

LED 遠光燈光學設計之研究

劉源昌^{*1} 劉昭忠² 黃浩榮³

¹ 中州科技大學電機與能源科技系教授 ycliou@dragon.ccut.edu.tw

² 中州科技大學電機與能源科技系助理教授 c00jc100@dragon.ccut.edu.tw

³ 中州科技大學電機與能源科技系講師 hhj@dragon.ccut.edu.tw

摘要及關鍵詞

本文目的是符合歐盟配光要求的高亮度 LED 汽車遠光燈光學設計之探討，以「三維非軸對稱反射鏡面的設計」可設計出完全無段差之平滑完整曲面，產生之配光上下分佈約為 ± 2 度、左右分佈約為 ± 6 度之扁平分佈。由於本文設計方式之光源利用率很高，因此當 LED 流明數設定為 140 lm 以上時，配光結果即可符合 ECE R112 遠光燈法規配光要求，意即若採用目前全世界最亮的白光 LED 僅需 1 顆，證實本文設計方式的實用性。

關鍵詞：光學設計、遠光燈、發光二極體

通訊作者

姓名：劉源昌

E-mail：ycliou@dragon.ccut.edu.tw



壹、緒論

由於 LED 製造成本持續降低，以及效率和亮度不斷提高，配合 LED 所具有的壽命長、安全性高、發光效率高、色彩豐富、體積小、環保等特點，使得 LED 在一般照明市場應用得以大幅度擴張，帶動其市場需求成長，預估 2017 年將成長至 461 億美元左右，2011-2017 年複合成長率達 49%，市場成長相當快速如圖 1 所示[1]。此外，近年來 LED 燈具也廣泛應用在居家、車輛、戶外、建築等照明，據研究顯示，LED 燈具約可節省超過 80% 以上的能源，因此 LED 燈具已成為未來趨勢。全球 LED 汽車車燈市場，短期間驅動力主要來自 LED 車燈本身之優勢，包含設計自由度大、環保節能、高安全性。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，例如歐盟禁用有害物質限制令（禁止使用鉛、水銀、鎘等有害物質）將會驅動 LED 汽車車燈市場成長，由此可見 LED 車燈也是一個重要的研究領域[2,3]。

貳、文獻探討

本文針對 LED 遠光燈的光學設計來研究，因此接下來回顧國內外有關於 LED 遠光燈設計之研究情形。國外文獻方面在 LED 前方照明（例如遠光燈、近光燈）[4-17]從 2003 年開始，第一篇文獻為世界車燈大廠 Valeo[4]採用投射式光學系統模組設計，不同於目前的投射式系統有：僅採用一半之橢圓反射鏡、並將遮光片水平安置，頭燈設計使用了 28 顆模組；後續研究有文獻 6 探討關於 SAE 頭燈之可行光學系統有：自由曲面之反射面式光學、透鏡光學、拋物反射鏡與非球面透鏡組合光學、投射式模組系統、Fresnel 透鏡光學、複合式拋物集中器光學；日本車燈大廠 Koito[8]採用了反射鏡的形式設計遠、近光燈，SAE 近光燈使用了 13 個模組、每個模組有 2 顆 30 lm 的 LED，SAE 遠光燈使用了 14 個模組、每個模組有 1 顆 95 lm 的 LED；文獻[9]提出考慮到光學、電系、機械、溫度問題之反射式與投射式光學系統，並認為 5~10 年內可取代傳統頭燈；文獻[10]採用 LumiLeds Luxeon LED，近光燈使用 5 顆 LED、遠光燈使用 10 顆 LED；文獻[11]為日本車燈大廠 Koito 設計 Lexus LED 近光燈採用的方式，以投射式光學系統設計三種不同程度擴散有明暗截止線的光形、加上拋物柱面設計最擴散光形，組合成所需的近光燈組，但是遠光燈仍採用傳統光源。國內研究情形：文獻[14、15]採用 Side Emitting LED 配合 MR（多重曲面）反射燈罩針對目前歐盟法規作概念性的近光燈設計，預計需 10 組反射燈罩才能達到法規最低要求，但並未探討遠光燈設計。文獻[16]採用 Lambertian LED 的投射式近光燈設計，採用 7 個單元模組堆疊後的配光，並採用多重反射鏡面來設計遠光燈。文獻[17]採用 Lambertian LED 的 AFS-LED 頭燈系統設計。由上述文獻回顧可知，一般文獻上僅作概念式的敘述，不易得知其實際設計方式，意即只能知其 Know Why 但卻無從得知其 Know How，尚需花費很多的研發時間以累積實際的設計經驗，因此本文目的是符合 ECE R112 配光規範之高亮度 LED 遠光燈光學設計之研究。



