

高功率 LED 陶瓷燈具內散熱基板形狀之熱傳分析

許政行¹ 郭家全² 王孔政³ 胡雅慧² 陳玉德⁴ 孔光源⁵

¹ 中原大學機械工程學系

² 桃園創新技術學院機械工程學系

³ 國立臺灣科技大學工業管理系

⁴ 萬能科技大學電子資訊學院

⁵ 桃園創新技術學院材料應用科技研究所

摘要

本文之研究分別利用 CFD 數值模擬軟體和實驗的方法，針對陶瓷燈具內 LED 晶片與散熱基板的材質與幾何形狀對熱傳之影響進行研究。本研究以紅外線熱影像儀量測燈具內 LED 晶片與散熱基板的溫度分佈，並將此量測結果與 CFD 軟體之數值計算所求得結果之誤差值在 3.9% 之內。

本文之研究結果顯示，散熱基板之幾何形狀對於本文所使用之陶瓷燈具具有影響，接面溫度 (T_j) 的上升與散熱基板的面積增加以及基板的厚度與材質熱傳係數的上升有關。然而更換更高之材料係數對於溫度的下降並不明顯，可能原因為陶瓷材料熱阻所造成之現象。

關鍵詞：陶瓷，實驗，LED 燈具，散熱基板。

A THERMAL ANALYSIS OF SUBSTRATE TO HIGH POWER LED IN A CERAMIC LAMP

Cheng-Hsing Hsu¹ Chia-Chuan Kuo² Kung-Jeng Wang³ Ya-Hui Hu² Yu-Te Chen⁴ Kuang-Yuan Kung⁵

¹ Department of Mechanical Engineering
Chung Yuan Christian University
Chung Li, Taiwan 32023, R.O.C.

² Department of Mechanical Engineering
Taoyuan Innovation Institute of Technology
Taoyuan County, Taiwan 32091, R.O.C.

³ Department of Industrial Management
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan 106, R.O.C.

⁴ Department of Electronic Engineering
Vanung University
Taoyuan County, Taiwan 32061, R.O.C.

⁵ Graduate School of Materials Applied Technology
Taoyuan Innovation Institute of Technology
Taoyuan County, Taiwan 32091, R.O.C.

Key Words: ceramic experiments, LED lamps, thermal dissipation substrate.

ABSTRACT

In this paper, a thermal phenomenon was studied through both CFD software package and experiments. The thermal performance was simu-



lated using the CFD software by varying the substrate and geometry of the ceramic seat in an LED lamp. The temperature distributions of the ceramic seats were also measured using a thermal imager. The CFD simulated results agreed well with the measured data and the deviation was within 3.9%.

The junction temperature (T_j) of an LED lamp is related directly to the substrate geometry. The junction temperature will decrease as the area of spreaders, the thickness or the thermal conductivity of the substrate increase. However, high thermal conductivity doesn't cause a significant decline in temperature due to the high thermal resistance of ceramic.

一、前 言

由於 LED 節能燈具具有環保、節能以及長壽命的優點，因此各國皆將其當作次世代新興照明光源來看待。LED 節能燈具雖然有其優點，但是其熱源集中亦是其缺點，熱源集中會造成許多問題的產生[1]，本文即是以燈具型態確認後，探討 LED 本身之散熱基板形狀變化對於接面溫度之影響，接面區域則是以晶片與晶片散熱基板間之區域為定義[2]。

關於電子產品的散熱的研究，在 1998 年 Zahn [3] 所發表的論文中提及：同時使用了 CFD 軟體 ICEPAK 與 FLOTHERM 模擬在一穩態自然對流環境下電子產品的散熱情況，並輔以實驗加以驗證得出 ICEPAK 對於溫度場與速度場的預測較為準確，而 FLOTHERM 則相較於有略大之誤差，但誤差皆在 10% 以內。

在先前的研究中，需要考慮 LED 燈具之效率因素[4]，因此大部分之 LED 燈具模擬皆以其輸入功率之 80% 為其發熱功率，本文也是如此設定，本文所使用之燈具為 10 W，而發熱量之設定為 8 W。

在 2005 年，Park & Lee [4] 利用實驗量測了 LED 的 I-V 曲線，利用電子量子效率數學模式，計算接面溫度與 LED 光效率以及能量轉換效率，並指出 LED 轉換效率因接面溫度上升而顯著下降，此外部分的效率損失來自於 PN 晶體接面、成份與電路損失。

