

## 綠色照明高效率積體化光引擎

王玫丹<sup>1</sup>、黃忠民<sup>1</sup>、龔哲民<sup>1</sup>, and 陳國儒<sup>2</sup>  
Mei-Tan Wang<sup>1</sup>, Jung-Min Hwang<sup>1</sup>, Che-Min Kung<sup>1</sup>, Kuo-Ju Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工業技術研究院 綠能與環境研究所 固態照明系統研究室  
<sup>1</sup> Solid-State Lighting Systems department, Green Energy and Environment Research  
Laboratories, Industrial Technology Research Institute (ITRI)  
E-mail: meitan@itri.org.tw, jmhwang@itri.org.tw, cmkung@itri.org.tw

<sup>2</sup> 國立交通大學光電工程所  
<sup>2</sup> Department of Electro-Optical Engineering,  
National Chiao Tung University  
E-mail: itri450731@itri.org.tw

### 摘要

隨著全球環保意識的高漲，尋找低耗能零污染之替代光源成為迫切之需求，發光二極體 LEDs (light-emitting Diodes) 具備環保、體積小、高效能、省電、壽命長、反應速度快、多樣性、可靠度高等優點，已經成為未來照明應用市場之新星。國際固態照明最新發展重點之一為標準化LED光引擎，本研究透過高度整合光、機、電、熱、控關鍵技術於單一LED積體化光引擎，將LED晶片、一次光學封裝、直流積體化電源驅動及控制電路(電控IC)整合於高導熱石墨金屬複合基板上，搭配二次光學反射杯及散熱器，組成高性價比的模組化LED積體化光引擎。目前本研究之直流積體化光引擎效率已提升至90 lm/W 以上，未來目標為200 lm/W 之交流積體化光引擎，透過積體化將使光引擎更容易推廣至智慧照明的應用領域。

**關鍵字詞：**發光二極體、積體化光引擎、封裝設計

### Abstract

With the global environmental awareness rising, looking for alternative light source with low energy and zero pollution had become an urgent demand for light-emitting diodes (LEDs). LEDs have the merits of environmental protection, small size, high efficiency, energy saving, long life, fast response, diversity and higher reliability, make LEDs become the superstar in future lighting applications. The standardization of LED light engine is one of the latest developments in International Solid-State Lighting. Highly integrating optical, mechanical, electrical, and thermal is the key of single LED light engine. The LED chips with optical package, DC power drive and control circuit (electronic control IC) are all integrated in the graphite-metal composite substrate with high thermal conductivity. The efficiency of DC integrated light engine had up to 90 lm / W or more in this study. In the future, the target is 200 lm / W AC integrated light engine. Through integrating light engine will extend it into smart lighting fields easily.

**Keywords:** light-emitting Diodes; LEDs、integrated light engine、package design

### 1. 前言

國際固態照明技術最新發展重點之一為LED光引擎(light engine)，根據國際照明產業聯盟

Zhaga制定的規範，光引擎定義為包含LED封裝元件或LED模組(LED晶片及一次光學封裝)及其他相關熱、機械、電子驅動與控制裝置所組成的一

個集成組件，光引擎具備標準化、可兼容性、應用彈性及智慧化等優點，可規範不同製造商具有可換性的商品，包括針對LED照明燈具的機構介面(外型尺寸及燈座)、熱介面、電控介面以及光學介面，已儼然成為未來照明市場普及的關鍵。Zhaga 於2012年已發佈應用於室內投射燈、室內筒燈、路燈、辦公室照明燈的照明模組標準界面規格，分別發表在規格書1-7(Book1-Book7)。本研究為透過高度整合光、機、電、熱、控關鍵技術於LED積體化光引擎，將LED晶片及電控IC(整合傳統LED電源及控制模組)透過一次光學封裝整合於高導熱基板上，以降低封裝成本及降低電源與控制成本，發展出高性價比、體積小、長壽命之智慧化標準光源。LED光引擎模組內部元件如圖1。

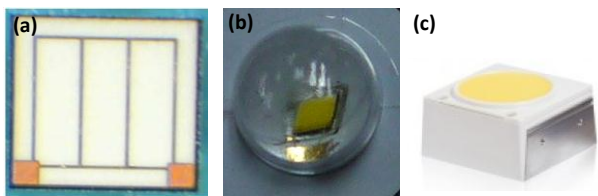


圖 1. LED 光引擎組成 (a) LED (Cree) (b) package (ITRI) (c) light engine (Philips)

## 2. 白光 LED

LED 模組性能主要取決於 LED 晶片元件性能、封裝光學性能及散熱性能，本文中主要探討白光 LED 封裝性能對效率提升的關係。白光 LED 具有節能與環保的特性，被視為會是取代傳統熱熾燈與螢光燈的革命性光源；目前有三種較普遍的方法製作白光 LED，第一種是將紅、綠、藍，三色光之 LED 晶粒做混光，第二種是利用單晶片藍光 LED 打在黃色螢光粉上，混合出白光，第三種則是利用紫外 LED 發光通過紅、綠、藍的螢光粉混合出白光。直接將 RGB 三晶片封裝成一組 LED，雖然混成白光可具有相當大的色域空間 (Color gamut) 且混光效率好，可自由調整每個晶片的驅動電流，混光調配出不同的色彩，但

