ}$ ，此收光角度範圍較小，主要原因是基於加工的深度必須在允許範圍(0.55mm)。



圖(4.4.1-8)第四層收光面建立

進行第四層收光面的光學模擬，如圖(4.4.1-9)，光線一樣收集在接收器的邊緣，增加均勻度，達到設計的目的。



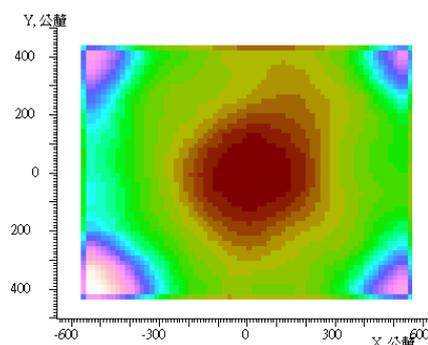
圖(4.4.1-9)第四層收光面照度分布圖

為了增加光能使用效率，建立第五層收光面，遵循設計原則，此為最大角度的收光，由於反射面超過了出光孔，所以空間變的狹小，為了躲開機構的阻擋，收光的最大角度為  $77^{\circ}$ ~ $87^{\circ}$ ，如圖(4.4.1-10)所示。



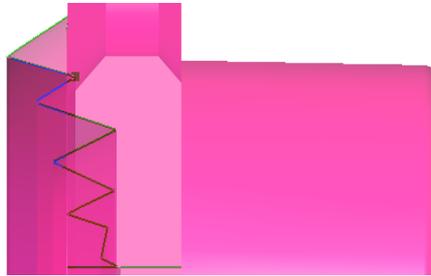
圖(4.4.1-10)第五層收光面建立

因為第五層收光角度相當大，但收到的能量有限，所以直接將光線打在接收器四個角上，光學模擬如圖(4.4.1-11)，在此案例是成功的設計。



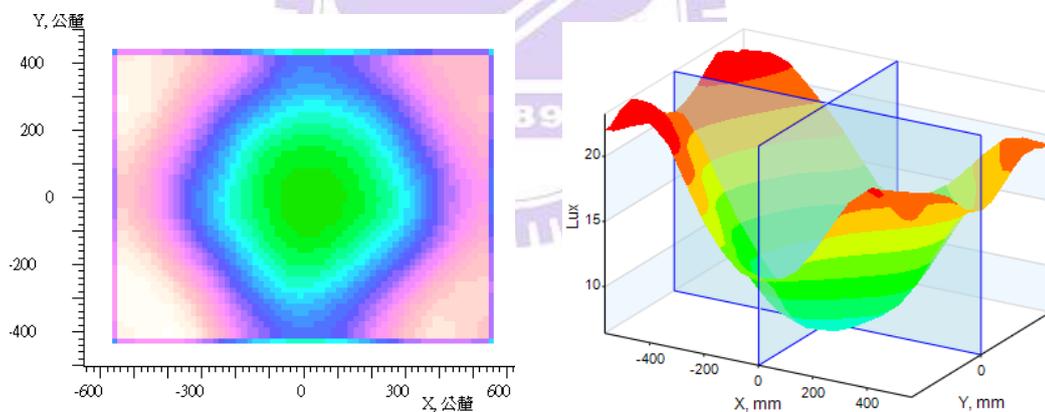
圖(4.4.1-11)第五層收光面照度分布圖

大角度收光設計將光線集中在接收器的四個角為目標，目的是為了增加接收器上的面均勻度，大角度設計完成如圖(4.4.1-12)，可以看到漂亮一層一層的全反射面，每一層均負責不同的角度，能有效提高光能使用的效率。



圖(4.4.1-12)大角度收光設計完成

利用光學模擬，來檢測大角度收光的成果，將五層的全反射設計同時進行光學模擬，結果如圖(4.4.1-13)，接收面的四個角的照度為最高，中間的照度值低，以3D照度圖可以看到中間是凹陷的，此設計達到目標，大角度收光設計完成，再來進行中央透鏡設計。



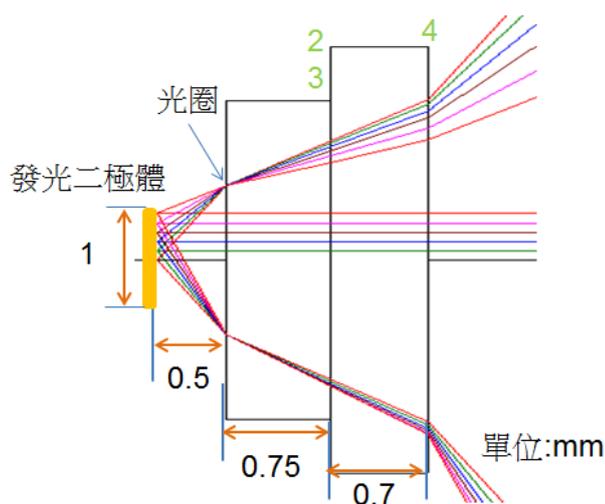
圖(4.4.1-13)大角度設計照度分布圖、3D照度圖

中央透鏡設計與大角度收光不同，中央透鏡設計目的是將光線往中央集中，增加中央的照度，達到設計規格，然而中央透鏡設計我們使用 Code V 光學軟體，我們將利用此軟體優化功能，達到中央照度的提升。

## 4.4.2 中央透鏡設計

首先進入 Code V 光學軟體，在使用見面上建立參數，將透鏡、光源參數設定完成，二維空間表示如圖(4.4.2-1)與參數設定表(4.4.2-1)，可以清楚看到光源和透鏡之間的相對位置。

光圈的位子設定在第一面透鏡。

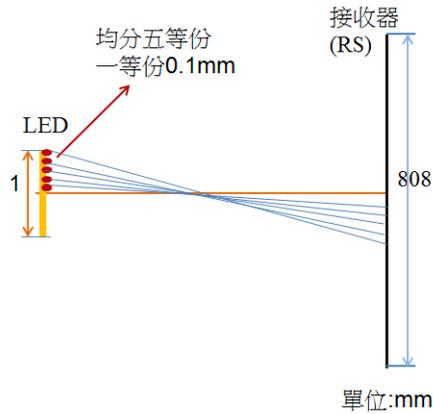


圖(4.4.2-1)二維空間分布

Surface #	Surface Name	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass	Refract Mode	Y Semi-Aperture
Object		Sphere	Infinity	0.5000		Refract	
Stop		Sphere	Infinity	0.7500	PCARB_SP	Refract	0.4414
2		Sphere	Infinity	0.0000		Refract	0.7813
3		Sphere	Infinity	0.7000	PCARB_SP	Refract	0.7813
4		Sphere	Infinity	5.0000		Refract	1.1475
Image		Sphere	Infinity	0.0000		Refract	6.5650

表(4.4.2-1)參數設定表

完成了上述的參數設定，接下來開始設計中央透鏡，設計得方式與大角度收光不同，中央透鏡將使用凸透鏡收光設計，將光線集中在中央，設計方式使用 Code V 中優化運算元，自動優化運算可以方便、最佳的達到目標，但需要花時間，如何設定運算條件是重要如圖(4.4.2-2)，我們將光源分成五等分，等比例分配光線，對應到適當位置，達到收光效果。



圖(4.4.2-2)優化幾何關係圖

在優化前，先設定可改變得參數，軟體會計算出符合你的優化條件下最佳的值，先設定入射面為非球面，然後將取率、曲面係數、四階、六階、八階係數設定成變數，因在加工製造上的難易取至八階，如表(4.4.2-2)。

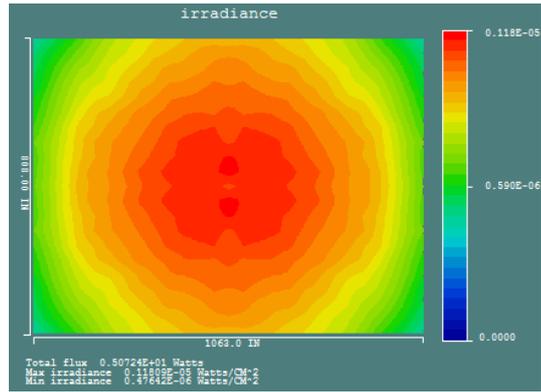
Parameter	Value
Y Radius	Infinity
Conic Constant (K)	0.0000
4th Order Coefficient (A)	0.0000
6th Order Coefficient (B)	0.0000
8th Order Coefficient (C)	0.0000
10th Order Coefficient (D)	0.0000
12th Order Coefficient (E)	0.0000
14th Order Coefficient (F)	0.0000
16th Order Coefficient (G)	0.0000
18th Order Coefficient (H)	0.0000
20th Order Coefficient (J)	0.0000
End Of Data	

表(4.4.2-2)優化的變數設定

優化條件如表(4.4.2-3)、變數設定、模型的建立完成後，進行優化，經過優化完成，在接收器上照度分布如圖(4.4.2-3)，可以看出光線往中間集中，設計出來的透鏡為凸透鏡，然而將 Code V 設計完成的凸透鏡，重建在 LightTools 軟體中，使用 LED 光源檔模擬，檢測與設計目標是否符合。

	Type	Mode	Weight	Target	Start Surface	End Surface	Zoom	Ray
1	Local Y Surf	=	1.0000	0.0000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
2	Local Y Surf	=	1.0000	-0.1000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
3	Local Y Surf	=	1.0000	-0.2000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
4	Local Y Surf	=	1.0000	-0.3000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
5	Local Y Surf	=	1.0000	-0.4000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
6	Local Y Surf	=	1.0000	-0.5000	Image	Image	* 1 - New le	1 - Chief
7	Local Y Surf	=	5.0000	400.000	Image	Image	* 1 - New le	2 - (+Y) Meri

表(4.4.2-3)優化條件設定



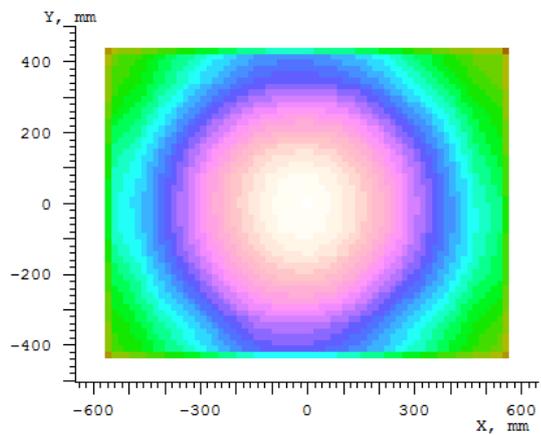
圖(4.4.2-3)優化照度圖

建立在 LightTools 中如圖(4.4.2-4)，透鏡的位子在正中心，為非球面凸透鏡，使用光學模擬來進行檢測，是否有達到設計的目標。



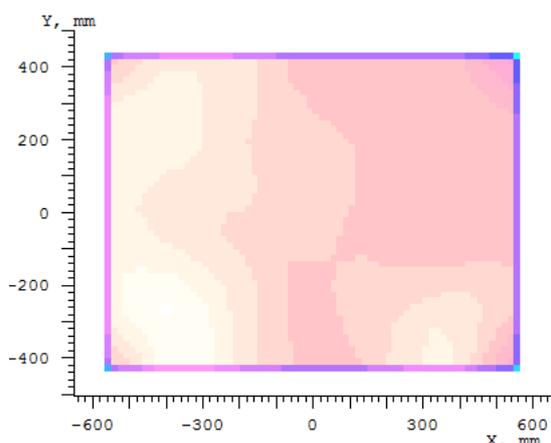
圖(4.4.2-4)中心透鏡建立

凸透鏡模擬的照度分布圖(4.4.2-5)，可以看到中心的照度較高，越往外照度降低，與設計目標相符，中心透鏡的設計完成。



圖(4.4.2-5)中心透鏡照度圖

完成了FH1A得透鏡設計架構，在整個設計的流程中，達到設計的目的，但是否達到設計規格，使用光學模擬檢測如圖(4.4.2-6)照度分布及表(4.4.2-4)照度值所示，設計出來的結果非常的均勻，均勻度足夠，但中間的照度是非常不足，需要增加照度。



