

非對稱 Fresnel 透鏡應用於 LED 方向燈設計

LED Direction Indicators Design with Asymmetric Fresnel Lens

劉源昌、陳世寬、林本翔

Yuan Chang Liou, Shin-Kuan Chen, Pen-Hsiang Lin

本文目的是非對稱 Fresnel 透鏡搭配 LED 應用於歐規新修訂之 ECE R6 汽車方向燈的光學設計，並藉由 ASAP 光學設計分析軟體來模擬配光。結果顯示非對稱 Fresnel 透鏡搭配 Lambertian LED 可產生左右約 20 度、上下約 10 度的非對稱配光，LED 最低流明數需求僅 38–55 lm，可比「薄」平凸透鏡的設計方式來得低一些，也比一般汽車常用方向燈傳統光源白熾燈泡低很多。

The paper presents the LED direction indicators design with asymmetric Fresnel lens, which meets the ECE R6 criterion. The opto-mechanical design software, ASAP, is adopted for the analysis of light flux. The results show that Lambertian LED and the asymmetric Fresnel lens can produce an asymmetric lightspot which is about 20 degree in horizontal and 10 degree in vertical. Therefore, the minimum requirement of LED light flux is 38–55 lm lower in the design; it is lower than that for thin flat-convex lens, and much lower than the traditional bulb P21W.

一、前言

近幾年在 LED 技術突飛猛進之下，照明應用與顯示器背光源已成為帶領 LED 產業成長的雙引擎，LED 光源應用在照明領域也從過去裝飾、間接景觀照明，逐步走向室內外主照明、車燈市場。此外，政府啟動的「綠色能源產業續升方案」，將 LED 照明與太陽能光電定為兩大主力推動產業，目前我國 LED 下游燈具應用廠多達百餘家，顯示現階段台灣 LED 產業發展已經非常興盛，預計到 2015 年 LED 產值將達到 5,400 億元，每年就業人

次超過 5.4 萬人，足見未來 LED 照明光電產業的重要性⁽¹⁻⁴⁾。短期間，LED 車燈市場驅動力主要來自 LED 車燈本身之優勢，包含設計自由度大、環保節能、高安全性，另外，隨全球車市的回暖，也將帶動 LED 車燈市場成長。中長期而言，除了 LED 車燈原本之優勢與汽車市場拉動外，政策法令將成為推動 LED 車燈發展的重要因素，其中包括 2006 年 7 月開始施行歐盟禁用有害物質限制令 RoHS，禁止使用鉛、水銀、鎘等有害物質、全球禁用白熾燈以及歐盟委員會決定在 2011 年開始各種新型的機動車配置專門的日行燈等法規將會驅動

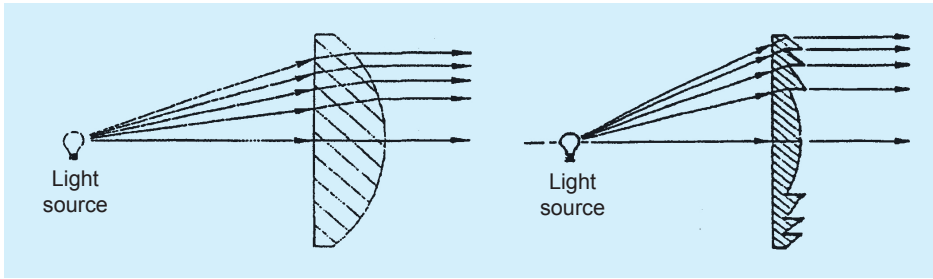


圖 1. Fresnel 透鏡與一般透鏡比較示意圖。

LED 汽車車燈市場成長^(5,6)。

車燈為車輛行駛時不可缺少的工具，其主要功能有兩點：一是照明功能，即照亮道路、交通標誌、行人等，以識別標誌和障礙物；二是信號功能，即顯示車輛的行駛狀態。由於 LED 具有體積小、使用壽命長和光源控制性高、功率消耗低、反應時間短、提高安全性、可提供平行光束、可調光等優點，在設計上更可容許小於 8 mm 高的小型系統設計，近年來在汽車照明系統應用快速成長。其中 LED 第三煞車燈為目前 LED 於汽車車燈最大應用產品，其次為 LED 尾燈應用，預估近年 LED 方向燈／煞車燈／尾燈市場將快速成長^(5,6)，因此 LED 應用於車燈的光學設計是一個重要的研究方向^(7,8)。

