

白光 LED 之黃圈現象量測

楊青青* 張君勵 吳文弘
國家實驗研究院
儀器科技研究中心
sophie@itrc.narl.org.tw*

摘要

白光 LED 發光模式即為藍晶發光穿過螢光粉層形成黃綠光，而後黃綠光再混入一部分藍光產生白光。故藍晶的一致性和螢光粉層的均質程度是影響白光 LED 發光品質的關鍵因素。然而，受限於 LED 封裝、支架或螢光粉等技術瓶頸，白光 LED 所投射出的圓形光形會產生中間白色、外圍漸漸偏黃形成黃色光暈之特徵(黃圈)。本研究的目的是建立白光 LED 之黃圈檢測機制且在黃圈檢測系統中，以自行研發之補償軟體將視覺所見之白光 LED 光形與黃圈檢測系統擷取之光形色彩進行校正，再依已建立之黃圈指標來辨別白光 LED 所投射之光型是否有黃圈現象、範圍及等級，此可作為白光 LED 光源品管之參考依據。

關鍵字：黃圈、白光 LED、螢光粉

壹、前言

LED 光源崛起於 1960 年代，因具有體積小、省電、低光衰減及壽命長等優勢，再加上其發光效率不斷提升及近來環保節能之訴求，現已逐步取代傳統光源，成為新世代不可或缺的新興照明光源。而因應數位相機之閃光燈、液晶顯示螢幕之背光源、車用、居家及商用照明等市場需求，白光 LED 已異軍突起，近年來在全球之年產值已遠超過其他種類的 LED。

一般所認知的白光，是指白天所看見之太陽光。太陽光蘊含 400-700 奈米的連續光譜且可分解為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七色。^[1]然而目前已成功研製的 LED 所發出的光為波長極窄的單色光，僅有藍、綠、黃、紅四種顏色的 LED 已商品化。在面對日益增加的白光光源需求，製造商採取人工混色方式來達成白光的效果。如利用互補之二色或三原色作混光、用 UV LED 激發三原色螢光粉或用藍光 LED 激發黃色螢光粉等。目前較常用來激發白光之方式有三種。第一種是以藍光 LED 激發黃色螢光粉後混光形成白光。最有名的黃色螢光粉是日亞化學公司開發出來的 YAG ($Y_3Al_5O_{12}:CE$ ，鉍鋁石榴石)螢光粉^[2]。YAG 螢光粉是業界公認轉換效率最好的螢光粉。其他螢光粉，如 TAG ($Tb_3Al_5O_{12}$)， $Gd_3Al_5O_{12}$ ， Sr_2SiO_4 或 Ba_2SiO_4 等，現階段仍無法取代 YAG 螢光粉之地位。第二種方式是使用 UV LED 激發多色螢光粉^[3]。由於 UV 光子能量較藍光高，可選用的螢光粉種類也增加。再加上 UV 光本身不參與混光，使顏色控制更容易，色彩均勻度比其他兩種方法更好。最後一個方法是用紅綠藍三顆 LED 調出所需之白光^[4]。此方法可獲得最佳的色彩飽和度，不過因同時使用多顆 LED，每顆 LED 受環境與使用時間之影響程度不同，需掌握光偵測與熱迴受機制以控制 LED 整體表現。

在上述三種方法中，第一種方法因構造簡單、成本低廉且生產技術成熟，是多數廠商採用之技術主流，相關應用產品已陸續在照明市場中展露頭角。為激發出理想的白光，製造商一般是以波長 445 ~ 475 nm 的高亮度藍光 LED 為光源，將黃色螢光粉散布在環氧樹脂(epoxy)或矽膠(silicone)等透明膠體中並塗佈在藍光 LED 晶粒表面。當藍光 LED 發出藍光時，一部分藍光會激發膠體中的螢光粉發出黃綠光，另一部分藍光則透射出來與黃綠光混成白光，詳如圖 1。因受限於現有 LED 封裝、支架或螢光粉塗佈等技術瓶頸，白光 LED 所投射出的圓形光形會產生中間白色、外圍漸漸偏黃形成黃色光暈之特徵，也就是所謂的黃圈現象。在實務上通常會採取二種方法處理黃圈現象，一是在白光

LED 上另加二次光學元件，如反射罩或 TIR 透鏡[5]以利於移除側面光折射通過螢光粉膠體所衍生之黃圈現象，但此種方法將以白光 LED 總亮度下降作為代價。另一種方法則是將黃光均化，如調整非球面鏡之角度將所有白光 LED 所發出之光束收納射出，使圓形光形之色彩趨於均勻，不過此種方式將可能造成色溫下降，顯色性勢必無法滿足較嚴苛之照明要求。