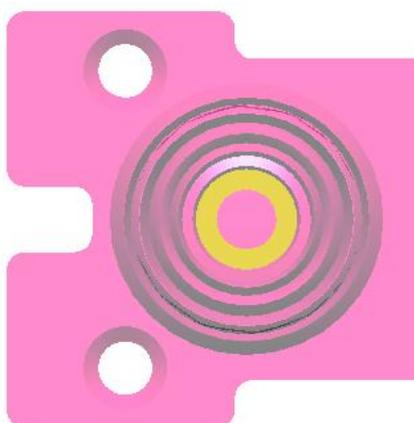
X \ Y	-531.5	0	531.5
404	32.972	32.561	29.611
0	35.796	33.775	32.246
-404	33.330	32.727	30.590

圖(4.4.2-6)透鏡組合照度分析圖

表(4.4.2-4)透鏡組合照度值(Lux)

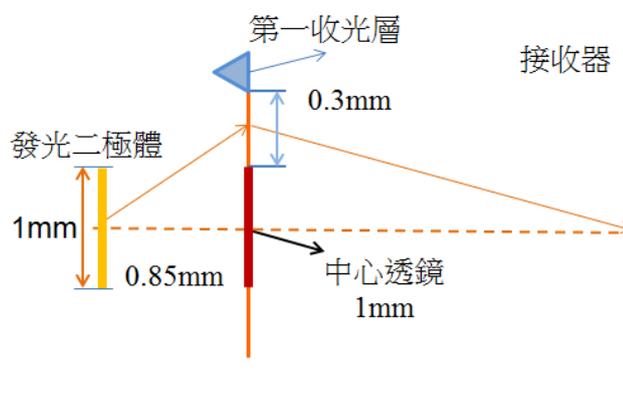
FH1A 設計結果討論，由照度圖可以看出分布均勻，但是中心的照度不足，接下來的目標是將中心的照度提升，達到設計規格，思考是否有何辦法可以將光線往中央集中，若是將某一層設計成往中央集中，可以解決此問題，但是有可能均勻度會下降，所以從既有的設計架構，找出還可以使用的光能量來做設計。

我們發現在中心透鏡與第一個全反射層之間有未設計的區域，如圖(4.4.2-7)所示，其中的黃色部分是可以進行設計的區域，若是在裡面建立一個增加中央照度的設計，這樣就能兼顧到中央與邊緣的照度，達到符合設計規格。



圖(4.4.2-7)透鏡設計完成

在此範圍內設計的聚光面幾何關係如圖(4.4.2-8)，在 0.3 厘米的距離間設計一個收光面，光收在接收器的中央，增加中心照度。

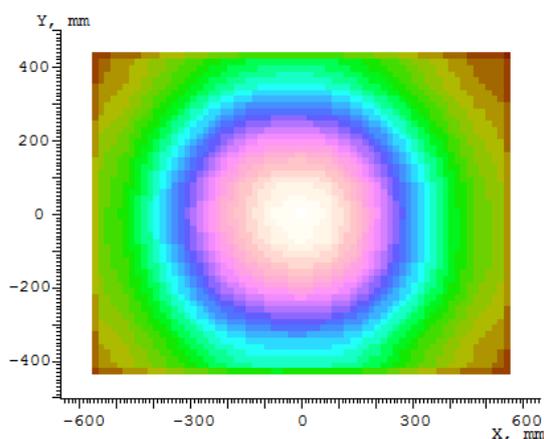


圖(4.4.2-8)中央聚光面幾何圖

此範圍內建立另一個凸透鏡的收光面，讓光線更往中央集中如圖(4.4.2-9)照度圖、表(4.4.2-5)照度值表，使用光學模擬的照度分布如圖(4.4.2-10)，達到預期設計目的，到目前為止透鏡設計完成，接下來就看設計的結果。



圖(4.4.2-9)另一凸透鏡收光設計

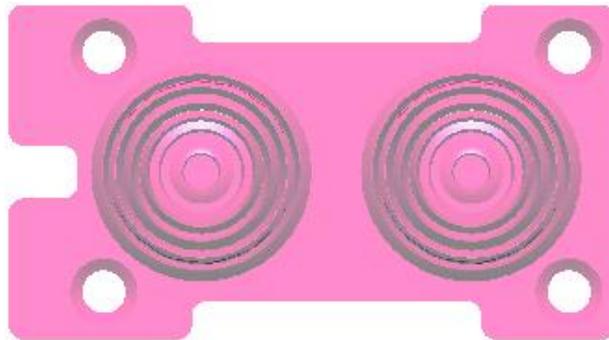


圖(4.4.2-10)中心透鏡照度圖

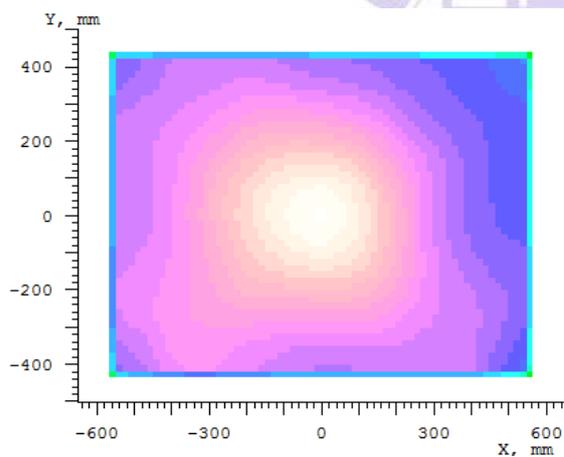
X \ Y	-531.5	0	531.5
404	4.437	14.445	3.734
0	9.271	40.218	7.799
-404	5.371	16.223	4.501

表(4.4.2-5)中心透鏡照度值(Lux)

FH1A 設計完成的結構如圖(4.4.2-11) FH1A 結構圖，使用光學模擬的照度圖，如圖(4.4.2-12) FH1A 照度圖、表(4.4.2-6) FH1A 照度數值，在不同角度的光能均能有效的利用，並且達到設計的目標，符合設計的規格，是一個成功的案例設計。



圖(4.4.2-11)FH1A 結構圖



圖(4.4.2-12)FH1A 照度圖

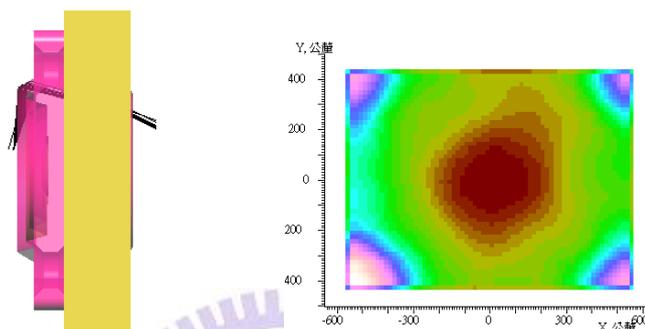
X \ Y	-531.5	0	531.5
404	29.937	31.501	26.562
0	33.544	49.106	29.059
-404	30.840	32.619	27.767

表(4.4.2-6)FH1A 照度數值

完成了 FH1A 的設計，但這是最佳的嗎？是否還可以達到更佳的结果，下一節是在探討如何找到最佳設計，找到設計極限。

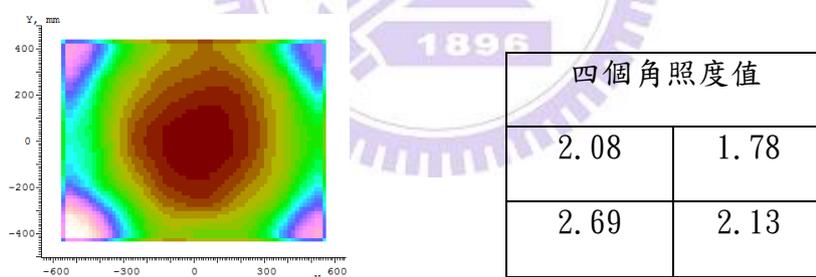
### 4.4.3 最佳化設計

最佳化設計的方法，如何在閃光燈的設計構造下做最佳化設計，當然此最佳化設計是建立在之前透鏡的設計前提下，此優化才有意義，FH1A 透鏡的優化，以下圖(4.4.3-1)為例，之前所設計最外一層全反射面，與其照度分布圖，將利用曲率、傾斜高度，調整至最佳的值。