Yung 等人[5]提出自然對流空氣冷卻的熱分析和實驗驗證印刷電路板上的高亮度 LED 陣列封裝之溫度分佈傾向。利用自然對流建模和模擬計算流體動力學 (CFD) 方法做溫度分佈傾向預測，並用紅外線照相機和熱電偶測量封裝過程中的熱傳驗證之。

在 2006 年，鍾正發[6]，利用數值模擬方法即 CFD 軟體 ICEPAK，針對小功率之 LED 做結構上與功率上之調整，分析結果顯示當環境溫度從 25°C 至 80°C 每增加 1°C，0.5 W 的單顆 LED 晶片、基板與封裝材料約增加 3°C 至 4°C；單顆 LED 功率達到 1 W 時則會增加上升溫度 3°C 至 9°C，並指出在晶片距離固定下，基板在大到一定的尺寸下對溫度之調節即無太大助益。

Jayasinghe 等人[7]探討如何去判斷、計算 LED 模組之

接面溫度，從其實驗可知許多參數皆可以影響接面溫度的大小，文中並指出在輸入功率固定下，散熱鰭片與環境溫度的變化影響著基板與接面的溫度，並且呈線性關係，因此當 LED 模組具有相當大之散熱鰭片，其基板的溫度可以被當作接面之溫度，即使外在環境溫度的改變或是鰭片的系統改變仍然適用。

Narendran 等人[1]，做了兩個實驗，一是使用商用 LED 探討其在三種不同操作溫度下的壽命曲線，另一是測試在長時間操作下 LED 的各性能狀態，其實驗所獲得的結果顯示，當 LED 晶片之基板處在較高之操作溫度下，其使用壽命會相對縮短，除此之外也得知 LED 之壽命被 p-n 接點的溫度所影響，因為溫度的升高，而 LED 的光衰與色偏會更加顯著。

本文中將針對數種不同的幾何形狀的散熱基板、配合各種參數（如：材料厚度、材料性質等）變化的組合進行多樣的模擬，並從各種組合的接面溫度評估 LED 燈的散熱效果進行 LED 散熱基板對於燈具影響數值模擬。

二、數值模擬方法

電腦模擬是利用計算流體力學 (computational fluid dynamics, CFD) 方法進行計算，本篇論文為利用電腦程式進行數值運算，並將所得結果，藉由圖像及數據表示結果。此法的優點為可節省實際實驗所需的花費，且可獲得部分實驗所無法測得的數值。此外，根據不同數值原理，CFD 可分為有限元素法 (finite element method, FEM)、有限差分法 (finite difference method, FDM) 和有限體積法 (finite volume method, FVM) 等。

目前常用來做熱流模擬的商業軟體（諸如：ICEPAK、Flotherm、CFDesign、CFX、StarCD 等）之中，ICEPAK 在工業界與學術界是一常用之熱流分析軟體。ICEPAK 之優勢在於其提供了 ICEPRO 軟體可以針對模型 CAD 以國際通用 CAD 檔 IGES 與 STP 輸入，因此可以針對較複雜之幾何圖形進行模擬分析。

本文針對合適的模擬軟體進行搜尋，根據 Zahn [3] 的文中可以得知，有多種軟體都可以模擬熱流場，並且模擬的結果必需具有較高的精確度，ICEPAK 軟體的特性正好



表一 輻射參數設定表

| 品項 | 輻射項 (ε) |
|-------|-----------------------|
| 陶瓷燈具 | 0.85 |
| 一次光學罩 | 0.87 |

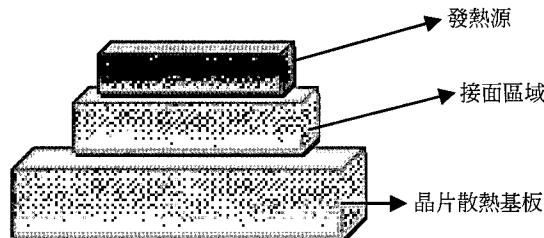


圖 1 燈具結構示意圖

可滿足上述幾項基本要求，因此，針對高功率，本文採用了 ANSYS 公司下有限體積法之 FLUENT 下 ICEPAK 套裝軟體。

1. 邊界條件設定

本研究所使用的 LED 燈具結構示意圖也如圖 1 所示，最上面的區域代表 LED 為整個系統的發熱源，中間的區域為接面區域，最下面區域即為晶片散熱基板。

- (一) 求解過程為穩態。
- (二) 所有接觸面皆完整密合。
- (三) 忽略黏滯耗散效應。
- (四) 工作流體符合理想氣體模式。
- (五) LED 晶片／發熱源與晶片散熱基板接合處溫度定義為接面溫度。
- (六) 所有物質參數皆為固定值，不隨溫度與時間變化。
- (七) 環境溫度為 25°C 。
- (八) 具有輻射熱傳項。
- (九) 環境流體為自然大氣，壓力為一大氣壓。