目前製造商在進行白光 LED 檢測時，多以光通量、光強度、亮度、照度、顯色指數（CRI）和色溫[6-7]等變量作為白光光源品質檢測指標。不過，這些變數指標只能描述白光 LED 的平均照明性能，對於一些特殊的光學現象，如黃圈[8]或重影[9]，卻無法做出有效的評估。在面對顧客對消費性電子產品顯色性要求越來越嚴苛的狀況，黃圈量測檢測標準之建立，實刻不容緩。

本研究之目的在於建立白光 LED 之黃圈檢測機制。實驗中除設計架設黃圈檢測系統進行黃圈檢測外，並自行開發 LED 光形補償軟體以處理視覺所見光形與黃圈檢測系統所擷取光形之色彩差異。透過精密的軟體計算，可降低不同環境對 LED 光形之影響，亦可簡化製造商在評估 LED 黃圈程度之流程。

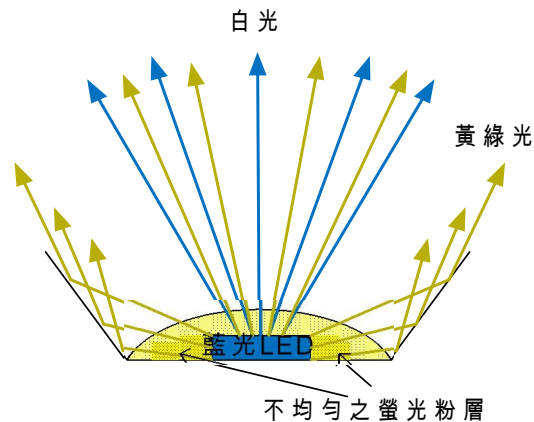


圖 1 白光 LED 發光示意圖

貳、黃圈指標 (Yellow Ring Index, YRI) 及黃圈座標圖

因白光可藉由混合紅、綠及藍光三色產生，所以本研究中所運用之黃圈指標[10]是以紅綠光所組成之黃色相對於藍光二色間比例變動以及整體白光強度作為變數因子。依據黃圈指標，不僅可將黃圈現項數值化並可建立黃圈指標座標圖，黃圈指標座標圖詳如圖 2。從圖 2 可知，當黃圈數值落在黃圈容忍區時，表示白光 LED 之黃圈現象輕微，LED 光源品質通過檢驗，若黃圈數值落在黃圈容忍線上方則表示 LED 之黃圈現象嚴重，LED 光源品質不合格。