是 R、G、B 混光比例不易掌握，且各色發光效率受溫度影響程度皆不相同，R、G、B 晶片生命週期亦不相同，再加上製作成本高，所以此種混白光方式在照明的運用上並不普遍。以 UV LED 激發 RGB 螢光粉產生之白光具有高演色性，但是由於目前 UV LED 發光效率不足，且矽膠易受到短波長 UV 光破壞而老化甚至黃化，導致封裝材質穩定性不佳，所以尚未能為有廣大的照明市場面應用。而利用單晶片藍光 LED 結合黃色螢光粉進行光色轉變，是最簡單及最節省成本的方法，因此廣為目前商業界所使用，目前最廣為使用的黃色螢光粉為 YAG (Y3Al5O12:Ce3+)。無機物螢光粉所製作的白光 LED，又稱為 PC-White-LED (Phosphor-converted white-LED)。

本研究主要針對探討 LED 模組效率提升部分，利用點膠型、數型塗佈型及遙遠型三種黃色螢光粉搭配單晶片藍光 LED 封裝技術，混合出高效率白光 LED 光引擎，並利用一次光學取代二次光學技術，設計無光衰之聚光光場型。

## 3. 結果與討論

在探討不同螢光粉塗佈對光引擎效率的關係前，先就藍光晶片效率進行分析，藍光晶片固晶打線在光引擎高導熱基板上，未上封裝膠體前的光取出效率約為 37% (光學輸出輻射功率~1443 mW)，效率隨電流變化關係如圖 2，藍光晶片在矽膠封裝材料折射率為 1.41 時的發光效率為 42.8%，較未上 lens 矽膠封裝前增加約 16%

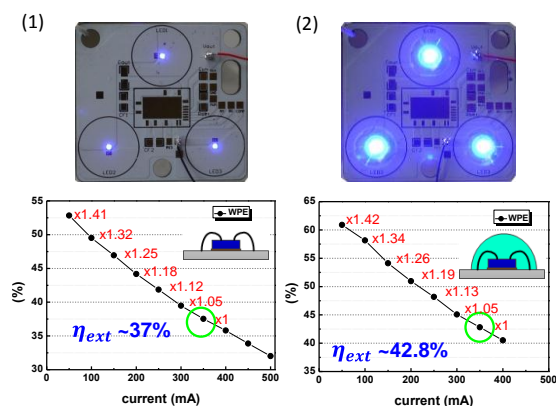


圖 2. (1)藍光晶片封裝前(2)藍光晶片封裝後發光效率隨電流變化關係圖

本研究採用單晶片藍光 LED 打在黃色螢光粉上，混合出白光的方式，將藍光晶片和高導熱基板固晶打線後，在晶片上點膠塗佈一層黃色螢光粉膠體(封裝矽膠為折射率 1.41)，並進行積分球量測，量測結果如圖 3 所示。在通入電流 350mA 時，由光譜圖顯示藍光波段與黃綠光波段光強度比例，當黃綠光波段光強度比例較多時，與人眼視校函數積分計算乘積較大，白光效率較佳，分析結果皆顯示當通電高電流時，白光效率會快速衰減且色溫往高色溫趨勢演化。圖 3-(1) 表示點膠型螢光粉塗佈樣品，光引擎效率@350mA 為 104 lm/W，相對色溫為 5475K，演色係數為 68。圖 3-(2) 數型塗佈型螢光粉樣品，光引擎效率@350mA 為 125 lm/W，相對色溫為 4642K，演色係數為 63，當通電高電流時，白光效率一樣會快速衰減但色溫隨電流變化(21K 當驅動電流從 50mA 至 500mA)遠小於點膠塗佈製成(191K)，光束角(50%光束角)約 125 度(接近 Lambertian)。圖 3-(3) 遙遠塗佈型螢光粉樣品，光引擎效率@350mA 為 114 lm/W，相對色溫為 4466K，演色係數為 60，當通入驅動電流從 50mA 至 500mA 時，白光效率會快速衰減且色溫為 113K，光束角(50%光束角)約 155 度遠大於 Lambertian 分佈角 120 度。

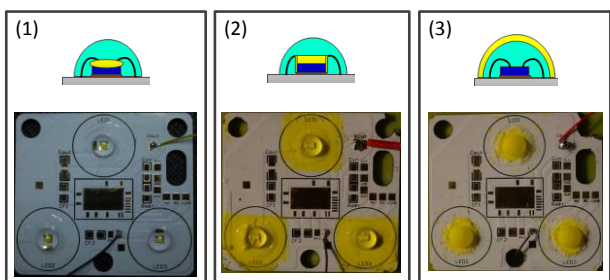


圖 3. (1) 點膠型螢光粉塗佈 (2) 數型螢光粉塗佈 (3) 遙遠螢光粉塗佈型之示意圖及完成之光引擎樣品

LED 主要發光層的材料為氮化鎵鎳材料的折射率為 2.3~2.5，與空氣折射率為 1 差異甚大，造成發光層出射的光被侷限住產生全反射，被限制住的反射光被基板、電極、氮化鎵層等再吸收造成光衰減，因此為了提升光取出效率，高折射