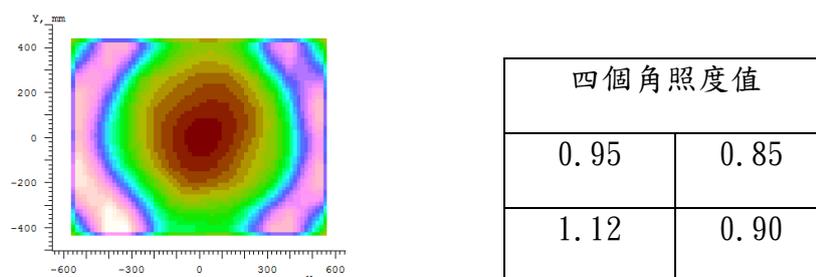
圖(4.4.3-1)最外全反射層及其照度分布圖

進行優化，圖(4.4.3-2)，為優化結果與四個角照度值，



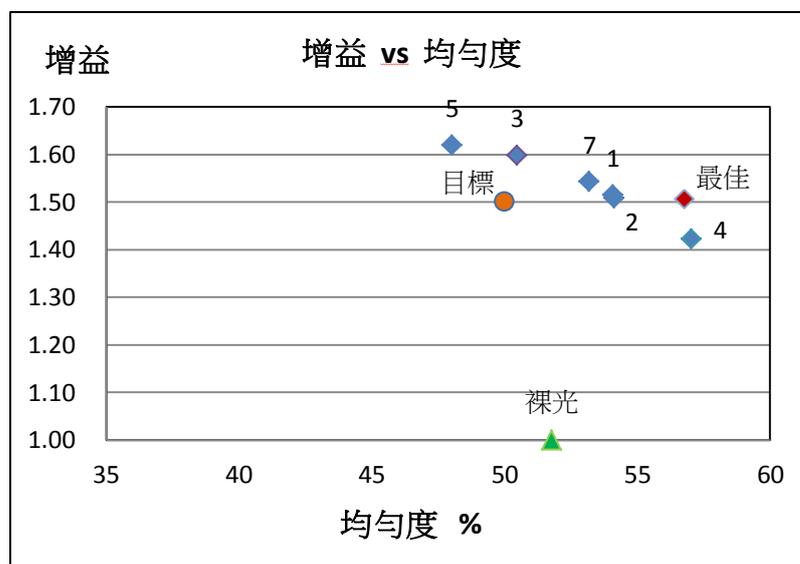
圖(4.4.3-2)優化後的照度分布

若再進行優化調整，圖(4.4.3-3)，此結果並不會更好，所以可以找到最佳值。



圖(4.4.3-3)再次優化的結果

優化過程中，將得到不同的結果標在座標圖上，增益-均勻度座標，如圖(4.4.3-4)，可以發現在增益-均勻度座標軸上為負斜率分布，是可以預期的。

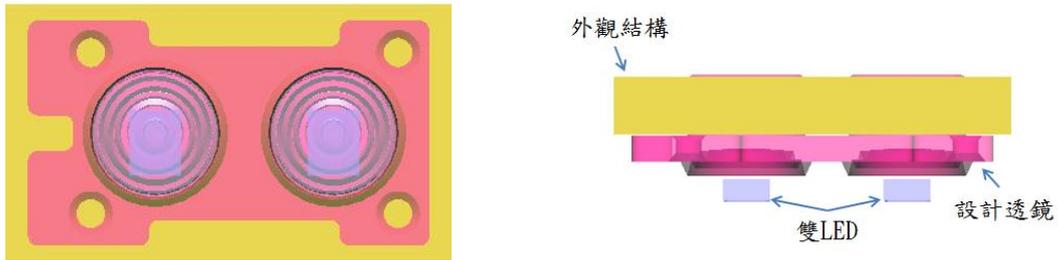


圖(4.4.3-4)FH1A 增益-均勻度座標

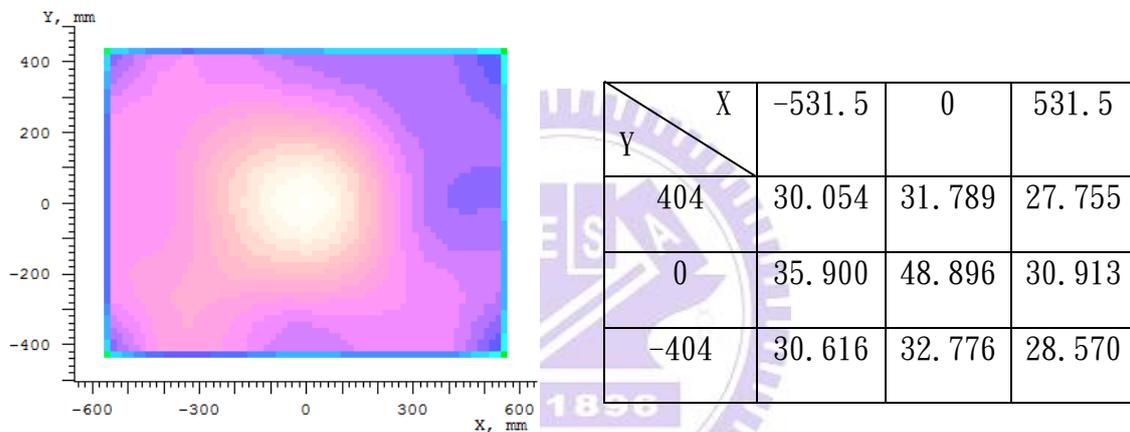
優化數據

編號	中心照度	最低照度	增益	均勻度(%)
裸光	32.535	14.833	1.00	51.8
目標	48.675	24.337	1.50	50.0
1	49.171	26.587	1.51	54.0
2	48.976	26.504	1.51	54.1
3	51.896	26.187	1.60	50.5
4	46.164	26.333	1.42	57.0
5	52.571	25.241	1.62	48.0
最佳	48.896	27.755	1.50	56.8
7	50.086	26.639	1.54	53.2

由上面做的很多透鏡的優化設計，得到不同的設計結果，其中一個是最符合目標。FH1A 設計完成如圖(4.4.3-5)為雙閃光燈照明設計完成，下圖(4.4.3-6)為照度分布、照度值。



圖(4.4.3-5)FH1A 雙閃光燈照明設計完成



圖(4.4.3-6)FH1A 照度分布、照度數值

### FH1A 設計結論

設計目標: 中心照度 48.681 lux, Gain=1.5

最低照度 24.340 lux, 均勻度 50%

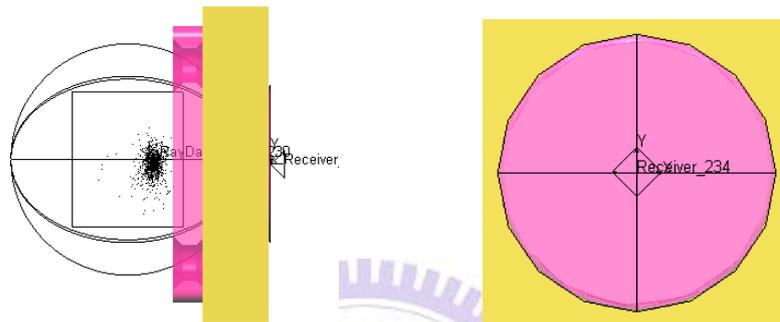
設計結果: 中心照度 48.896 lux, Gain=1.5

最低照度 27.755 lux, 均勻度 56.8%

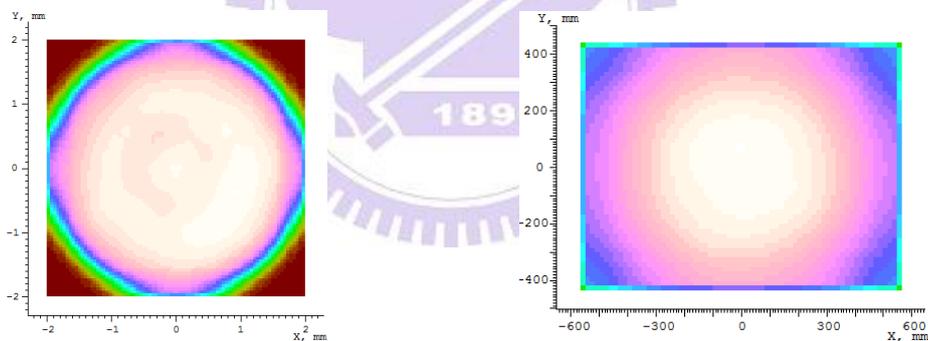
由上面的設計結果，FH1A 的設計達到設計目標，這些設計流程與設計方式，是有系統的分析與規劃，能夠掌握光源的場型分布，就能掌握光線，決定了設計方向，進而達到設計的目標。

光能使用效率分析，這是一個值得討論的，可以說明此透鏡設計光能使用效率程度，以此當作此設計是否優良，以下是進一步的探討。

首先測試在未設計透鏡設計前的出光效率，如圖(4.4.3-7) 未設計透鏡結構圖，再出光面加一個接收器，可以了解在沒有設計前，出光的能量分布情形，結果如圖(4.4.3-8) 未設計透鏡出光光照圖與 1000 公厘接收器光照圖，繼續計算使用效率結果。



圖(4.4.3-7)未設計透鏡結構圖



圖(4.4.3-8)未設計透鏡出光光照圖與 1000 公厘接收器光照圖

效率分析:光源的光能 100lumen

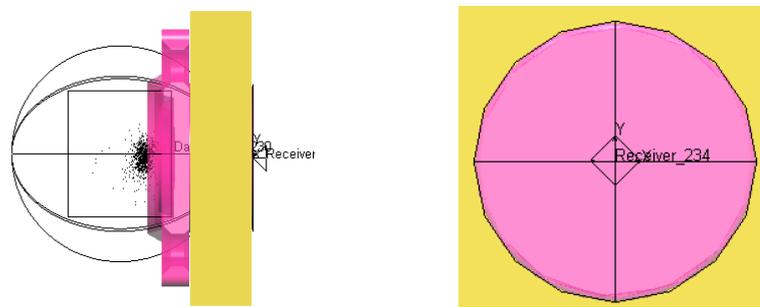
出光面接收器上光能:71.54 lumen

光能使用效率:71.54 %

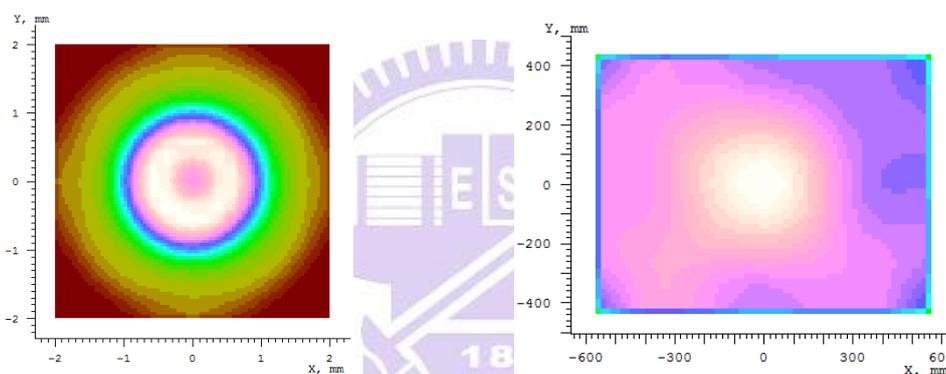
1000 公厘接收器光能:22.79 lumen

光能使用效率:22.79 %

再來測試透鏡設計完成後的使用效率情況，相同的透鏡外加上接收器如圖(4.4.3-9)透鏡外接收器位子，經過光學模擬照度分布如圖(4.4.3-10)加入透鏡出光光照圖、1000 公厘接收器光照圖，下面列出計算的使用效率。



圖(4.4.3-9)FH1A 透鏡外接收器位子



圖(4.4.3-10)FH1A 加入透鏡出光光照圖、1000 公厘接收器光照圖

效率分析:光源的光能 100lumen

出光面接收器上光能:81.33 lumen => 光能使用效率:81.33 %

1000 公厘接收器光能:35.87 lumen => 光能使用效率:35.87 %

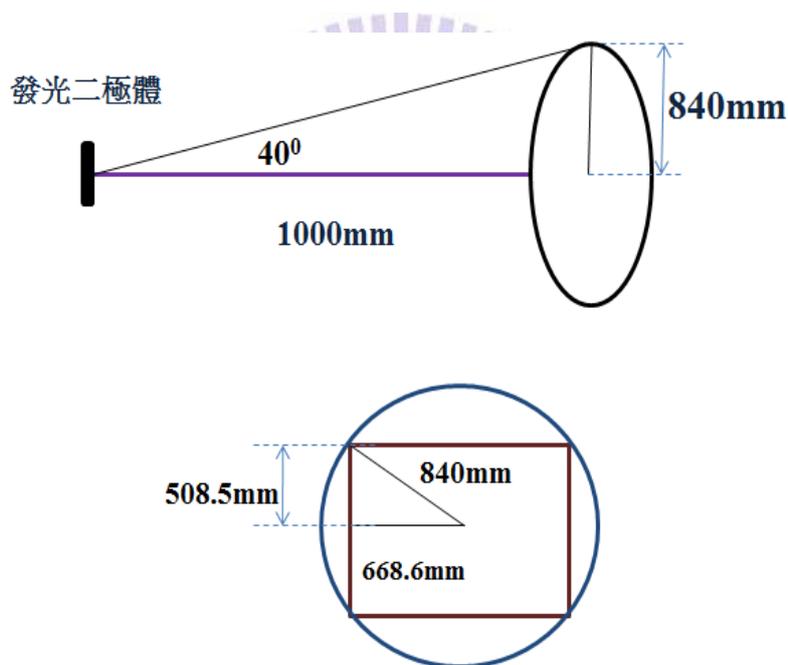
從上面效率分析結果可以發現，出光面的光能量增加一部份，，且場型的分布是完全不同，經過設計設計透鏡之後的場型較為集中，且在 1000 公厘接收器上的能量是增加的，在經過適當光能量分配，FH1A 設計完成，中心照度及四個角照度均達到設計的規格，是一個成功的設計。