Fresnel 透鏡可將光線集中成一束如圖 1 所示，若使用一般之透鏡來聚光，則鏡片本身會很重，特別是焦距越短，鏡片會越厚，鏡片本身之像差問題也會變得更嚴重，聚焦之效果會跟著變差。如果燈具本身之空間（縱深）有限，又希望材料之使用成本能降低時，一般透鏡就不適合使用。而 Fresnel 透鏡採用「Riser」的設計以降低整體厚度

並使透鏡看起來平整，國內文獻關於 Fresnel 透鏡設計有相當好的研究⁽⁹⁻¹²⁾，惟未探討至非對稱的應用，由於歐規 ECE R6 汽車方向燈的配光要求為非對稱的形式，為了產生非對稱的光形設計，本文嘗試採用非對稱 Fresnel 透鏡設計方式，搭配 LED 光源，以期符合新修訂之歐規 ECE R6 汽車方向燈的配光規範⁽¹³⁾，因此本文目的是非對稱 Fresnel 透鏡應用於汽車方向燈的光學設計。

二、歐盟 ECE R6 配光規範與 LED 的選用

汽車「方向燈」意指安裝於機動車輛或其拖車，當由駕駛操縱，用來指示車輛欲轉彎之方向訊號，方向燈要求的發光顏色為琥珀色，而歐盟 ECE R6 方向燈新修訂有：取消種類 3、種類 4（側邊方向燈）之方向燈、提高各燈種之最大亮度上限（取消多光源 MAX × 1.4 倍），ECE R6 方向燈標準光度分布表如圖 2 所示，共有 19 個測試點最小值要求：左右最遠為 20 度、上下最遠為 10 度之寬扁

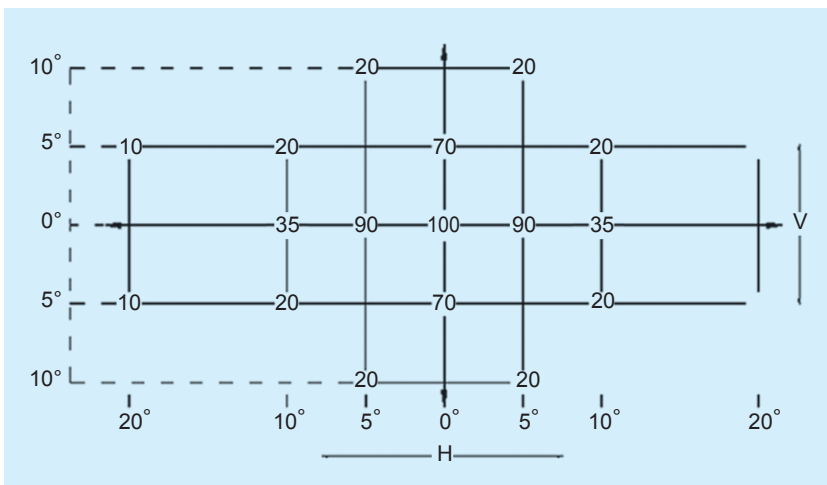
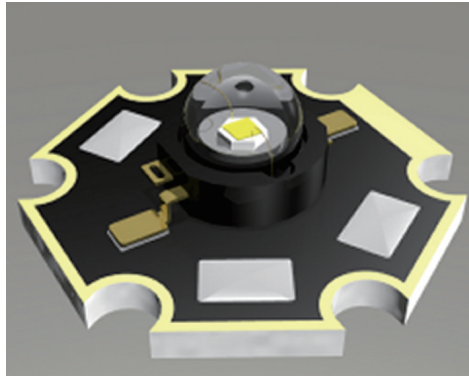
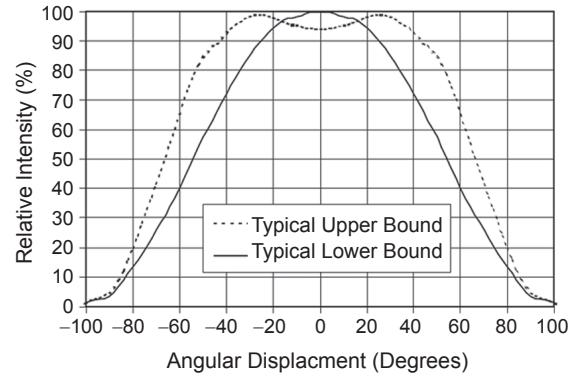