參、歐規 ECE R112 遠光燈配光規範

遠光燈的配光要求為：具有足夠大的發光強度與足夠寬的照明範圍、而且還要求遠光光束(最大照度點)儘量靠近中心(HV 點)，所以歐規 ECE R112 標準對於配光屏幕上檢驗點的照度值要求如表 1 及圖 2 所示，僅有亮區照度五個測試點要求，而且測試點皆位於水平線上、左右最遠僅至 5.14 度(最少需 6 Lux)，因此屬於集中扁平光型。

肆、LED 遠光燈的光學設計

本文採用 LED 光源部分，由之前文獻回顧可知在 LED 車燈設計以採用 LumiLeds 所研發出的 LED 為主流，而 5 Watt 以上 Batwing type 停產，因此本計劃採用 LumiLeds 最主要的 Spatial Radiation Pattern—Lambertian：分佈角度達 ± 100 度，但大部分集中於 ± 70 度，如圖 3 所示[18]。並搭配主流設計趨勢將採用無花紋的透明燈殼，因此法規要求特定的配光，完全交由反射鏡面來擔任，因此反射鏡面設計的好壞將是主要關鍵，所以接下來研究反射鏡面的設計。

本文作者日前所提出之「三維非軸對稱反射鏡的新式設計」[19]可產生非常彈性的三維非軸對稱配光，因此嘗試採用此方式來設計反射鏡面。「三維非軸對稱」之反射鏡設計方程式為：

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

$$c(\theta) = c_x \cos^2 \theta + c_y \sin^2 \theta \quad (2)$$

其中 r 為徑向、 Z 為光軸方向、 f 為拋物線的焦距、 R 為曲率半徑， $c(\theta)$ 為可隨光軸截面上之角度 θ 而改變的配光調整係數，決定反射鏡的光型範圍，例如 $\theta = 0$ 度表示水平位置， $c(\theta) = c_x$ ； $\theta = 90$ 度時表示垂直位置， $c(\theta) = c_y$ ，當設定 $c_x = c_y$ ，反射鏡面將是軸對稱，因此產生之配光亦將是軸對稱，屬於軸對稱的光型設計。當 $c_x \neq c_y$ ，在水平方向與垂直方向光線分佈的聚散效應不同，因而可設計出非軸對稱的光型。

在此反射鏡面縱身 10 cm、開口約 12 cm 如圖 4 所示，而且 LED 將位於反射鏡焦點並朝光軸方向，由於遠光燈配光測試點皆位於水平線上、左右最遠僅至 5.14 度，因此屬於集中扁平光型，開始會令人先想以具有聚光效果的拋物面來當成反射鏡面。

當反射鏡設計方程式取 $c_x = c_y = 0$ 時恢復成拋物曲面 (LED 光源設定為 140 流明)，產生軸對稱之配光如圖 5 所示，其中 6 Lux 等照度範圍僅至 2 度、而且最大值約為 1425 Lux，亦遠遠超過照度最大值不得超過 240 Lux 要求，可見拋物面反射鏡產生的配光太集中致使過亮且分佈範圍不夠寬廣，顯然不符合遠光燈配光規範，因此即使 LED 光源提高流明數亦無法反產生符合法規的配光。

若取係數 $c_x = c_y \neq 0$ 時將反射鏡具有雙曲面擴散光束的特性，產生軸對稱之配光如圖 6 所示，可產生符合法規的配光，惟 LED 光源流明最低需求為 600 Lm，由於一位駕駛者需要的是一個寬廣但不高的配光，軸對稱之光型在上下方向將形成過高之分佈 (配光浪費)，因此 LED 光源流明數需求高。

當反射鏡設計採用「三維非軸對稱的光型設計」(亦即係數需取 $c_x \neq c_y$) 時，產生上下分佈約為 ± 2 度、左右分佈約為 ± 6 度之非軸對稱之配光如圖 7 所示，可產生符合法規的配光，LED

光源流明需求僅 140 Lm，由於「非軸對稱非拋物面方程式」可取 $c_x \neq c_y$ ，使得在水平方向與垂直方向光線分佈的聚散效應不同，因而可設計出非軸對稱扁平分佈光型，十分適合遠光燈配光規範，因此 LED 光源流明數需求最低。