接著以相同的透鏡、機構、光源，但要求閃光燈照射的面積更大、不同的規格，達到設計目標，稱為閃光燈 FH1B 透鏡設計。

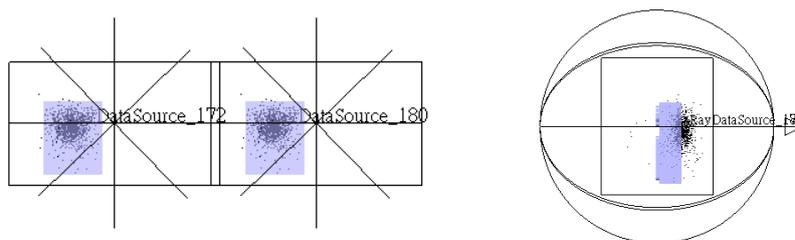
## 4.5 FH1B 設計目標、機構圖

FH1B 的設計起始條件、幾何關係，如圖(4.5-1) 光源與接收器幾何關係圖，起始條件與 FH1A 不同，FH1B 接收器的面積較大、發散角為  $40^\circ$ 。

1. 光源:50 lm .兩顆光源 100 lm，光源模擬如圖(4.5-2) 兩顆 LED 光源。
2. 接收的表面:1337mm X 1017mm
3. 解析度:17 X 13(橫 X 縱)
4. 接收表面距離光源:1000mm
5. 光線數以 100 萬條為參考

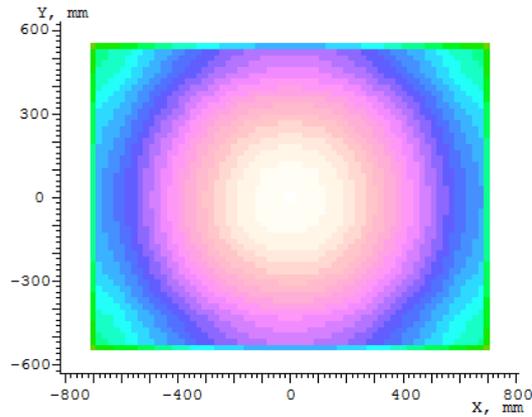


圖(4.5-1)光源與接收器幾何關係圖



圖(4.5-2)兩顆 LED 光源

進行 FH1B 裸光測試，雖然與 FH1A 的光源相同，但是接收器上得面積大小不同，所以測得的照度值會不一樣如圖(4.5-3)FH1B 裸光 LED 照度分布、表(4.5-1)FH1B 裸光 LED 照度值，由測得到照度分布值，進行規格估算如下。



X \ Y	-668.6	0	668.6
508.5	12.243	21.395	12.187
0	16.596	32.298	16.690
-508.5	12.362	21.743	12.546

圖(4.5-3)FH1A 裸光 LED 照度分布 表(4.5-1)FH1B 裸光 LED 照度值(lux)

#### FH1B 設計規格制定

- 增益值=1.1，增益值=裝上透鏡測得中心照度/裸光測得的中心照度
- 均勻度 50%，均勻度= 四個角照度值(最低)/中央照度值

Gain=1.1

=>裝上設計透鏡測得中心照度

$$=1.1 \times 32.298 = 35.527 \text{ lux}$$

均勻度 50%=>4 個角落照度值

$$=0.5 \times 35.527 = 17.764 \text{ lux 如表(4.5-1) 表(4.5-2)FH1A 設計目標照度值}$$

X \ Y	-668.6	0	668.6
508.5	17.764	0	17.764
0	0	35.527	0
-508.5	17.764	0	17.764

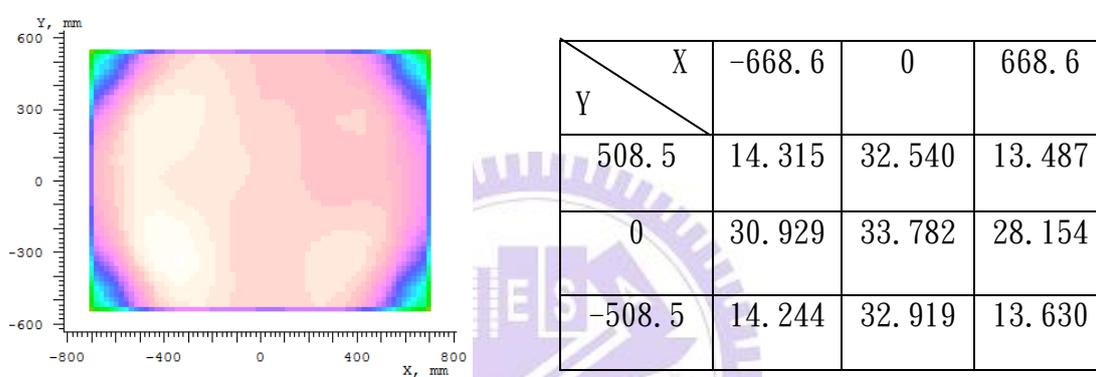
FH1B 透鏡設計機構圖與外觀機構，與 FH1A 相同，參考 P.21。

## 4.6 FH1B 透鏡設計

FH1B 的設計方式，是建立在固有得 FH1A 透鏡的基礎上面，將固有的照度分布擴大，達到設計目標面積，在 FH1A 設計中，使用全反射面、調整斜面角度、曲率等方式，將光線分布在預定的目標，FH1B 使用相同設計方法。

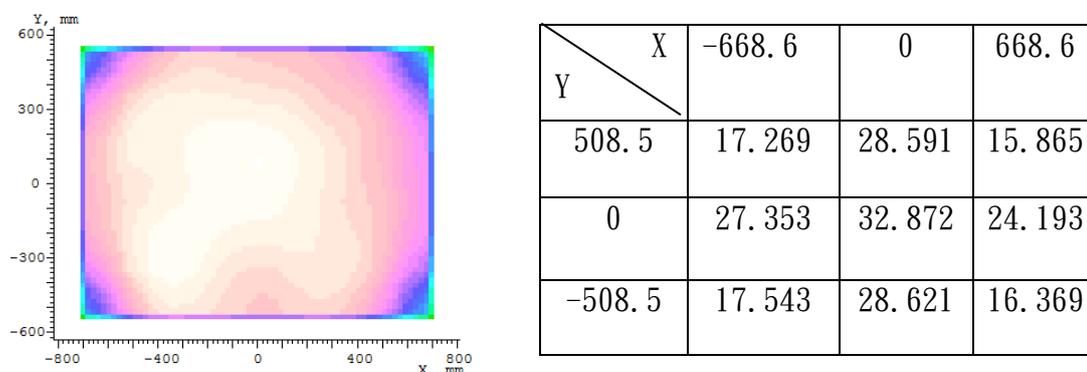
### 4.6.1 照度分布設計、最佳化

開始設計前，將之前設計的透鏡圖(4.4.2-6)，將接收器增大到 FH1B 面積範圍，光學模擬後結果如圖(4.6.1-1) 照度分布圖表。



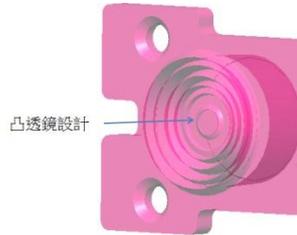
圖(4.6.1-1)照度分布圖表

以此設計的照度分布，進行再設計，達到設計目標，將收到的光線往外出射的角度增加，結果如圖(4.6.1-2)所示，經過優化調整，中間照度仍然不足，與 FH1A 相同需要在加一個凸透鏡設計，將光線收一部分到中央，讓中間照度達到設計目標。

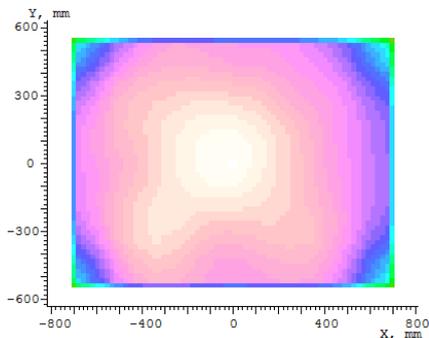


圖(4.6.1-2)中間加入透鏡後照度分布圖表

加一個凸透鏡設計，讓光線集中如圖(4.6.1-3)中間透鏡外加上凸透鏡，模擬照度分布圖(4.6.1-4)，中間的照度達到設計目標，但是發現四個角的均勻度仍然是不夠的，需藉由優化設計，達成目標。



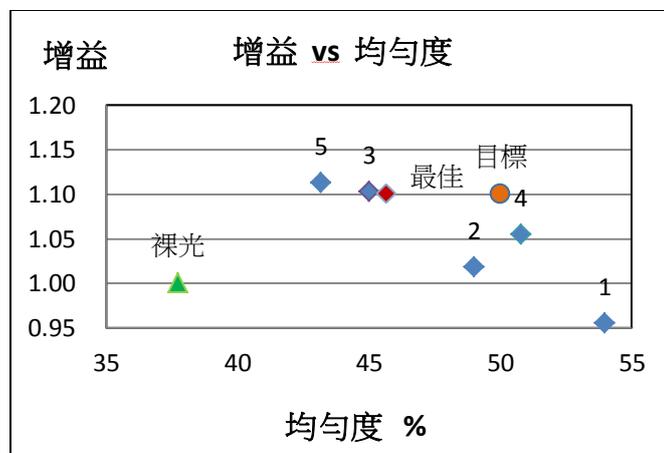
圖(4.6.1-3)在中間透鏡外加上凸透鏡



X \ Y	-668.6	0	668.6
508.5	16.571	27.164	15.150
0	25.794	35.848	22.873
-508.5	17.104	27.336	15.767

圖(4.6.1-4)照度分布圖表

進行優化，達到最佳設計結果，優化的過程中，記錄下透鏡的設計結果，做增益-均勻度座標圖如圖(4.6.1-5)，分佈為負斜率分布，在此設計思考、架構的情況下，無法達到設計目標，找到此設計的極限所在。