圖 2. ECE R6 方向燈標準光度分布表⁽¹³⁾。

圖 3.
Lambertian 分布的
LED⁽¹⁵⁾。



(a)



(b)

分布，其中對於方向燈種類 1 (前方向燈用於與頭燈相距不小於 40 mm 者)，最小值為 17.5 cd (左右 20 度測試點)、HV 點光度應不小於 175 cd，而且單燈 (含多光源) 最大光度上限 1000 cd (原來為 700 cd)。其中 cd 指光度，定義為單位立體角內的光通量大小；HV 點為測試座標之起始原點，當車燈配光測試時，將燈具的中心軸線水平對準前方垂直測試屏幕，這條車燈中心軸線與該垂直屏幕的交會點稱之為 HV 點，以 HV 點為中心在測試屏幕上繪出一條垂直線稱為 V-V 線及一條水平線稱為 H-H 線，這兩條軸線用來定義燈光分布座標系統之二軸，藉由配光規範以定義出法規要求的光型，而這光型是適合在道路上行車用的。

LED 的選用方面，由於光源是燈具設計的對象，決定好光源後才能繼續執行下一步的工作，所有的燈具設計考量都必須配合光源特性，才能使光源的利用效率達到最佳化。由於 LED 的發光強度變化取決於 LED 的封裝方式，如內建微透鏡將可改變不同視角與相對發光強度的分布關係，以因應用途需求而強化發光指向性 (集中) 或擴散 (分散)，因此高功率 LED 的典型的光通量分布形式有 Lambertian、Batwing、與 Side Emitting，然而目前以 Lambertian 分布為主流，因此本文僅選用 Lambertian 分布的 LED，如圖 3 所示。

三、電腦輔助光學設計分析

21 世紀的生活與電腦密不可分，綜觀各項工業或服務業的規劃皆離不開運用電腦強大計算能力

的範疇，因此資訊工業的發展將會帶動其他工業或相關產業的發展。運用電腦快速計算能力的優點，並將其運用於相關產品的開發、設計、分析製造，已成為近代工業提升競爭力的主要方法。而電腦輔助工程分析 CAE (computer aided engineering) 利用電腦強大的計算能力，輔助設計工程師在開發的過程中瞭解其產品的相關物理及結構特性，減少設計錯誤而重複修改模型的時間。

將 CAE 應用於燈具照明設計上，具有以下優點：提供設計審查與設計評估的判斷標準、提供產品設計最佳化、減少產品修改次數、提高產品品質、降低成本及縮短新產品開發時程，可見 CAE 的引進確實可幫助業界提升產業競爭力，因此本文採用 ASAP 光學設計分析軟體來模擬屏幕上的配光。

四、非對稱平凸透鏡的設計方式

一般 LED 燈具設計採用反射面或透鏡方式，而透鏡優於反射面之處有體積較小、加工製程 (射出成形) 不需真空鍍膜、製作成本較低，因此本文採用透鏡的設計方式。由於方向燈配光測試點左右最遠為 20 度、上下最遠為 10 度，對於光束分布角度大的 LED，其發光超過法規要求的配光範圍之光束形同浪費，因此本節將嘗試採用平凸透鏡的設計方式，對於 LED 左右超過 20 度、上下超過 10 度以上的光束，希望藉由透鏡曲面的設計，調整至配光區域內以提高光源利用率。

