

TiO₂ 奈米粒子摻雜螢光粉封裝矽膠改善白色發光二極體之光 取出效率

黃冠勳¹ 林俊良*¹ 蘇炎坤^{2,3} 王品超³ 林明權⁴

¹ 崑山科技大學光電工程研究所

台南市永康區大灣路 949 號

² 崑山科技大學電機工程研究所

台南市永康區大灣路 949 號

³ 國立成功大學電機微電子所

台南市東區大學路一號

⁴ 崑山科技大學電子工程研究所

台南市永康區大灣路 949 號

摘要

透過摻雜二氧化鈦(TiO₂)奈米粒(21 nm)在螢光粉封裝矽膠裡,以提升白色發光二極體(LED)之光取出效率,比較五種不同重量百分比的 TiO₂ 奈米粒摻雜比例。結果發現,摻雜 TiO₂ 奈米粒最佳重量百分比為 0.0001 wt%,注入電流 350 mA 條件下操作,光通量為 120.24 lm,接面溫度為 165.1 °C,而傳統未摻雜 TiO₂之螢光粉封裝矽膠,光通量為 114.07 lm,接面溫度為 171.4 °C,光通量提升 5.4 %,接面溫度降低 3.7 °C。在變溫可靠度實驗結果發現,具有摻雜 TiO₂ 奈米粒最佳比例與未摻雜的 LED 封裝結構,光通量衰減相差 7.1%。摻雜 TiO₂ 至螢光粉封裝矽膠,可提升螢光粉封裝矽膠的平均折射率,減少螢光粉封裝矽膠與氮化鎵半導體材料間的折射率差異,增加白光 LED 的光取出效率,減少 LED 內部的熱累積、提高可靠度。

關鍵詞：發光二極體(LED), 二氧化鈦(TiO₂), 光取出效率

Improvement of Light Extraction Efficiency in GaN-Based White Light-Emitting Diodes by Doping TiO₂ Nanoparticles in Encapsulation Phosphor Silicon

GUAN-SYUN HUANG¹, CHUN-LIANG LIN^{1,*}, YAN-KUIN SU^{2,3}, PIN-CHAO WANG³, LIN, MIN-CHUAN⁴

¹Graduate School of Electro-Optical Engineering, Kun Shan University,

Tainan 71003, Taiwan

²Graduate School of Electrical Engineering, Kun Shan University,

Tainan 71003, Taiwan

³Institute of Microelectronics, National Cheng Kung University,

Tainan 70101, Taiwan

⁴Department of Electronic Engineering, Kun Shan University,

Tainan 71003, Taiwan

ABSTRACT

In order to enhance light extraction efficiency of GaN-Based white light-emitting diodes (LEDs), LEDs by doping TiO₂ nanoparticles (21 nm) in encapsulation phosphor silicone was fabricated. Experiments including five different weight percentages of TiO₂ doped nanoparticles in encapsulation phosphor silicone were compared. Compared to the LED with pure silicone (114.0 lm and 171.4 °C), the LED with doping 0.0001 wt% TiO₂ nanoparticles had the highest luminous flux of 120 lm and lowest junction temperature of 165.1 °C at 350 mA. The luminous flux and junction temperature of LED were improved by 5.4 % and 3.7 °C, respectively. We have demonstrated that LEDs by doping appropriate TiO₂ nanoparticles not only increased light extraction efficiency by reducing refractive index difference between encapsulation phosphor silicone and air interface but also decreased heat accumulation by reducing the heat generated in the LED packaging.

Key words: Light-Emitting Diodes, TiO₂, light extraction efficiency

一、前言

LED 被稱為第四代照明光源或綠色光源，因其具有環保、無汞、節能省電、壽命長、單色性強、體積小、響應時間快、抗震動性好等優點，LED 是目前取代燈泡的最佳首選 [1]。

LED 元件效率分為內部量子效率與光萃取效率，內部量子效率。內部量子效率是元件本身的電光轉換效率，半導體之量子轉化效率很高，但因光取出效率下降，導致 LED 最終亮度小於半導體轉換效能。而造成光取出效率下降的原因，主要歸咎於不同介質間之全反射損失與封裝材料的吸收。以 LED 元件而言，經電子、電洞接合後產生光輻射現象，光從 LED 晶片發光，需經封裝材料才會到達空氣，光必須經過許多不同折射率的介質，如果光從光密介質到光疏介質折且入射角大於臨界時，介面就會發生全反射現象，使得光被侷限在封裝體內部，被封裝材料吸收產生熱量，導致使 LED 發光效能與可靠度降低，更導致 LED 元件使用壽命縮短[2]。

為了改善 LED 與封裝膠體折射率差異，導致光無法有效的被取出，因此提升封裝膠體的折射率是一個改善光取出效率的方法。從文獻中發現，在封裝膠體摻 TiO₂ 奈米粒可提升矽膠的折射率[3]，能有效提升藍色 LED 光取出效率。但尚未有文獻探討白光 LED 摻雜 TiO₂ 奈米粒。TiO₂ 奈米粒為常用的白色顏料，具有高折射特性，成本低廉，且不吸收