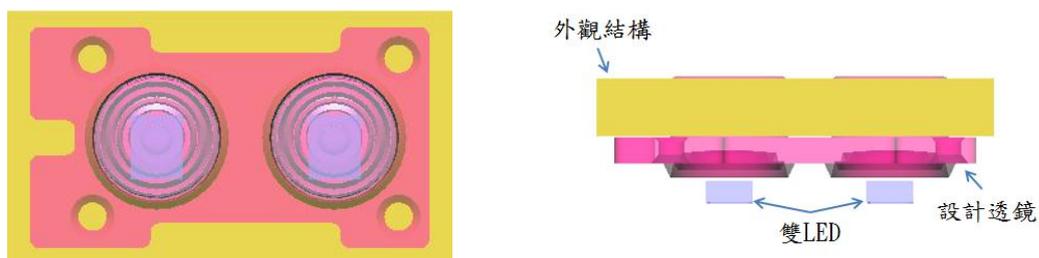
圖(4.6.1-5)FH1B 增益-均勻度

## 優化數據

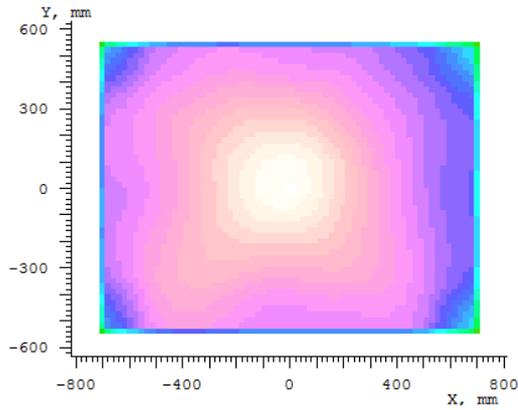
編號	中心照度	最低照度	增益	均勻度(%)
裸光	32.298	12.187	1.00	37.7
目標	35.527	17.764	1.10	50.0
1	30.841	16.641	0.95	53.9
2	32.896	16.118	1.02	49.0
3	35.623	16.031	1.10	45.0
4	34.073	17.297	1.05	50.7
5	35.937	15.511	1.11	43.1
最佳	35.559	16.234	1.10	45.6

由增益-均勻度座標圖上找出最接近目標的設計，將取增益值 1.10、均勻度 45.6%當作最佳設計，在分布圖中依然可以看到透鏡分布為負斜率，沒有辦法達到設計規格，只能得到最佳設計，此設計的難度較 FH1A 高，因為視角較大，且我們的出光孔直徑為 4mm，在此限制條件下，FH1B 設計完成。

FH1B 最佳設計完成，結構如圖(4.6.1-6)，中間的照度有達到設計目標，但是四個角的照度值是不夠的，所以均勻度是不夠的，照度分布圖(4.6.1-7)，結果為此設計的極限。



圖(4.6.1-6)FH1B 設計完成結構圖



X \ Y	-668.6	0	668.6
508.5	17.930	24.956	16.234
0	24.356	35.559	21.420
-508.5	18.583	24.864	16.702

圖(4.6.1-7)FH1B 照度分布圖表

### FH1B 設計結論

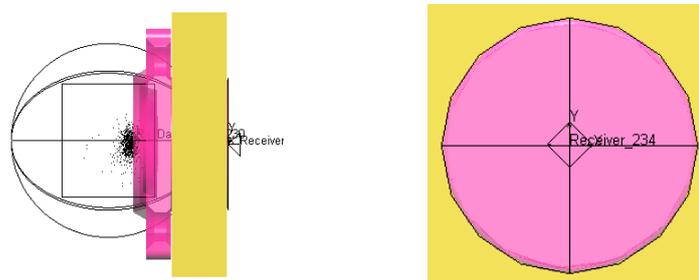
設計目標: 中心照度 35.527 lux, Gain=1.10

最低照度 17.764 lux, 均勻度 50%

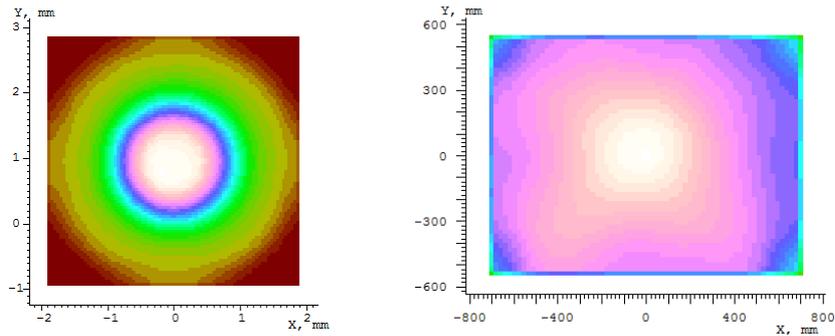
設計結果: 中心照度 35.559 lux, Gain=1.10

最低照度 16.234 lux, 均勻度 45.6%

在限制條件之下，FH1B 均勻度沒有達到規格，或許會有其它方式的透鏡設計，可以達到設計目標。在本篇論文設計思考條件之下，透鏡設計的模式固定，所以得到最後結果為此透鏡模式得極限，使用效率分析，透鏡外接收器位子，如圖(4.6.1-8)，照度分布圖如圖(4.6.1-9)，下列計算此設計得使用效率。



圖(4.6.1-8) FH1B 透鏡外接收器位子



圖(4.6.1-9)FH1B 加入透鏡出光光照圖、1000 公厘接收器光照圖

光能量使用效率計算

光源的光能:100 lumen

出光面接收器上光能:82.80 lumen

光能使用效率:82.8 %

1000 公厘接收器光能:41.45 lumen

光能使用效率:41.45 %

評估光能量的使用效率高，但面積大要讓光線變得均勻是不容易的，在此篇論文設計的方法，無法達到目標，若設計架構做更動，能夠讓更多光能量收進來，相信可以達到設計規格。

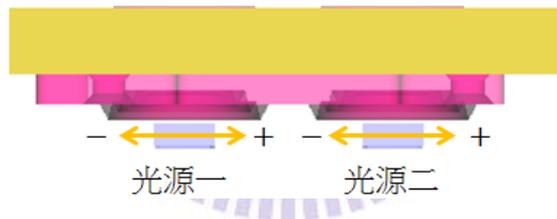
## 第五章 公差測試

閃光燈照明設計完成後，我們要對所設計的光學系統做公差或容忍度分析，公差分析在光學系統設計中是一個重要課題，目的是從光學模擬到實際的成品之間關係的分析，除了符合設計需求，最重要的是它必須能夠被製造、生產，若在設計上不容許誤差，那麼在製程或組裝上的誤差一定會使品質大打折扣，無法符合設計規格，反而此設計並非好的設計，現在的手機越來越薄，導致在設計的空間上有很大的限制，所以公差容忍度較低，本章節分別針對 FH1A、FH1B 進行公差分析與結果。

### 5.1 FH1A 公差分析

在閃光燈組裝上分別把可能產生的位移、旋轉等公差進行模擬。

(一)光源 X 方向位移公差，如圖(5.1-1)。

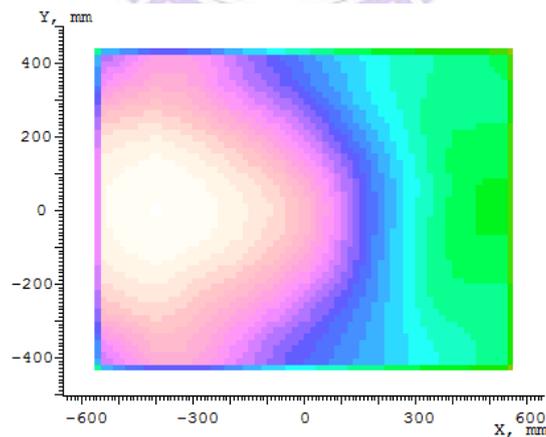


圖(5.1-1)兩光源 X 方向位移公差

光源一	光源二	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
0mm	+0.2mm	48.344	26.103	1.49	54.0	
0mm	+0.1mm	48.949	28.277	1.51	57.8	品質提升
0mm	-0.1mm	48.583	25.823	1.50	53.1	
0mm	-0.2mm	47.398	23.814	1.46	50.2	Gain下降
+0.1mm	+0.2mm	48.312	24.007	1.49	49.7	
+0.1mm	+0.1mm	48.858	26.488	1.50	54.2	
+0.1mm	-0.1mm	48.493	27.242	1.49	56.2	
+0.1mm	-0.2mm	47.366	25.236	1.46	53.3	

-0.1mm	+0.2mm	48.123	27.502	1.48	57.1	
-0.1mm	+0.1mm	48.858	26.488	1.50	54.2	
-0.1mm	-0.1mm	48.149	23.932	1.48	49.7	
-0.1mm	-0.2mm	47.116	21.273	1.45	45.1	
+0.2mm	+0.2mm	47.830	20.613	1.47	43.1	
+0.2mm	+0.1mm	48.389	24.006	1.49	49.6	
+0.2mm	-0.1mm	47.861	27.736	1.47	58.0	
+0.2mm	-0.2mm	46.828	27.053	1.44	57.8	
-0.2mm	+0.2mm	47.148	26.756	1.45	56.7	
-0.2mm	+0.1mm	47.631	25.003	1.47	52.5	
-0.2mm	-0.1mm	47.156	21.290	1.45	45.1	
-0.2mm	-0.2mm	46.232	18.031	1.42	39.0	品質最差

由上面位移公差分析中，可以發現光源往左移動時，嚴重影響照明品質，所以此照明系統組裝公差對於光源左移動的容忍度較低。兩光源向左位移 0.2mm，如圖(5.1-2)所示，右半部角落的照度下降很多，公差為±0.2mm。

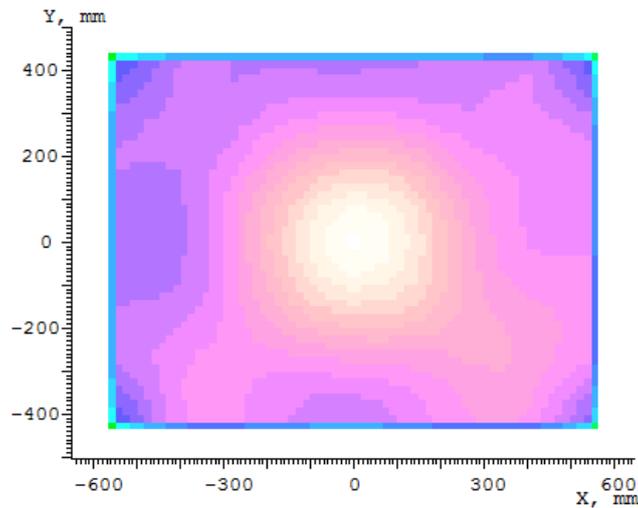


圖(5.1-2)FH1A 兩光源左位移 0.2mm 照度圖

在公差分析過程中發現，當光源二向右位移 0.1mm，在此時的照明品質較設計結果好，如圖(5.1-3)，針對此問題以下討論。

	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)
FH1A 設計結果	48.896	27.775	1.506	56.76
光源二右位移 0.1mm	48.949	28.277	1.508	57.76

右位移 0.1mm 整體的照明品質提升，但是在改變光源位子情況下所得到結果。由圖(4.4.3-6)FH1A 設計結果，可以發現照度分布圖右半部照度值較低，所以將光源向右移動一小距離，將最低的照度值拉升，有效提升均勻度。