2. 參數設定

在本研究中定義晶片基板與晶片中間之平均溫度為「接面溫度」。在本研究中將針對數種不同的幾何形狀的散熱基板（四邊形、六邊形和圓形之面積分別為 1800.0 mm^2 、 2338.3 mm^2 和 2827.4 mm^2 ）、配合各種參數（如：材料厚度、材料性質等）變化的組合進行多樣的模擬，並從各種組合的接面溫度評估 LED 燈的散熱效果。為了方便表示各種不同幾何形狀之 LED 燈具及各種參數組合的情況，針對不同設定而訂定了各種參數，如表一至表三所示。

3. 初估輻射熱傳量

輻射熱傳量在燈具中的熱傳問題中是一相當重要的項目，因此數值模擬若要得到正確的結果需要針對輻射熱

表二 材質設定表

| 分類 | 項目 | W/m-K |
|----|---------|--------|
| T1 | Al 6061 | 154.88 |
| T2 | 鑄銅散熱片 | 800 |

表三 各參數設定表

| 基準 | 四邊形 | 六邊形 | 圓形 | LED 板 | 散熱基板 | 厚度 (mm) |
|----|-----|-----|-----|-------|------|---------|
| | A | B | C | | | |
| 1 | A1 | | | T1 | T1 | 3 |
| 2 | | B2 | | T1 | T1 | 3 |
| 3 | | | C3 | T1 | T1 | 3 |
| 4 | A4 | | | T1 | T1 | 1.5 |
| 5 | | B5 | | T1 | T1 | 1.5 |
| 6 | | | C6 | T1 | T1 | 1.5 |
| 7 | A7 | | | T1 | T2 | 3 |
| 8 | | B8 | | T1 | T2 | 3 |
| 9 | | | C9 | T1 | T2 | 3 |
| 10 | A10 | | | T1 | T2 | 1.5 |
| 11 | | B11 | | T1 | T2 | 1.5 |
| 12 | | | C12 | T1 | T2 | 1.5 |
| 13 | | S1 | | T1 | * | * |

傳進行初步評估。本研究以實驗方法測得 LED 燈輻射熱傳量約為 2.6 W ，佔了 LED 的總發熱量 8 W 的 30%以上，因此在數值模擬軟體的設定中，開啟了輻射熱傳項目，以得到更準確的模擬結果。

三、實驗方法

1. 實驗設備與流程

本文之實驗使用 NEC 紅外線熱影像儀搭配黑體膠帶 ($\varepsilon = 0.93$)，以求得清楚的實驗燈具之全面積溫度分佈彩虹圖，如圖 3、圖 4、圖 5 與圖 6 所示。本實驗流程如下：為得到正確的溫度量測值，在紅外線熱影像儀開機之後需先做校正，直到紅外線熱影像儀量測的溫度為可接受範圍，才可開始量測 LED 燈具之溫度，詳細的實驗流程如圖 2 所示。

2. 實驗結果

本實驗針對了四組燈具進行量測，分別為 3000 K 與 6500 K 的燈具各兩組 (3000 K 實驗組與對照組、 6500 K 實驗組與對照組)，對各燈具皆進行正面與背面的溫度量測，在初始狀態我們先進行了 24 小時量測，發現燈具在 5 分鐘