400 nm 以上的光[4]。因此本文透過 TiO₂ 奈米粒摻雜至螢光矽膠，並針對 TiO₂ 摻雜螢光矽膠的最佳化重量百分比濃度之研究，製作白色 LED，探討封裝元件之光熱特性分析。

二、實驗方法

本實驗使用 Degussa TiO₂ P25 的奈米粉末，其掃描電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM) 影像如圖1所示，平均粒徑大約 21 nm，其中銳鈦礦和金紅石的重量比值約為 4/1，不吸收可見光。

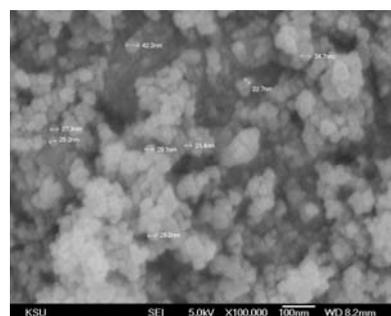


圖 1. TiO₂ 奈米粉末 SEM 圖

藍光晶片尺寸為 1143 μm × 1143 μm，封裝膠為矽膠($n = 1.54$)，螢光粉平均粒徑 8 μm。LED 元件的封裝流程如下：將藍色 LED 晶粒固晶在表面黏著型(SMD)的導線架，透過烤箱以烘烤溫度 25 °C ~170 °C 進行 1.5 小時，再利用打

線機以金線電性連接 LED 電極與導線架。將調配摻雜 TiO₂ 五種不同重量百分比濃度的螢光粉封裝矽膠填入導線架的反射杯中，接著置入烤箱烘烤溫度 25°C ~ 150°C 時間為 2 小時，將封裝矽膠烘烤後便完成元件，最後進行其光熱與可靠度特性量測及分析，圖 2 為摻雜不同 wt% 的 TiO₂ 封裝結構示意圖。

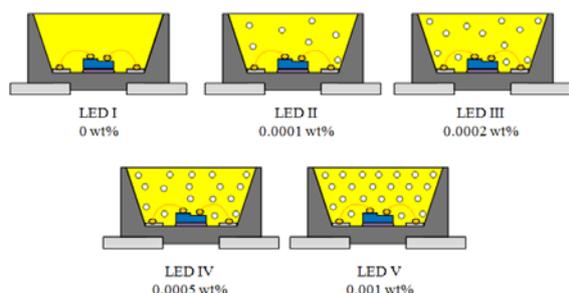


圖2. 摻雜不同wt%的TiO₂封裝結構示意圖

三、結果與討論

如插入圖3為LED的光輸出特性，操作電流為350 mA。元件LED I為未摻雜TiO₂之純螢光粉矽膠，LED II為摻雜TiO₂ 0.0001 wt%之螢光粉矽膠，LED III為摻雜TiO₂ 0.0002 wt%之螢光粉矽膠，LED IV為摻雜TiO₂ 0.0005 wt%之螢光粉矽膠，LED V為摻雜TiO₂ 0.001 wt%之螢光粉矽膠。相對於LED I光通量114.0 lm，LED II、LED III、LED IV及LED V光通量分別為120.2、116.3、114.6、113.3 lm，光取出效率也分別變化了5.4、2.0、0.4、-0.1%。由於TiO₂摻雜螢光粉矽膠提升了螢光粉矽膠的折射率，減少晶片與螢光粉矽膠的全內反射，並提高散射能力。因此LED II相較於LED I光通量提升5.4%。如圖3為五種LED元件不同電流下操作的光通量，量測間距以50 mA為一點得到其光通量變化，量測結果發現，隨著操作電流加大，光取出效率依舊能有效的提升(LED II-LED IV)。在操作電流600 mA下，LED II光通量為127.0 lm，LED I光通量為121.7 lm，光取出效率提升4.3%，因此儘管加大操作電流，其光取出效率也能有效的被改善。

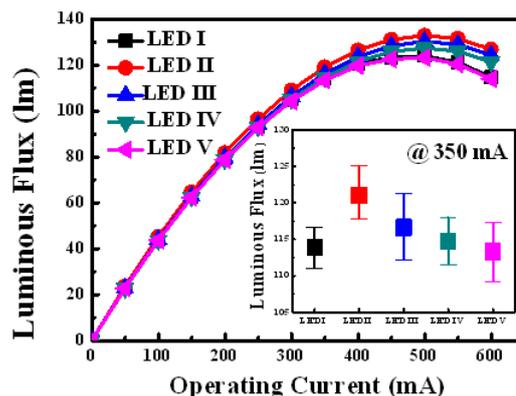


圖3. 五種LED元件操作在0~600 mA之光通量

如圖 4 為五種封裝結構界面溫度特性，操作電流為 350 mA。從量測結果得知 LED I、LED II、LED III、LED IV 及 LED V 界面溫度分別為 171.4、165.1、167.1、169.7、172.2 °C，相比於 LED I 之界面溫度，LED II、LED III、LED IV 及 LED V 溫度分別變化了-6.3、-4.2、-1.6、+0.9 °C，此改善界面溫度歸咎於 TiO₂ 摻雜入螢光矽膠可提升螢光矽膠平均折射率，減少晶粒/矽膠/空氣介面間的內部全反射，提升整體光取出效率，間接減少封裝體的熱累積，並降低晶片的界面溫度。