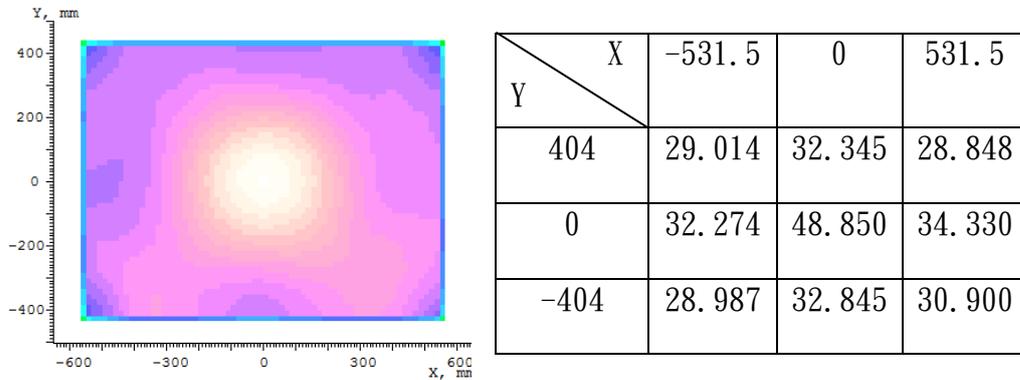


圖(5.1-3)FH1A 光源二向右位移 0.1mm

若不在機構條件之下，兩光源是在適當的調整下可以找到更佳品質，以下分別將光源、接收器做適當的調整，提升Gain、均勻度，找到最佳照明品質。

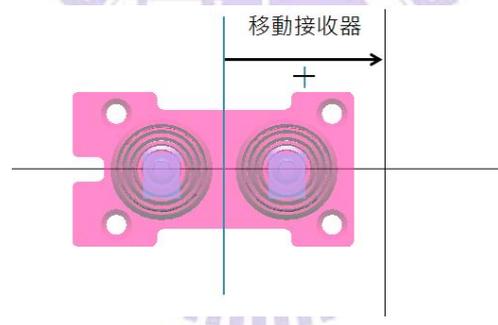
光源一	光源二	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
0mm	+0.05mm	48.946	28.485	1.508	58.20	
0mm	+0.06mm	48.916	28.630	1.507	58.53	
0mm	+0.07mm	48.889	28.760	1.506	58.83	
0mm	+0.08mm	49.014	28.606	1.510	58.36	
+0.03mm	+0.03mm	48.704	28.615	1.500	58.75	
+0.04mm	+0.04mm	48.850	28.848	1.505	59.05	最佳
+0.05mm	+0.05mm	48.876	28.800	1.506	58.92	

經過了適當調整，確實整體的照明品質提升，慢慢的可以發現每個參數的差距都是  $10^{-2}$  等級，中心照度與均勻度回歸到負斜率狀態，趨向於此設計極限，以兩光源向右位移 0.04mm 為最佳照度，如圖(5.1-4)照度分布圖。



圖(5.1-4)FH1A 兩光源右位移 0.04mm 照度分布圖

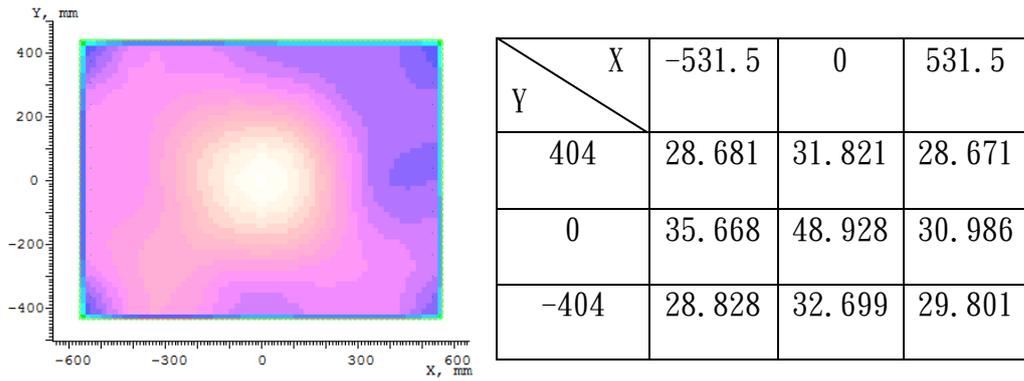
利用接收器的位子改變，是否能夠補償右邊較低的照度值，如圖(5.1-5)所示。



圖(5.1-5)位移接收器位子

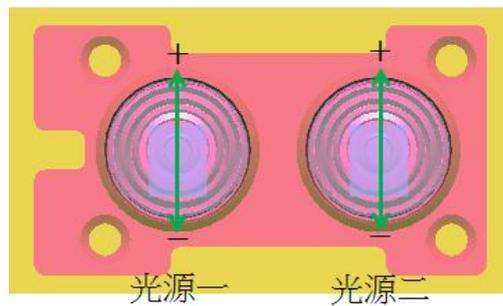
接收器位子	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
+10mm	48.921	28.220	1.507	57.69	
+15mm	48.925	28.493	1.508	58.24	
+17mm	48.928	28.671	1.508	58.60	最佳
+17.5mm	48.891	28.647	1.507	58.59	

當接收器在+17mm 時，整體照明品質提升，如圖(5.1-6)所示。



圖(5.1-6)接收器+17mm 照度分布圖

光源 Y 方向位移公差，如圖(5.1-7)所示



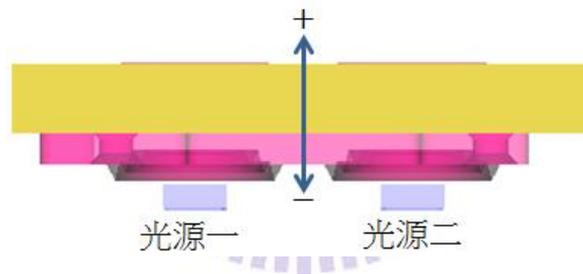
圖(5.1-7)Y 方向位移公差

光源一	光源二	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
0mm	+0.2mm	48.310	24.587	1.49	50.9	
0mm	+0.1mm	48.568	26.634	1.50	54.8	
0mm	-0.1mm	48.606	27.371	1.50	56.3	
0mm	-0.2mm	47.901	25.738	1.48	53.7	
+0.1mm	+0.2mm	48.017	23.357	1.48	48.6	
+0.1mm	+0.1mm	48.154	25.511	1.48	53.0	
+0.1mm	-0.1mm	48.651	27,651	1.48	57.4	
+0.1mm	-0.2mm	47.488	27.199	1.46	57.3	
-0.1mm	+0.2mm	48.083	25.706	1.48	53.5	
-0.1mm	+0.1mm	48.240	27.771	1.49	57.6	
-0.1mm	-0.1mm	48.267	25.966	1.49	53.8	
-0.1mm	-0.2mm	47.555	24.312	1.47	51.1	

+0.2mm	+0.2mm	47.879	21.183	1.48	44.2	均勻度下降
+0.2mm	+0.1mm	48.096	23.381	1.48	48.6	
+0.2mm	-0.1mm	48.123	25.516	1.48	53.0	
+0.2mm	-0.2mm	47.350	25.704	1.46	54.3	
-0.2mm	+0.2mm	47.346	26.025	1.46	55.0	
-0.2mm	+0.1mm	47.511	26.982	1.46	56.8	
-0.2mm	-0.1mm	47.567	24.186	1.46	50.8	
-0.2mm	-0.2mm	46.818	22.493	1.44	48.0	品質下降

由上面位移公差分析可以發現，Y 方向位移的公差容忍度比 X 方向位移的公差容忍度高，均勻度維持在 50% 左右，表示對於 Y 方向位移而言，這是一個良好的設計。

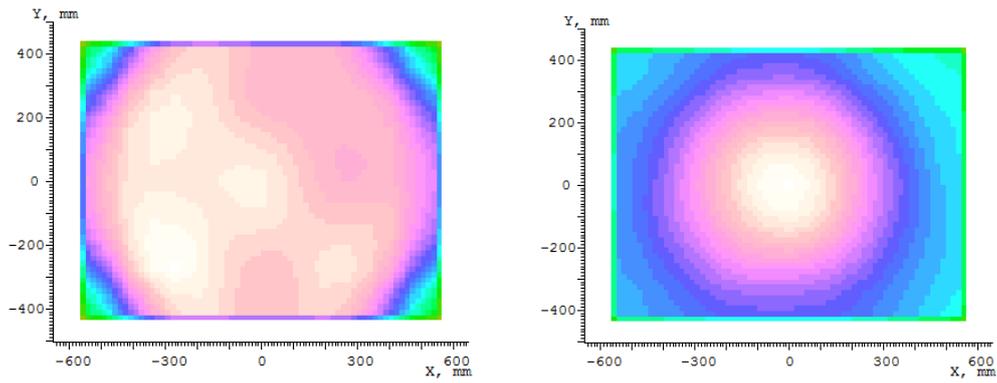
(二) 光源與透鏡之間距離，Z 方向移動，如圖(5.1-8)。



圖(5.1-8)透鏡與光源間距離

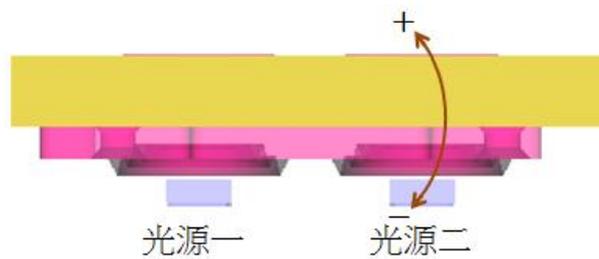
透鏡移動(Z 方向)	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
+0.2mm	54.371	18.626	1.67	34.3	Gain 上升
+0.1mm	51.557	24.762	1.59	48.0	
-0.1mm	46.457	23.925	1.43	51.5	
-0.2mm	44.688	18.590	1.38	41.6	Gain 下降

組裝過程中，光源與透鏡間距離是會有誤差產生，由上發現當距離拉遠時 Gain 值上升、均勻度下降，距離拉近時，Gain 值下降、均勻度下降。 $\pm 0.2\text{mm}$  如圖(5.1-9)所示。



圖(5.1-9)+0.2mm、-0.2mm 照度分布圖

(三)光源與透鏡之間角度公差分析，如圖(5.1-10)。

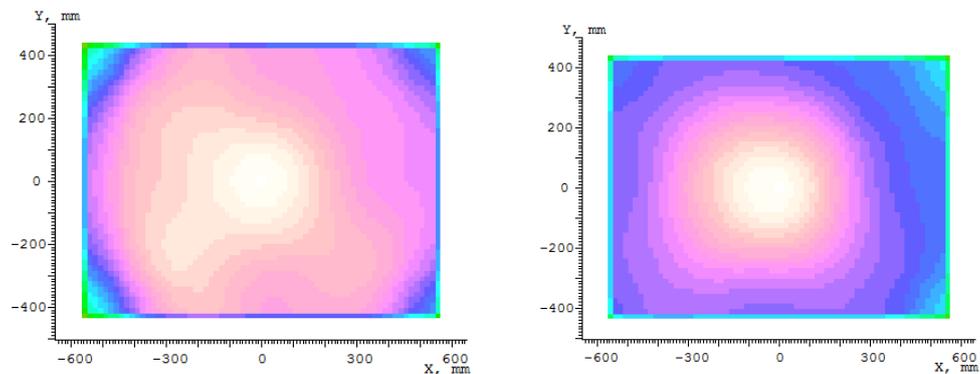


圖(5.1-10) 光源與透鏡之間角度

旋轉角度	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
+2 <sup>0</sup>	52.322	20.724	1.61	39.6	Gain 上升
+1 <sup>0</sup>	50.592	25.564	1.56	50.5	
-1 <sup>0</sup>	48.151	24.895	1.48	51.7	
-2 <sup>0</sup>	47.101	21.078	1.45	44.8	Gain 下降