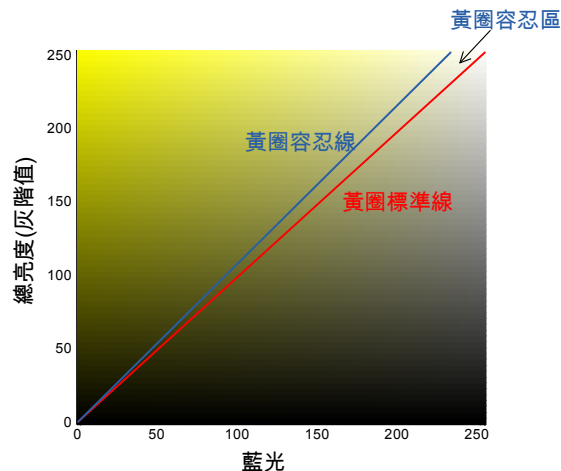


圖 2 黃圈指標座標圖

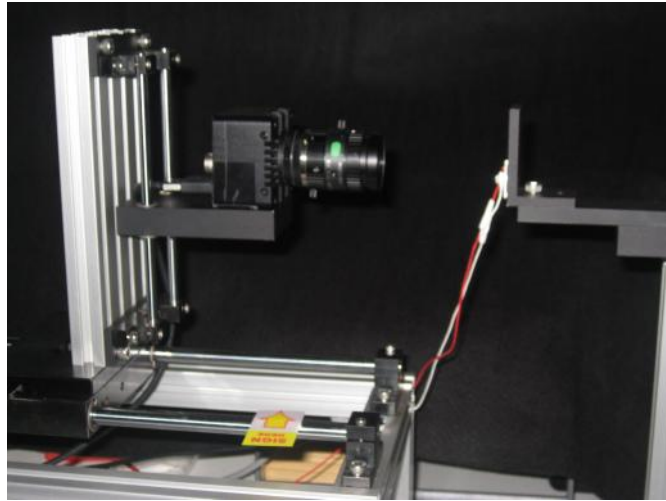


圖3 黃圈檢測系統實體圖

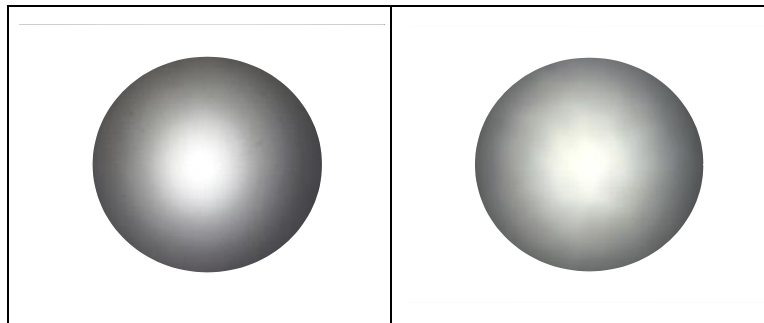


圖4 (左) 視覺所見之LED實際光形(右) 黃圈檢測系統擷取之LED樣本光形

參、實驗與解析

為進行白光 LED 黃圈檢測，在實驗中架設一套黃圈檢測系統(如圖 3)。此系統由 LED 承盤與支架、衰減片、彩色 CCD 感測模組與影像處理單元等組成。CCD 感測器為 $1,388 \times 1,038$ 畫素 (8.95×6.7 mm)，其畫素大小為 $6.45 \mu\text{m}$ 。在檢測過程中，相機色彩需維持在白平衡狀態，鏡頭之中央軸與 LED 之光軸在同一直線上。LED 的電流則為 200 mA 和 LED 正向電壓是 3.2 V。檢測樣本為市售 1 瓦白光 LED。觀測取像距離為 30 公分。

圖 4 左邊圖像為視覺所見之 LED 光形，右邊圖像為黃圈檢測系統所擷取之光形。觀察二者之差異，可發現視覺所見之 LED 光形中心圓形白光區域較大，但系統擷取之光形黃圈較明顯，這特徵也可從圖 5 LED 原始色彩強度比較圖、圖 6 色彩校正曲線以及圖 7 亮度校正曲線等獲得相對印證。因此，若將圖 6 區分為 ABC 三區，A 區與 C 區中黃色曲線(R'與 G'值之平均值)高於 B'值，代表系統所取圓形光形相較於視覺所見光形，在光形中心與邊緣區域色彩明顯偏黃。此外，在半徑二分之一之處，系統擷取之光形因屬短距取像，亮度較高，而視覺所見之光形因為遠距所以較為均勻。為消彌上述之差異性，在研究中考量色彩與亮度等因素，自行研發設計 LED 光形補償軟體，使源自同一 LED 之二種光形得以趨於一致，避免因取像環境不同造成黃圈檢測結果之落差。