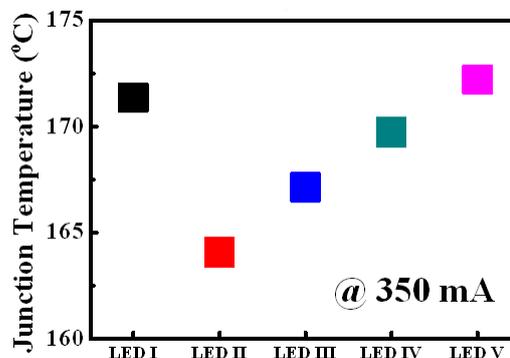


圖4. 五種LED元件的界面溫度

圖 5 顯示出 LED I 和 LED II 在發光角-80°~80°下的色溫變化。角度均勻性定義為最大色溫減去最小色溫。LED I 色溫均勻性為 963 K，LED II 色溫均勻性為 420 K，相對於 LED I，LED II 色溫均勻性能有效的改善。此改善色溫均勻性可歸咎於由 TiO₂ 摻雜在螢光粉矽膠，能有效地提供散射能力，使光均勻的分散，減少色溫的偏差。

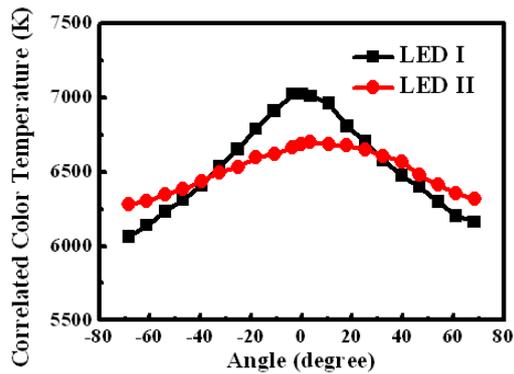


圖5. LED I 與 LED II 之角度色溫均勻性

如圖 6 為五種 LED 元件在溫度 25 °C ~100 °C 的相對光通量變化。從量測結果得知，當溫度逐漸升高，導致電轉光的效能降低，因此光輸出隨之衰減。在溫度 100 °C 及 350 mA 操作電流下，LED I、LED II、LED III、LED IV 及 LED V 相對光通量分別為 82.0、88.0、86.7、84.6、80.2%。相比於 LED I，LED II 光取出效率提升 7.1%。此現象歸因於 TiO₂ 摻雜於螢光粉矽膠提升折射率，減少光的全內反射，改善光的取出效率，間接減少封裝體熱累積，提升 LED 的熱穩定性。

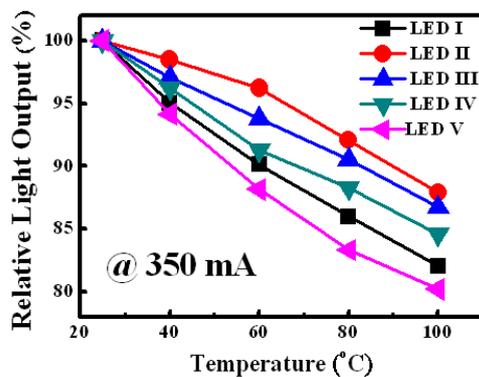


圖6. 五種LED元件操作在25 °C ~100 °C的效率衰減

四、結論

我們成功了提出摻雜奈米粒到螢光粉矽膠之封裝結構，當 TiO₂ 重量百分比為 0.0001 wt%，在操作電流 350 mA 下，光取出效率提升 5.4%，接面溫度降低 3.7 °C，改善色溫均勻性為 420 K。在高溫 100 °C 下操作仍可有效的提升光的取出效率。此改善可歸因於透過摻雜最佳比例的 TiO₂，可有效的提升螢光粉矽膠的平均折射係數，增加光的散射能力，減少介面的光損失，並提高光的取出效率與色溫均勻性，間接減少封裝體內部熱累積，提高封裝元件熱穩定性。

參考文獻

- [1] 郭浩中、賴芳儀、郭守義 (民 98)，LED原理與應用，五南圖書公司，台北。
- [2] 陳凱琪 (民 96)，LED 元件用高效能透明封裝材料技術趨勢(下)，工業材料雜誌，**247**，頁 167-172
- [3] Mont, Frank W., Jong Kyu Kim, Martin F. Schubert, E. Fred Schubert, and Richard W. Siegel (2008) High-refractive-index TiO₂ -nanoparticle-loaded encapsulants for light-emitting diodes, *Journal of Applied Physics* **103**, 083120,
- [4] Lee, Hyeong Seok, and Jung Whan Yoo (2011) Yellow phosphors coated with TiO₂ for the enhancement of photoluminescence and thermal stability, *Applied Surface Science* **257**, 8355-8359.