表 1 為歐規 ECE R112 配光要求值與本文光學設計值之比較，本設計最大值為 52 Lux 符合法規要求，每個測試點或測試區域皆可符合法規需求，因此採用 LED 光源搭配三維非軸對稱之反射鏡面的設計可符合遠光燈配光法規的要求，而且 LED 流明數需求僅 140 Lm，遠低於傳統遠光燈光源約 1000 Lm，而目前全球單顆白光 LED 亮度最高係由 LumiLeds 研發出的最新的產品—LUXEON® K2 Emitter（輸出光通量為 140 Lm），則僅需 1 顆 LED 即可。

伍、結論

本文研發符合歐洲法規規範的白光 LED 遠光燈的照明設計，產生之配光上下分佈約為 ± 2 度、左右分佈約為 ± 6 度之扁平分佈，各個測試點可符合 ECE R112 配光標準，LED 光源流明數需求僅 140 Lm。若採用目前全世界單顆最亮的 1 Watt 白光 LED，遠光燈僅需 1 顆，是目前國內外已有研究中使用最少 LED 數量的新嘗試，符合本文以使用最少顆 LED 為設計方向之目標。



參考文獻

1. 黃孟嬌 (2013, 4月25日)。全球LED照明市場剖析，綠色能源產業資訊網。
2. (2011, 10月)。(LED)車用光電特刊，光學工程季刊，110。
3. 陳逸民 (2010, 7月)。全球車用LED產業與市場，光連雙月刊，88，67-70。
4. Albou, P. (2003). *LED Module for Headlamp*. SAE Tech Paper Series 2003-01-0556。
5. (2004). *Light-Emitting Diodes in Automotive Forward Lighting Applications: Materials Engineering Solutions to Fundamental Challenges*. SAE Tech Paper Series 2004-01-0225,
6. (2004). *Studies for Headlamp Optical Design Using Leds*. SAE Tech Paper Series 2004-01-0434.
7. (2004). *An Automotive Forward Lighting Optical System Using Leds*. SAE Tech Paper Series 2004-01-0436.
8. (2004). *Led Headlamps*. SAE Tech Paper Series 2004-01-0437.
9. (2005). *LED Headlamps – High Efficient Optical System*. SAE Tech Paper Series 2005-01-0860.
10. (2008). *LED Headlamp Development for Mass Production*. SAE Tech Paper Series 2008-01-0339.
11. (2011). *LED Solutions for Mainstream Penetration in Automotive Lighting*. SAE Tech Paper Series 2011-01-0116.
12. (2012). *Future Opportunities with LED Front Lighting*. SAE Tech Paper Series 2012-01-0264.
13. 孫慶成 (2004, 12月2~3日)。LED頭燈設計原理介紹，AFS暨LED頭燈系統研發技術研討會，財團法人車輛研究測試中心主辦。
14. 彭偉捷，李宗憲，馬仕信，孫慶成，許日滔 (2005, 6月)。高功率LED汽車近光頭燈設計，光學工程，90，83-89。
15. 許日滔 (2005, 3月)。高效能LED頭燈設計，車輛研測資訊，45，8-19。
16. Hsu, J. T. and Wang, W. L. (2006). *Automotive Forward Lighting with Use of High Flux White Light-Emitting Diodes*. SAE Tech. Paper 2006-01-0104.
17. <http://www.philipslumileds.com/>
18. 劉源昌 (2005, 9月)。三維非軸對稱反射鏡的新式設計，光學工程季刊，91，37-43。



表 1 歐規 ECE R112 汽車遠光燈之配光標準與本設計值之比較

測試點或測試區域	照度要求 (Lux)	本文設計值
H - 5.14 R	6 min	7
H - 2.57 R	24 min	50
H - V	$E_{\max} \times 0.8$ min	42
H - 2.57 L	24 min	50
H - 5.14 L	6 min	7
E_{\max}	48 ~ 240	52