首先採用「薄」平凸透鏡的設計方式 (透鏡開口直徑為 21 mm、厚度 5.3 mm)，採用非對稱曲面

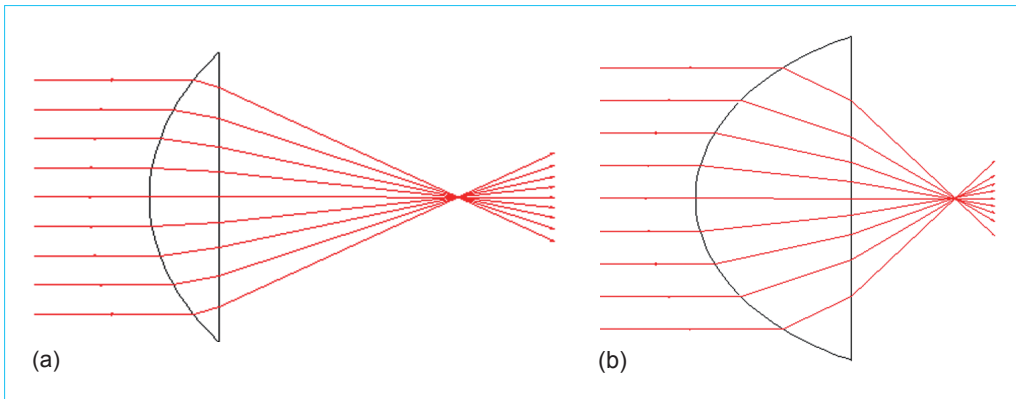


圖 4. 平凸透鏡聚光情形，(a)「薄」平凸透鏡，(b)「厚」平凸透鏡。

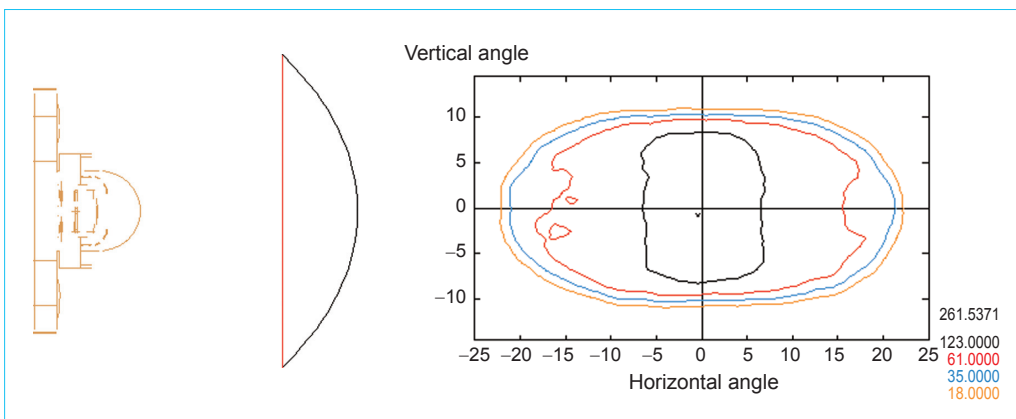


圖 5. LED 搭配「薄」非對稱平凸透鏡產生之配光分布。

方程式如下⁽¹⁴⁾：

$$Z = \frac{r^2}{2R} + k(\theta) \times \frac{r^4}{8R^3} \quad (1)$$

$$k(\theta) = k_x \cos^2 \theta + k_y \sin^2 \theta \quad (2)$$

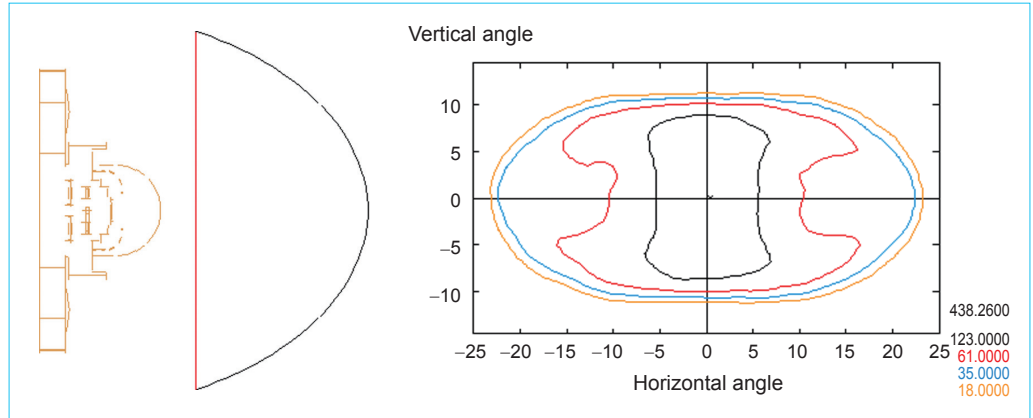
其中， r 為徑向、 Z 為光軸方向、 R 為曲率半徑， $k(\theta)$ 為可隨光軸截面上之角度 θ 而改變的配光調整