當光源與透鏡並非平行，由上旋轉分析可知，角度±2<sup>0</sup>為旋轉角的極限公差，

如圖(5.1-11)所示。



圖(5.1-11)+2<sup>0</sup>、-2<sup>0</sup>照度分布圖

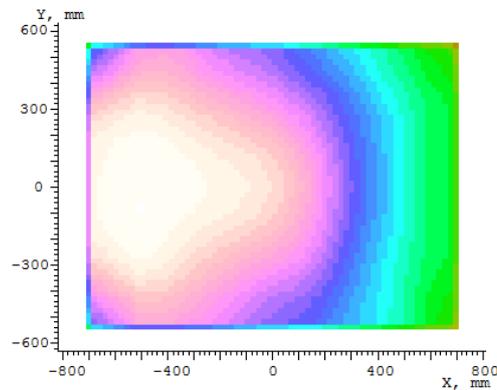
## 5.2 FH1B 公差分析

FH1B 相同在閃光燈組裝上，分別把可能產生的位移、旋轉等公差進行模擬。

(一)光源 X 方向位移公差，如圖(5.1-1)。

光源一	光源二	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
0mm	+0.2mm	35.666	14.922	1.10	41.8	
0mm	+0.1mm	35.655	16.338	1.10	45.8	品質提升
0mm	-0.1mm	35.368	14.654	1.09	41.4	
0mm	-0.2mm	35.350	13.343	1.09	37.7	
+0.1mm	+0.2mm	35.712	13.374	1.10	37.7	
+0.1mm	+0.1mm	35.704	14.777	1.10	41.4	
+0.1mm	-0.1mm	35.415	16.015	1.09	45.2	
+0.1mm	-0.2mm	35.403	14.735	1.09	41.6	
-0.1mm	+0.2mm	35.565	16.237	1.09	45.6	
-0.1mm	+0.1mm	35.446	15.935	1.09	44.9	
-0.1mm	-0.1mm	35.268	12.968	1.09	36.8	
-0.1mm	-0.2mm	35.159	11.722	1.08	33.3	
+0.2mm	+0.2mm	35.631	11.988	1.10	33.6	
+0.2mm	+0.1mm	35.681	13.399	1.10	37.6	
+0.2mm	-0.1mm	35.329	16.268	1.09	46.0	
+0.2mm	-0.2mm	35.221	15.536	1.09	44.3	
-0.2mm	+0.2mm	35.320	15.536	1.09	44.0	
-0.2mm	+0.1mm	35.456	14.560	1.09	41.1	
-0.2mm	-0.1mm	35.141	11.640	1.08	33.1	
-0.2mm	-0.2mm	35.059	10.409	1.08	29.7	品質最差

在兩光源左位移 0.2mm 照明品質下降最嚴重，如圖(5.2-1)，因為在相同的設計架構下，所以位移公差與 FH1A 的情況相同。



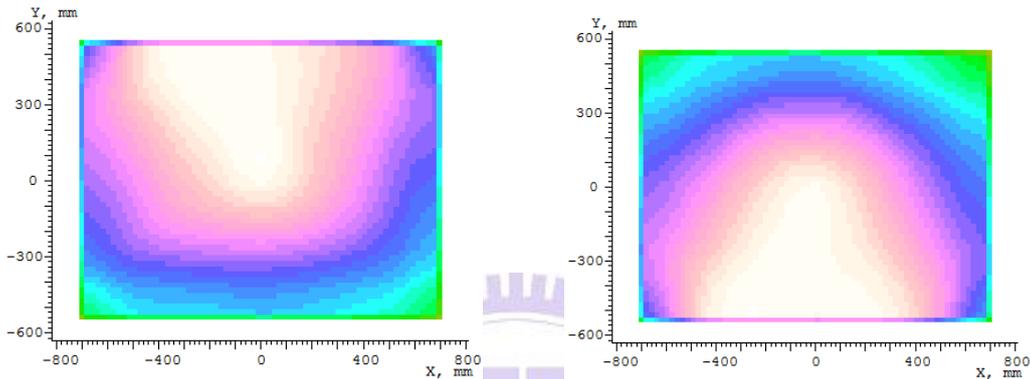
圖(5.2-1)FH1B 兩光源左位移 0.2mm 照度圖

光源 Y 方向位移公差，如圖(5.1-7)

光源一	光源二	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
0mm	+0.2mm	35.747	13.723	1.10	38.8	
0mm	+0.1mm	35.620	15.131	1.10	42.5	
0mm	-0.1mm	35.681	15.655	1.10	43.9	
0mm	-0.2mm	35.377	15.930	1.09	45.0	
+0.1mm	+0.2mm	35.767	12.630	1.10	35.3	
+0.1mm	+0.1mm	35.686	13.918	1.10	39.0	
+0.1mm	-0.1mm	35.709	15,980	1.10	44.7	
+0.1mm	-0.2mm	35.443	15.238	1.09	43.0	
-0.1mm	+0.2mm	35.762	14.659	1.10	41.0	
-0.1mm	+0.1mm	35.698	16.016	1.10	44.9	
-0.1mm	-0.1mm	35.698	14.589	1.10	40.9	
-0.1mm	-0.2mm	35.532	13.425	1.09	37.8	
+0.2mm	+0.2mm	35.898	11.158	1.10	31.1	品質最差
+0.2mm	+0.1mm	35.794	12.474	1.10	34.9	
+0.2mm	-0.1mm	35.778	14.550	1.10	40.7	

+0.2mm	-0.2mm	35.528	15.202	1.09	42.8
-0.2mm	+0.2mm	35.685	15.322	1.10	42.9
-0.2mm	+0.1mm	35.436	15.098	1.09	42.6
-0.2mm	-0.1mm	35.565	13.416	1.09	37.7
-0.2mm	-0.2mm	35.315	12.262	1.09	34.7

當兩光緣往上下位移 0.2mm 時，公差容忍度最低，如圖(5.2-2)所示。

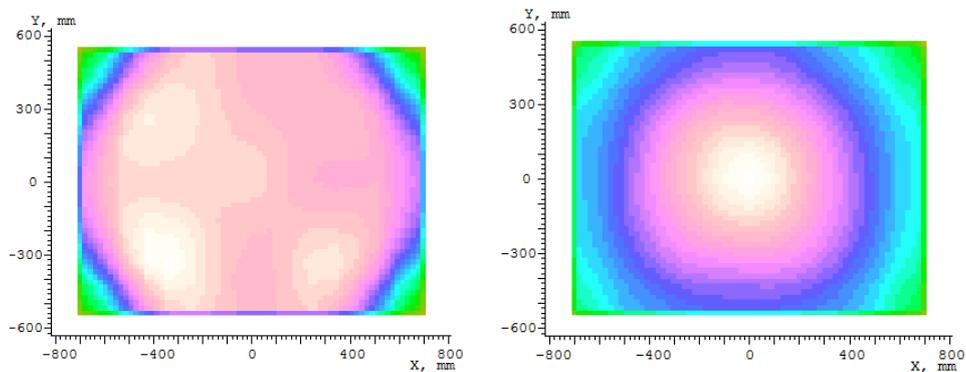


圖(5.2-2)FH1B 兩光源分別向上下位移 0.2mm 照度圖

(二)光源與透鏡之間距離，Z 方向移動，如圖(5.1-8)。

透鏡移動(Z 方向)	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
+0.2mm	37.169	11.253	1.14	30.3	均勻度下降
+0.1mm	35.710	14.643	1.10	41.0	
-0.1mm	36.171	13.887	1.11	38.4	
-0.2mm	36.604	11.505	1.13	31.4	均勻度下降

光源與透鏡間距離公差容忍度低，圖(5.2-3)所示，均勻度影響大。

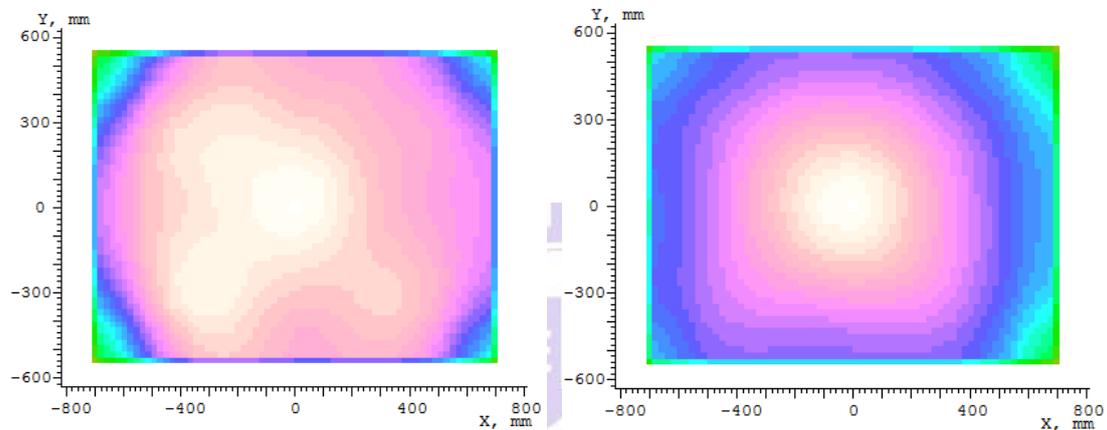


圖(5.2-3)FH1B+0.2mm、-0.2mm 照度分布圖

(三)光源與透鏡之間角度公差分析，如圖(5.1-10)。

旋轉角度	中心照度	最低照度	Gain	均勻度(%)	備註
+2°	36.851	12.398	1.13	33.6	公差極限
+1°	36.277	15.291	1.12	39.6	
-1°	35.926	14.231	1.11	39.6	
-2°	36.194	12.258	1.11	33.9	公差極限