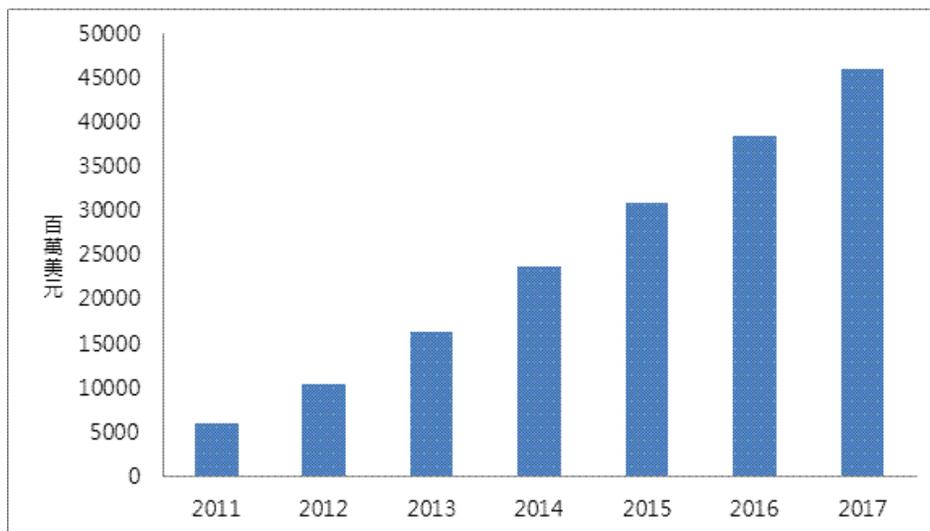


圖 1 2011~2017 LED 照明市場規模分析 (資料來源：工研院 IEK 整理)

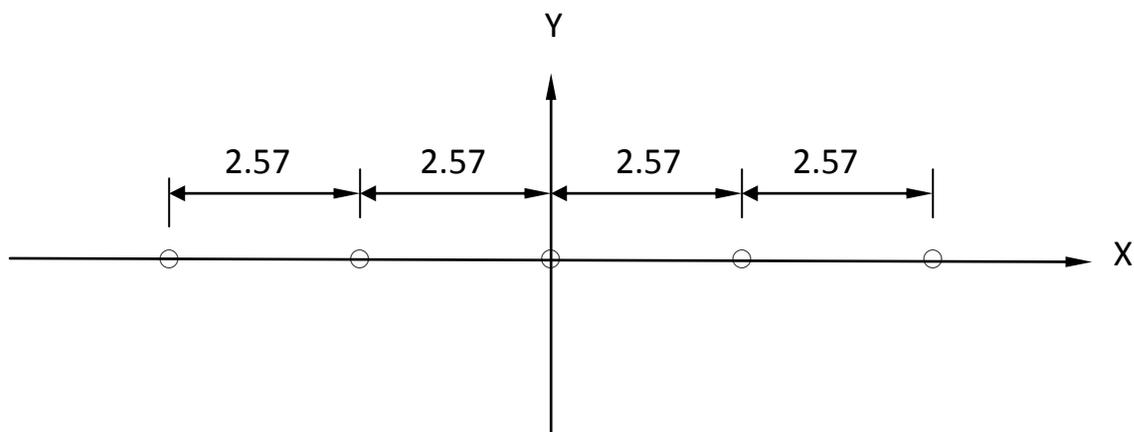


圖 2 歐規 ECE R112 遠光燈規範要求的測試點



Typical Representative Spatial Radiation Pattern for White Lambertian

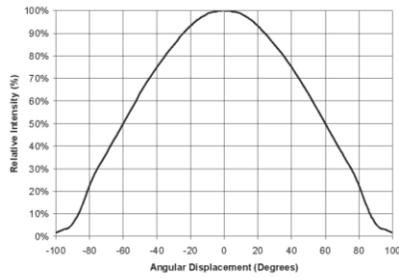


Figure 22: Typical Representative Spatial Radiation Pattern for White Lambertian.

Typical Polar Radiation Pattern for White Lambertian

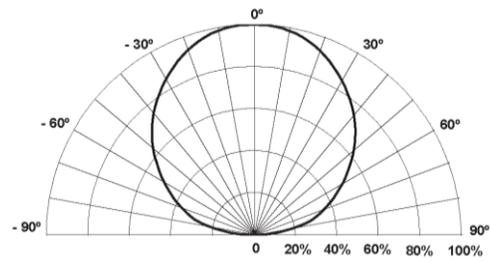


Figure 23: Typical Polar Radiation Pattern for White Lambertian.