率封裝膠材被運用搭配使用一次光學半球透鏡結構，可有效降低與空氣間的折射率差異，使光取出效率增加。下圖 4 為使用 3W 光引擎使用折射率為 1.41 及 1.57 的封裝膠材所量測出的配光曲線圖型，圖 4-(1)為折射率 1.41 的半球封裝結果，燈具效率為 121 lm/W，光束角為 125 度；圖 4-(2)為折射率 1.57 的半球封裝結果，燈具效率為 121 lm/W，光束角為 115 度。由實驗結果使用高折射率膠並未有效提升光學效率，推斷原因應為高折射率膠使藍光較為聚集在中心，因此藍光取出變好，但兩者使用相同厚度的黃色 YAG 螢光粉，造成高折射率的色溫偏高為 5171K(低折射率的光引擎樣品色溫為 4821K)。

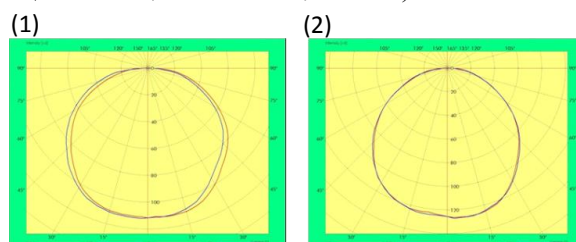


圖 4. 3W 光引擎配光曲線圖 (1)封裝膠折射率為 1.41 (2) 封裝膠折射率為 1.57

模組化光引擎可依不同光型設計聚光型透鏡取代反射杯，有效簡化封裝製程及成本，並可達到無光衰之小角度出射角光場型。圖 5-(1)為點膠式螢光粉塗佈法於第一階段半球透鏡後再加上聚光型透鏡製作之光引擎配光曲線圖，光引擎效率為 101 lm/W，光束角(50%光束角)約 20 度；圖 5-(2)為數型塗佈方式，光引擎效率為 124 lm/W，因螢光粉塗佈較點膠式均勻，光被螢光粉散射較易集中，光束角(50%光束角)約 15 度；圖 5-(3)為遙遠塗佈方式，光引擎效率為 114 lm/W，因螢光粉塗佈距離晶片有一段距離，造成光被螢光粉散射嚴重而不易集中，光束角(50%光束角)約 75 度。

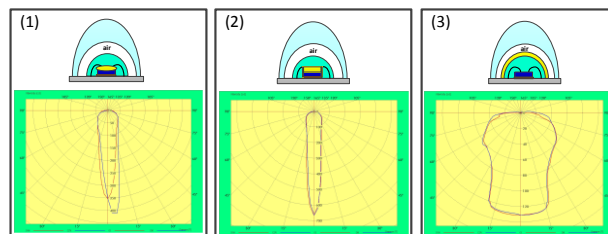


圖 5. 聚光型 3W 光引擎配光曲線圖 (1) 點膠型螢光粉塗佈 (2) 數型螢光粉塗佈 (3) 遙遠螢光粉塗佈型之示意圖及完成之光引擎樣品

#### 4. 結論

本研究透過高度整合光、機、電、熱關鍵技術於單一 LED 積體化光引擎，搭配一次光學透鏡，組成高性價比的聚光型模組化 LED 積體化光引擎。主要研究方向為探討螢光粉封裝塗佈型式以提高光引擎光學效率為主要目標，並分析不同折射率封裝膠體對光取出的影響

#### 5. 誌謝

本研究為工研院綠能所之計畫，由於能源局的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

#### 6. 參考文獻

1.N. Narendran, "Extracting phosphor-scattered photons to improve white LED efficiency," *physica status solidi (a)*, 202, R60-R62 (2005)

2.J. K. Kim, "Strongly enhanced phosphor efficiency in GaInN whit light-emitting diodes using remote phosphor configuration and diffuse reflector cup," *Jpn. J. Appl. Phys*, 44, L649-L651 (2005)

3.M. Ma, F. W. Mont, X. Yan, J. Cho, E. F. Schubert, G. B. Kim, and C. Sone, "Effects of the refractive index of the encapsulant on the light-extraction efficiency of light-emitting diodes," *Opt. Express* 19, A1135-A1140 (2011)

4.S. C. Allen and A. J. Steckl, "ELiXIR-solid-state luminaire with enhanced light extraction by internal reflection," *J. Display Technology* 3, 155-159 (2007)

5.E. F. Schubert, "Light-emitting diodes," Cambridge (2003)

6.林世穆, "白光 LED 的光學模擬"

7.劉如熹, "白光發光二極體製作技術"