可發現角度的容忍度差，圖(5.2-4)所示。



圖(5.2-4)FH1B+2°、-2°照度分布圖

公差分析完成，此透鏡設計在各個公差分析中可以發現公差容忍度小，所以在製造過程中必須要求精細，為此透鏡製造時須多加注意的地方。

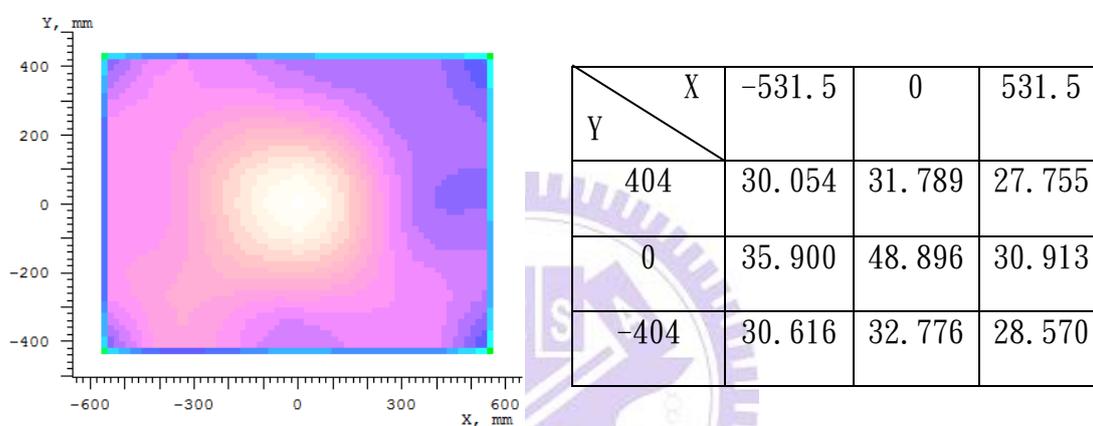
## 第六章設計結果與結論

### 6.1 透鏡設計結果

FH1A 與 FH1B 為相同的設計架構、流程，以下為最佳設計結果。

FH1A 中心照度 48.896 lux，Gain=1.5

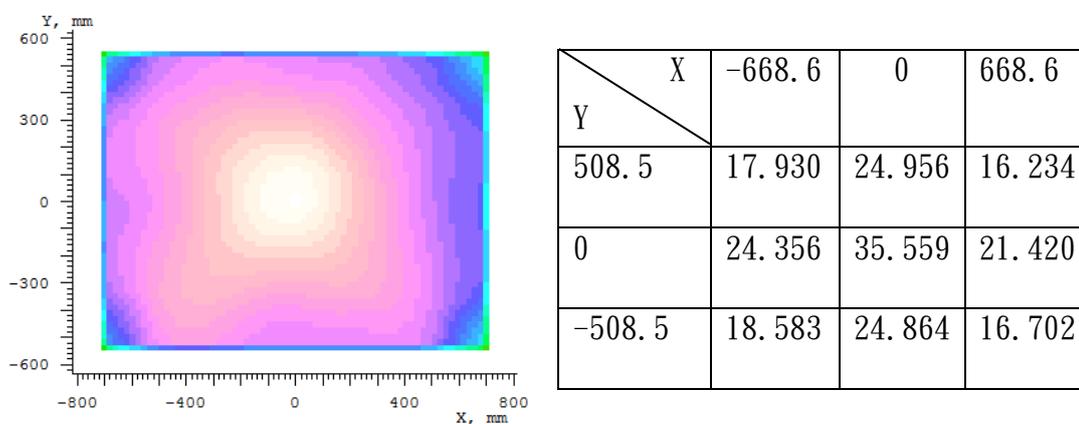
最低照度 27.755 lux，均勻度 56.8%，圖(6.1-1)



圖(6.1-1)FH1A 設計結果

FH1B 中心照度 35.559 lux，Gain=1.10

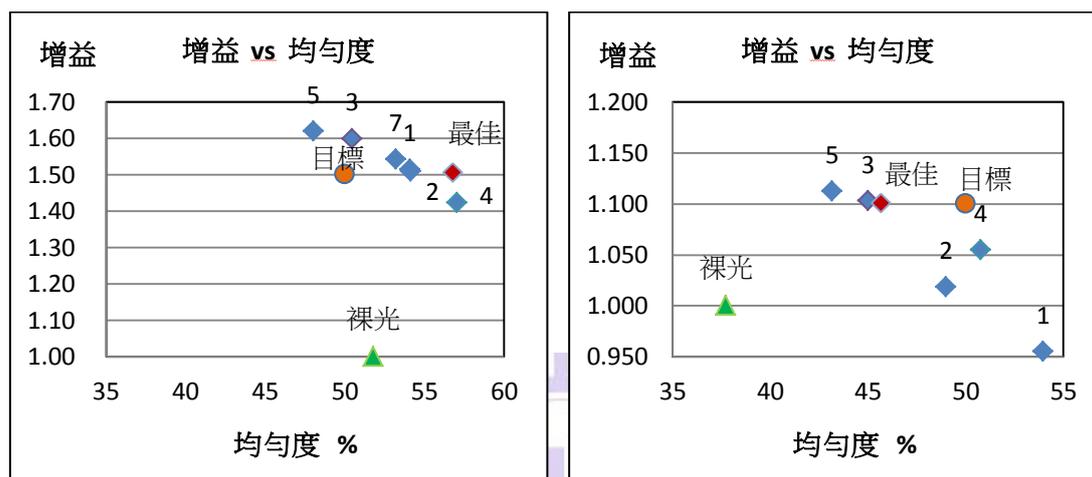
最低照度 16.234 lux，均勻度 45.6%，圖(6.1-2)



圖(6.1-2)FH1B 設計結果

## 6.2 討論

在設計的過程中，因為不同得曲率、厚度會得到不同得增益值、均勻度，作增益-均勻度圖形，可以看到其分布狀況，下面分別為 FH1A 圖(4.4.3-5)、FH1B 圖(4.6.1-5)，分布情形為負斜率散佈。



圖(4.4.3-5)FH1A 增益-均勻度

圖(4.6.1-5)FH1B 增益-均勻度

以數學式說明，了解此設計完成度

假設：增益 Y

均勻度 X

$$Y = \frac{\text{裝上透鏡中心照度}}{\text{裸光中心照度}}, \quad X = \frac{\text{四個角照度(最低)}}{\text{裝上透鏡中心照度}}$$

經過代入

$$Y = \frac{\text{四個角照度(最低)}}{\text{裸光中心照度}} \times \frac{1}{X}$$

裸光中心照度值:當光源確定後為一個定值

在此光源中心照度值: 32.45 lumen

公式成為

$$Y = \frac{\text{四個角照度(最低)}}{32.45} \times \frac{1}{X}$$

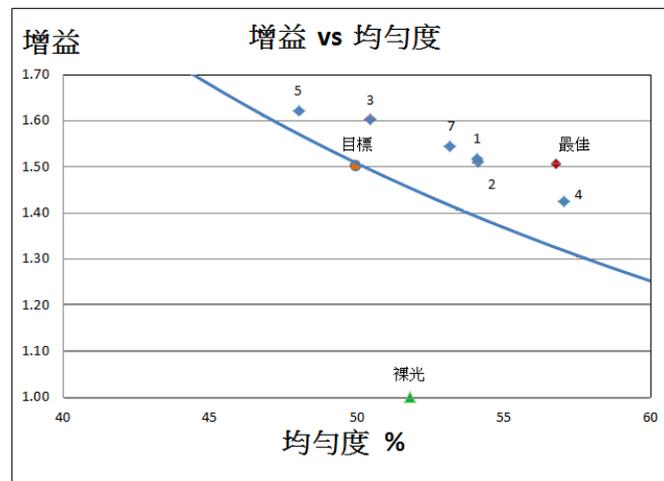
在設計的過程中，守住四個角中最低的照度值

$$XY = \frac{\text{四個角照度(最低)}}{32.45}$$

FH1A

規格:四個角照度(最低) 24.34 lumen，可以劃出規格界線如圖(6.2-1)。

$$XY = \frac{24.34}{32.45} = 0.75$$



圖(6.2-1)FH1A 規格界線

曲線部分為規格的界線，可以了解設計的透鏡是否可以達到規格，若設計透鏡落在左邊，表示此設計無法達到規格，落在界線右上，表示此設計經過調整是可以達到規格，可以很清楚了解設計是否成功。

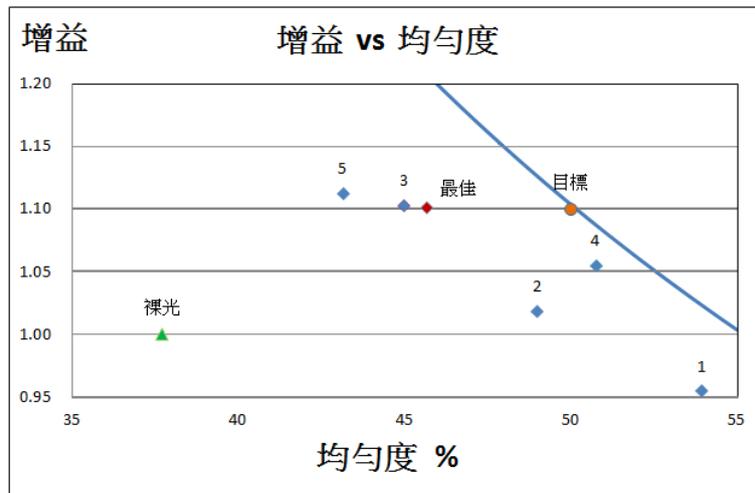
FH1B

規格: 中心照度值: 32.29 lumen

四個角照度(最低) 17.76 lumen

輸入可畫出規格界線如圖 6.2-2)。

$$XY = \frac{17.76}{32.29} = 0.55$$



圖(6.2-2)FH1B 規格界線

FH1B 設計分布圖均分布在規格界線的左邊，是無法達到設計目標，但我們可以找到最佳透鏡設計。

本篇論文完整結束，經過 FH1A、FH1B 設計規格在不同的條件之下，得到不同的結果，也未必能夠達到設計目標。此篇論文以手機閃光燈設計為主，循序漸進的完成設計，現在許多市面上的照明產品，可以參考此設計方式，進行設計，相信在許多照明系統都可以應用，進而滿足很多科技產品的需求。

## 參考文獻

- [1]101燈火秀, <http://www.epochtimes.com/b5/6/1/1/n1173656.htm>
- [2]車頭燈, [http://auto.msn.com.tw/special\\_content.aspx?sn=0801040206](http://auto.msn.com.tw/special_content.aspx?sn=0801040206)
- [3]指示燈, <http://tw.ttnet.net/ttnet/gotoprd/LG110/050/0/154303034323135323.htm>
- [4]發光材料與波長關係表, <http://www.wretch.cc/blog/alfa164/12566205>
- [5] Philips Lumileds Lighting Company, <http://www.lumileds.com>
- [6]中心照度與畫素座標圖, [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)
- [7]全反射、反射, <http://www.wikipedia.tw/>
- [8] R. Winston, J. Minano, P. Benitez, N. Shatz and J.C, “Nonimaging Optics.” 1st ed., Elsevier Academic Press, (2005)
- [9] A. Walther, “The ray and wave theory of lenses.” 1st ed., Cambridge University Press, (1995)
- [10]HTC 雙 LED 設計, <http://www.androidcentral.com/>
- [11]光源規格(CH06), [www.everlight.com](http://www.everlight.com)
- [12] Optical Research Associates, <http://www.opticalres.com/cv/features.html>
- [13] Optical Research Associates, <http://www.opticalres.com/lt/features.html>
- [14] Kyung Mi MOON, Jin Ha Kim, “Camera Flash Lens And Portable Device Including The Same.” US 2010/0178046