係數，決定透鏡的光型範圍，例如 $\theta = 0$ 度時，表示水平位置， $k(\theta) = k_x$ ； $\theta = 90$ 度時，表示垂直位置， $k(\theta) = k_y$ ；當 $k_x \neq k_y$ ，在水平方向與垂直方向光線分布的聚光效應不同，因而可設計出非軸對稱的光型。凸透鏡面經此非對稱曲面設計後可使平行光束聚光如圖 4(a) 所示，焦距約 18 mm，LED 搭配此「薄」非對稱平凸透鏡產生之測試屏幕上配光分布如圖 5 所示，其中各測試點的設計值如表 1 所

表 1. 各測試點的法規要求與設計值之比較。

測試點	10U		5U/D		H		
	5L/R	20L/R	10L/R	V	10L/R	5L/R	V
光度要求最小值 (cd)	35	17.5	35	122.5	61.3	157.5	175
「薄」平凸透鏡設計值	40	22	100	197	89	157.5	259
「厚」平凸透鏡設計值	62	37	89	280	63	143	436
3 環 Fresnel 透鏡設計值	93	18	132	200	88	176	234
5 環 Fresnel 透鏡設計值	127	19	129	152	105	168	187
7 環 Fresnel 透鏡設計值	151	18	143	171	123	174	176

圖 6.
LED 搭配「厚」非對稱平凸透鏡產生之配光分布。



示。由於此平凸透鏡為非對稱形式，因此在配光圖中等光度曲線亦呈現左右約 22 度、上下約 11 度的非對稱分布。此外，經由透鏡曲面設計可將 LED 左右超過 20 度以上、上下超過 10 度以上的光束調整至配光區域內，使得 LED 發出的光束能充分利用（一般常用的 LED 的光束分布皆超過 20 度），因此最低流明數需求只需 48 lm，如表 2 所示，比歐規一般汽車常用白熾燈泡方向燈光源 PY21W 燈泡 / 280 lm、或 P21W 燈泡 / 440 lm 低很多。

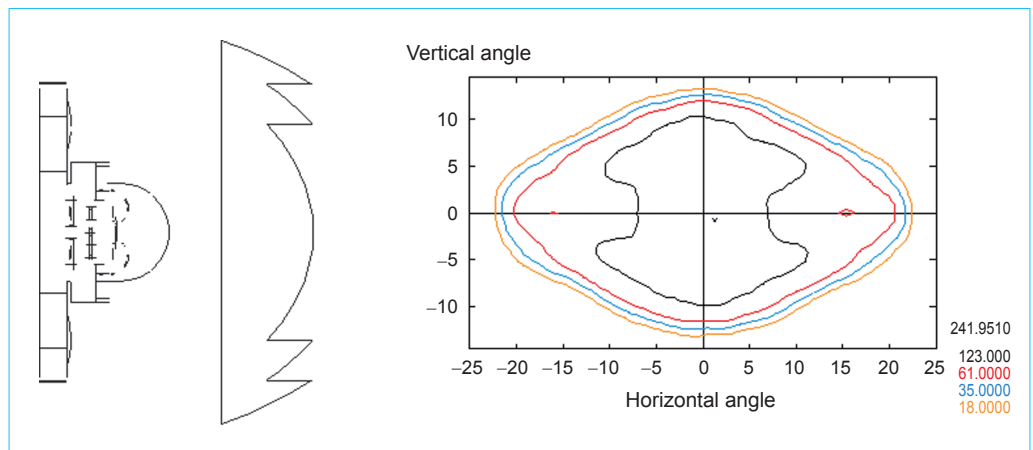
因為「薄」平凸透鏡的焦距較長，限制了 LED 位置需離透鏡較遠，對於 LED 光束角度大於透鏡開口的直射光束部分則未能經由透鏡調整，為了提高 LED 光束利用率，接下來嘗試採用「厚」平凸透鏡的設計方式，厚度加倍（厚度為 10.6 mm），因此焦距縮短為 7 mm，如圖 4(b) 所示，LED 搭配此「厚」非對稱平凸透鏡產生之測試屏幕上配光分布如圖 6 所示，其中各測試點的設計值