圖 3 LumiLeds 最主要的 Spatial Radiation Pattern—Lambertian

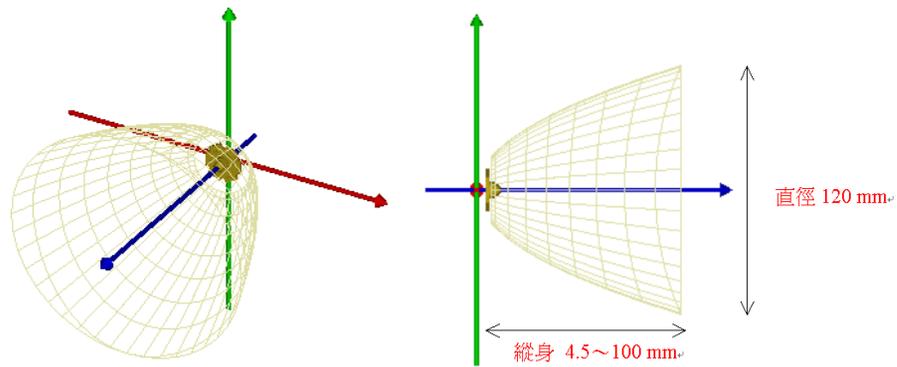


圖 4 遠光燈採用的三維非軸對稱的反射鏡面設計

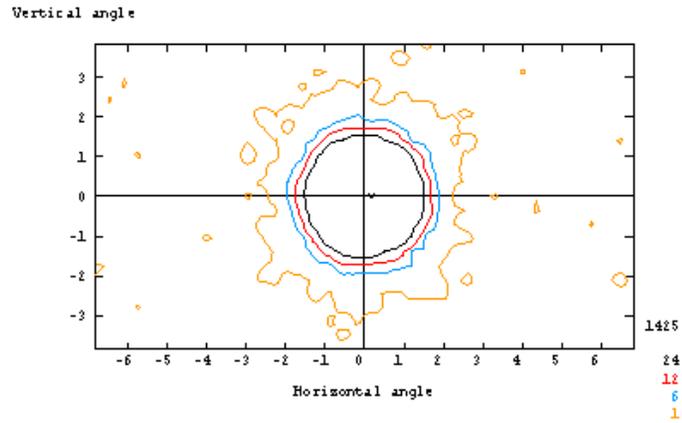


圖 5 配光圖($c_X=c_Y=0$)

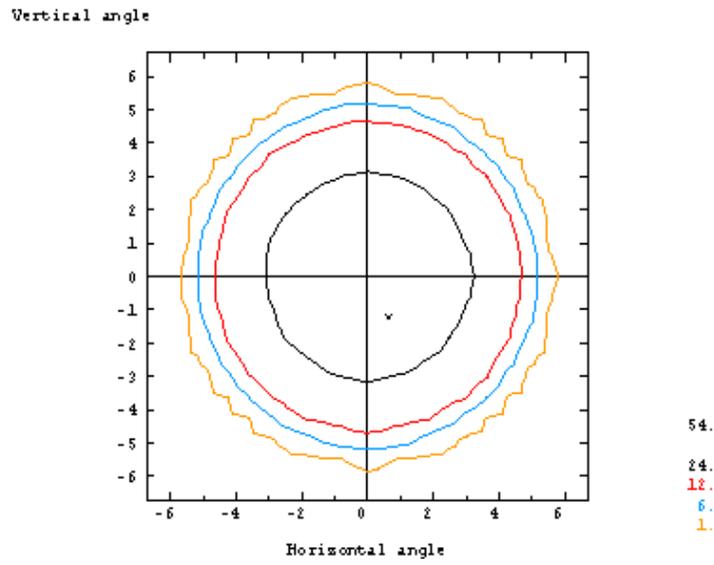


圖 6 配光圖($c_X=c_Y \neq 0$)

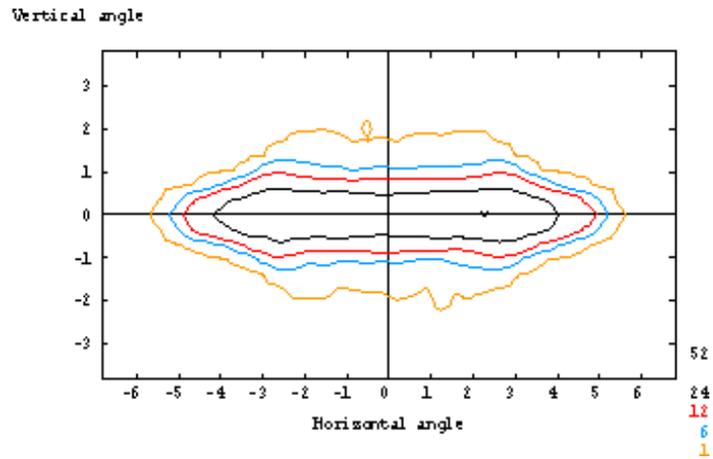


圖 7 配光圖($c_X \neq c_Y$)



Study for LED Vehicles High Beam Optical Design

ABSTRACT

Optical design for vehicles high beam with the high power LED to meet ECE R112 standard is studied in this paper. The new concept form of the reflector with tree dimension asymmetrical system is proposed and examined their performance by means of the ray tracing method. The final light distribution can quantitatively meet the ECE R112 regulations.

Keywords : Optical design, High beam, LED