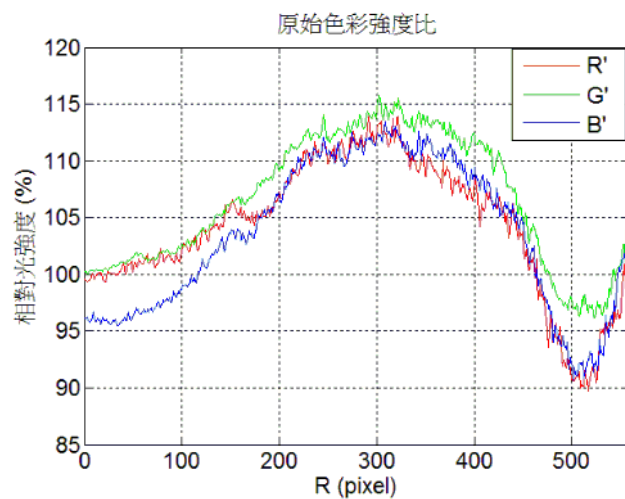


圖 5 LED 原始色彩強度比較圖

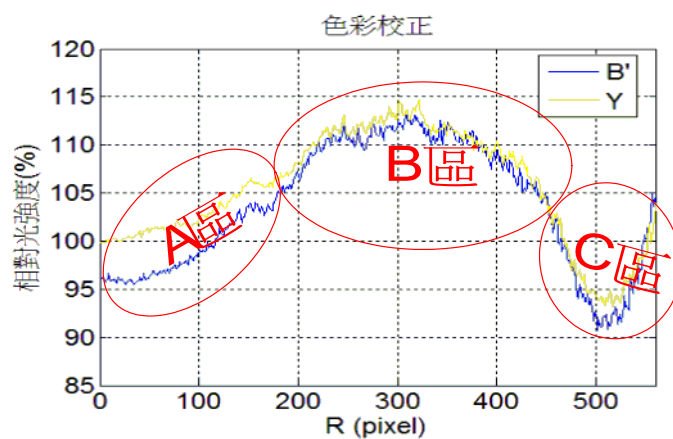


圖 6 LED 色彩校正曲線

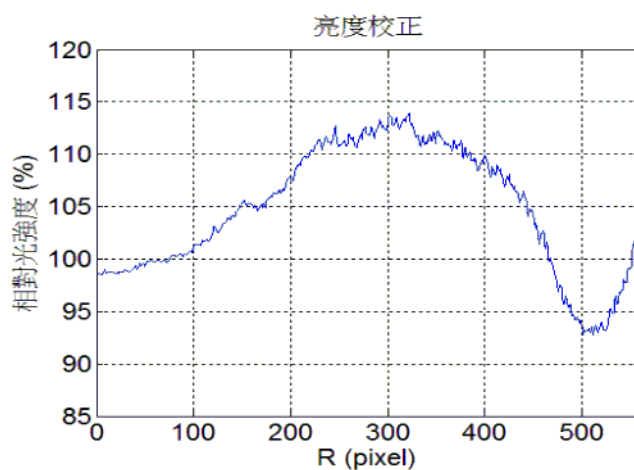


圖 7 LED 亮度校正曲線

肆、結論

在不同取像環境下觀測同一 LED 發出之光形，可辨識出兩者有顯著差異，造成黃圈檢測結果判讀之

偏差。為改善此現象，本研究設計建構黃圈檢測系統並根據色彩與亮度等校正因子自行研發補償軟體處理光形補償，使視覺所見之 LED 光形與黃圈檢測系統所擷取之光形趨於一致，有利於後續黃圈檢測作業之進行，降低黃圈檢測結果之偏差與判讀誤差。因此，運用黃圈檢測系統進行黃圈檢測，不僅可降低不同環境對檢測樣本之影響進行提升 LED 光源品管可靠度，亦可協助製造商針對不同客戶之需求建立標準光形作為檢測標準，達到簡化黃圈檢測程序之目標。

伍、致謝

本研究之部分經費由國科會 100-2622-E-492-005-CC3 計畫所補助，特此感謝。

陸、參考文獻

- [1] Miran Burmen, Franjo Pernus, and Bostjan Likar, "LED light sources: a survey of quality-affecting factors and methods for their assessment", Meas. Sci. Technol. vol. 19, p122002(15pp), 2008.
- [2] Y. Shimizu, K. Sakano, Y. Noguchi, and T. Moriguchi, "Light emitting device having a nitride compound semiconductor and a phosphor containing a garnet fluorescent material", United States Patent, US 5998925, Dec. 7, 1999.
- [3] C. C. Chang, R. Chern, C. C. Chang, C. Chu, J. Y. Chi, J. Su, I. M. Chan, and J. T. Wang, "Monte Carlo simulation of optical properties of phosphor-screened ultraviolet light in a white light-emitting device", Jpn. J. Appl. Phys. 44, pp6056-6061, 2005.
- [4] S. Muthu, F. J. Schuurmans, and M. D. Pashley, "Red, green, and blue LED based white light generation: issues and control", Proc. IEEE IAS'02, vol. 1, pp327-333, Oct., 2002.
- [5] J. Jiang, S. To, W. B. Lee, and Benny Che ung, "Optical design of a freeform TIR lens for LED streetlight", Opt. Int. J. Light Electron. Opt., 2009.
- [6] K. H. Loo, W. K. Lun, S.C. Tan, Y. M. Lai and Chi K. Tse, "On driving techniques for LEDs: toward a generalized methodology" IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 12, pp 2967-2976, Dec., 2009.
- [7] Miran Burmen, Franjo Pernus, and Bostjan Likar, "Automated optical quality inspection of light emitting diodes", Meas. Sci. Technol. vol. 17, pp1372-1378, 2006.
- [8] Y. Y. Chen, I. J. Chen, A. Whang, and L. T. Chen, "Analysis of die-imaging and yellow hue phenomena in LED TIR lens", Proc. Of SPIE, 2008.
- [9] W. H. Wu, C. H. Kuo, M. W. Hung, and K. C. Huang, "Evaluating method for the double image phenomenon of LED lighting," the international conference on Optics in Precision Engineering and Nanotechnology (icOPEN), Singapore, 2011.
- [10] C. C. Yang, C. L. Chang, K. C. Huang, and T. S. Liao, "The yellow ring measurement for the phosphor-converted white LED," the international conference on Optics in Precision Engineering and Nanotechnology (icOPEN), Singapore, 2011.