如表 1 所示，由於 LED 位置可靠近透鏡，有較多的 LED 側向光束能經由透鏡調整，因此最低流明數需求降為 31 lm，如表 2 所示。

五、非對稱 Fresnel 透鏡的設計方式

Fresnel 透鏡比傳統凸透鏡有重量輕、厚度薄、生產成本低之優點⁽⁹⁾，因此本文再接下來採用非對稱 Fresnel 透鏡的設計方式，曲面分割採用等厚度的方式，環數分別有 3 環、5 環、7 環，Fresnel 透鏡厚度分別為 5.3、3.53、2.65 mm，LED 搭配這些非對稱 Fresnel 透鏡產生之配光分布分別如圖 7 至圖 9 所示，其中各測試點的設計值如表 1 所示，環數增加時透鏡的厚度與重量雖有減少優點，但是光跡路徑改變，因透鏡表面鋸齒形之同心環間斷差的影響也增加了，LED 光束經過 Fresnel 透鏡鋸齒間的斷面產生向外偏折現象，導致光形較

圖 7.
LED 搭配 3 環非對稱 Fresnel 透鏡產生之配光分布。



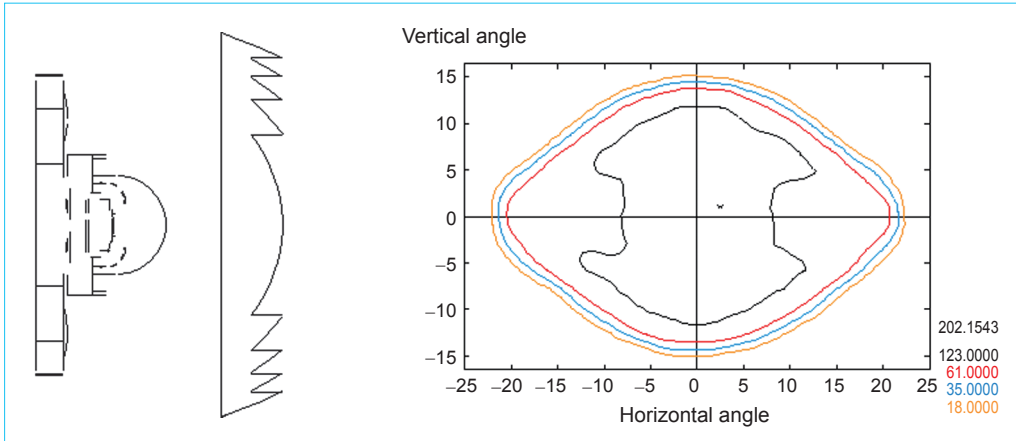


圖 8.
LED 搭配 5 環非對稱
Fresnel 透鏡產生之配
光分布。

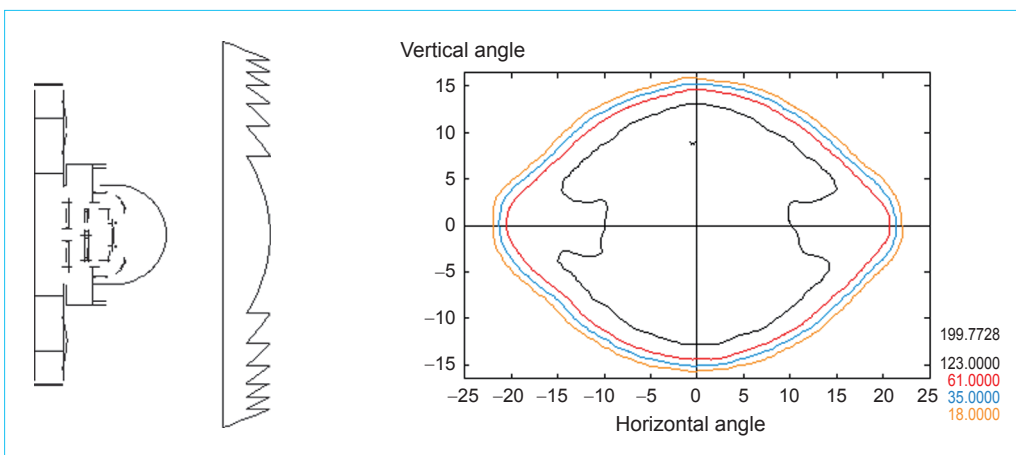


圖 9.
LED 搭配 7 環非對稱
Fresnel 透鏡產生之配
光分布。

擴散呈現左右約 22 度、上下約 15 度的非對稱分布，因此 LED 最低流明數需求也隨之增加，介於 38–55 lm，如表 2 所示，雖然比「厚」平凸透鏡的設計方式都來得高一些，但由於 LED 位置可較靠近透鏡，有較多的 LED 側向光束能經由透鏡調控，因此最低流明數需求比「薄」平凸透鏡的設計方式來得低一些。