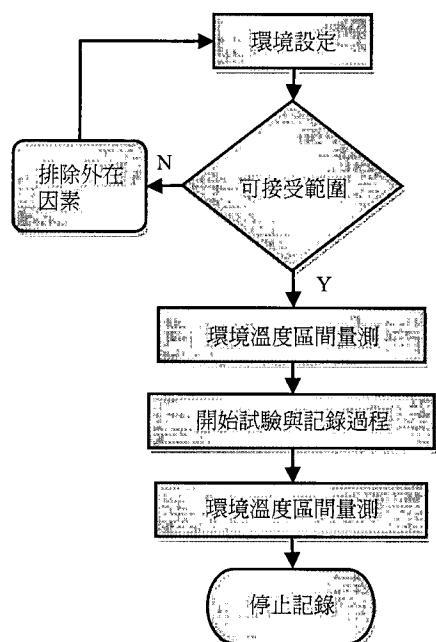


圖 2 實驗流程圖

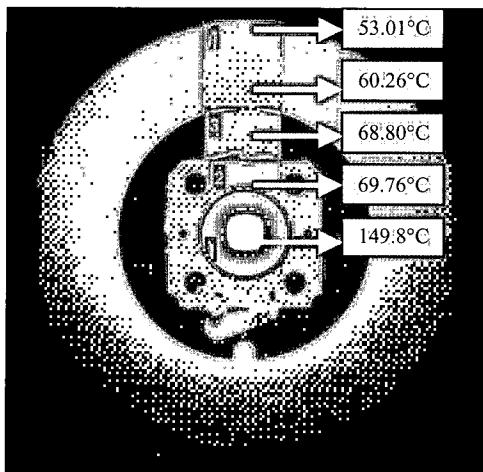


圖 3 3000K 實驗組正面燈具表面點溫度圖

後晶片發熱端趨向穩定，而約 30 分鐘後整個燈具即趨向穩定，因此在接下來的量測，我們皆測試 90 分鐘即可。

圖 3 和圖 4 分別為 3000 K 實驗組之正面與背面之燈具表面點溫度圖，圖 5 和圖 6 分別為 6500 K 實驗組之正面與背面之燈具表面點溫度圖，燈具在 90 分鐘後穩定之溫度分佈圖。