六、結論

本文分別採用平凸透鏡與 Fresnel 透鏡的設計方式來設計 LED 汽車方向燈的光形，由於 Fresnel 透鏡的厚度比平凸透鏡來得薄，因此搭配 Fresnel

透鏡的 LED 汽車方向燈燈具縱深可縮短，惟 Fresnel 透鏡鋸齒間的斷面影響了光跡路徑，因此 LED 最低流明數需求略增，茲將其他結果摘述如下 (透鏡開口直徑固定為 21 mm)。

1. 平凸透鏡的設計方式：等光度曲線左右約 22 度、上下約 11 度的非對稱分布，其中「薄」平凸透鏡厚度為 5.3 mm、焦距 18 mm、最低流明數需求為 48 lm，「厚」平凸透鏡厚度為 10.6 mm、焦距 7 mm、最低流明數需求降為 31 lm。
2. Fresnel 透鏡的設計方式：等光度曲線左右約 22 度、上下約 15 度的非對稱分布，其中環數分別有 3 環、5 環、7 環，厚度分別為 5.3、3.53、2.65 mm，最低流明數需求介於 38–55 lm。

設計方式	「薄」平凸透鏡	「厚」平凸透鏡	3 環 Fresnel 透鏡	5 環 Fresnel 透鏡	7 環 Fresnel 透鏡
流明數	48	31	38	46	55

表 2.
LED 的最低流
明數需求比較。

參考文獻

1. 太陽光電／照明科技專輯, 電機月刊, **242** (2), (2011).
2. LED 固態照明特刊, 光學工程季刊, **110**, (2010).
3. 孫慶成, 科儀新知, **31** (2), 90 (2009).
4. 洪茂峰, 林世雄, 邱馨慧, 項嵩仁, 姜志輝, 科儀新知, **31** (3), 60 (2009).
5. 陳逸民, 光連雙月刊, **88**, 67 (2010).
6. 黃孟嬌, 林志勳, 全球 LED 車燈市場發展趨勢, 綠色能源產業資訊網 (2009/12/16).
7. 王溫良, 車輛研測資訊, **68**, 1925 (2009).
8. 姜雅惠, 工業材料, **239**, 145 (2006).
9. 林苡任, 菲涅爾透鏡 (Fresnel lens) 之光學設計與精密成形, 高雄應科大模具系碩士論文 (2009).
10. 駱志龍, Fresnel 透鏡設計與應用, 中央大學光電所碩士論文 (2001).
11. 謝明良, 光學工程季刊, **45**, 11 (1994).
12. 林時正, 機械工業雜誌, **5**, 231 (1993).
13. 陳彥亨, ECE 訊號類燈具法規修訂及法規網站介紹, 歐、美規車輛燈具外銷驗證及檢測技術研討會, 財團法人車輛研究測試中心主辦, 彰化縣 (2010.09.15).
14. 劉源昌, 劉昭忠, 林宏燊, 江宗勳, 電機月刊, **218** (2), 108 (2009).
15. ASAP 光學設計分析軟體.



劉源昌先生為國立成功大學航太博士，現任中州技術學院電機工程系教授。

Yuan Chang Liou received his Ph.D. in aeronautics and astronautics from National Cheng Kung University. He is currently a professor in the Department of Electrical Engineering at Chung Chou Institute of Technology.



陳世寬先生為國立中正大學電機博士，現任中州技術學院電機工程系副教授。

Shin-Kuan Chen received his Ph.D. in electrical engineering from National Chung Cheng University. He is currently an associate professor in the Department of Electrical Engineering at Chung Chou Institute of Technology.



林本翔先生現為中州技術學院工程技術研究所研究生。

Pen-Hsiag Lin is currently a M.S. student in the Graduate Institute of Engineering Technology at Chung Chou Institute of Technology.