四、結果與討論

本文針對數種不同幾何形狀之 LED 燈具及各種參數組合進行數值模擬，並獲得各種組合之接面溫度（即為晶片基板與晶片中間之平均溫度）之結果，如表四所示。

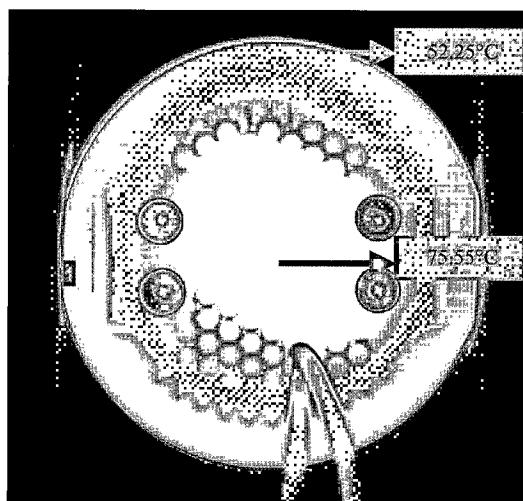


圖 4 3000K 實驗組背面燈具表面點溫度圖

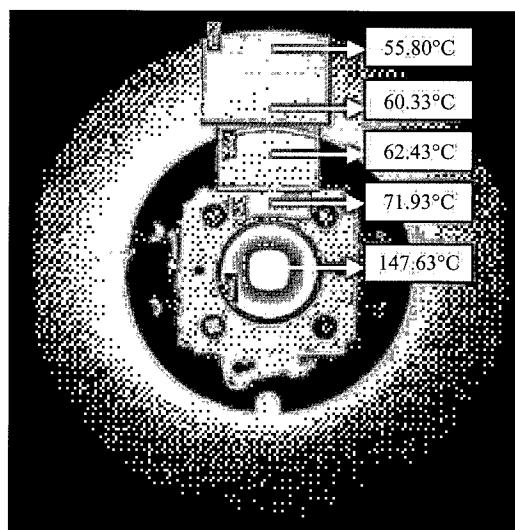


圖 5 6500K 實驗組正面燈具表面點溫度圖

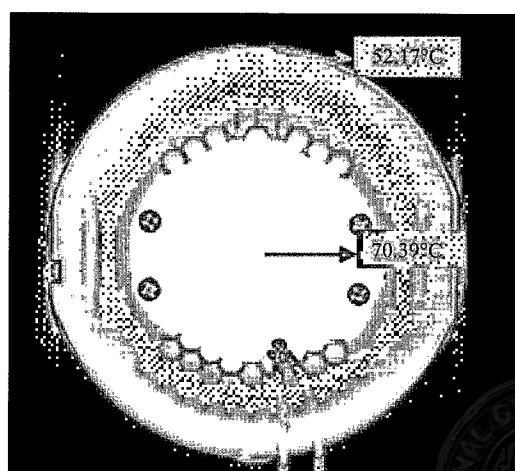


圖 6 6500K 實驗組背面燈具表面點溫度圖



表四 模擬分析溫度表

| 品項 | 晶片基板溫度 (°C) | 接面溫度 (°C) | 晶片溫度 (°C) | 厚度 (mm) | 材質 |
|-----|-------------|-----------|-----------|---------|----|
| A1 | 101.462 | 126.525 | 159.022 | 3 | T1 |
| B2 | 93.029 | 118.102 | 150.607 | 3 | T1 |
| C3 | 83.408 | 108.490 | 141.004 | 3 | T1 |
| A4 | 102.890 | 127.973 | 160.504 | 1.5 | T1 |
| B5 | 94.447 | 119.540 | 152.079 | 1.5 | T1 |
| C6 | 86.407 | 111.507 | 144.054 | 1.5 | T1 |
| A7 | 100.846 | 125.880 | 158.309 | 3 | T2 |
| B8 | 92.722 | 117.763 | 150.200 | 3 | T2 |
| C9 | 83.355 | 108.406 | 140.851 | 3 | T2 |
| A10 | 102.377 | 127.402 | 159.870 | 1.5 | T2 |
| B11 | 94.406 | 119.439 | 151.915 | 1.5 | T2 |
| C12 | 85.4215 | 110.463 | 142.946 | 1.5 | T2 |
| S1 | 115.315 | 140.431 | 173.070 | 0 | NA |

表四為本文全部分析模擬結果所做的統整表，分別列出：1. 發熱源之平均溫度、晶片散熱基板幾何形狀、厚度、材質等及 2. 散熱基板晶片下區域之平均溫度、接面區域之平均溫度與厚度以及材質資料方便比較與討論每種組合對熱傳效果的影響。

比較表四中各組參數組合之數值模擬結果，可得以下結果：

- 四邊形散熱基板之模擬結果，當厚度減少由 3 mm 到 1.5 mm，其溫差約為 1.4°C 至 1.5°C。
- 六邊形散熱基板之模擬結果，當散熱基板為鋁材質時厚度減少由 3 mm 到 1.5 mm，其溫差約為 1.4°C，當材質改為鑽銅時，其溫差約為 1.7°C。
- 圓形散熱基板為之模擬結果，當散熱基板為鋁材質時厚度減少由 3 mm 到 1.5 mm，其溫差約為 3°C，當材質改為鑽銅時，其溫差約為 2.1°C。
- 厚度為 3 mm 散熱基板之模擬結果，在同樣之形狀下使用鑽銅擁有的溫度較鋁材低，依形狀的不同，分別低 0.6°C 至 0.7°C (四邊形)、0.3°C 至 0.4°C (六邊形) 與 0.1°C 至 0.2°C (圓形)。
- 厚度為 1.5 mm 的散熱基板之模擬結果，在同樣之形狀下，使用鑽銅擁有的溫度較鋁材低。當散熱基板幾何形狀不同時，其溫度降的效果分別為：四邊形約可降溫 0.5°C 至 0.7°C，六邊形約可降溫 0.1°C，圓形約可降溫 1°C 至 1.1°C。
- 由鋁材散熱基板和鑽銅散熱基板之模擬結果顯示：散熱基板的幾何形狀會影響散熱效果，因為圓形的散熱基板的溫度優於六邊形，而六邊形又優於四邊形。並且厚度 3 mm 的散熱基板的溫度降的效果優於 1.5 mm 者。
- 溫度趨勢可以瞭解當無散熱基板時之溫度比較，當無散熱基板，所有的溫度皆驟升，超越材料可接受之區域。

五、結論

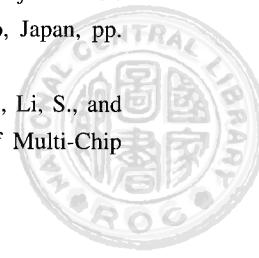
由模擬與分析後所得之數據結果顯示，模擬與分析誤差在 3.9% 以內，依此我們可以探討分析所得之結果。由所獲得之數據顯示，三種形狀的散熱基板以圓形的降溫效果較明顯，顯示散熱片與陶瓷之接觸面積需越大越好。在高導熱係數產品導入散熱基板之結果可以發現，其溫差並不會太大，主要是礙於陶瓷之熱傳導率太低，無法在相同時間內帶走更高的熱量，因此在陶瓷之材料未改變的情況下，可以暫不考慮高貴的高導熱材料引進散熱基板。由模擬分析可以得知，直接將晶片模組安裝在陶瓷燈具表面，將會造成更高的接面溫度，其主要原因是陶瓷之熱傳導率過低，所造成的熱阻過高，因此將晶片模組直接安裝在此陶瓷燈具上是一不可行之方法。總結以上之結論，材質、厚度與面積對於接面溫度皆有影響，而尤以面積之影響最大，材質之影響最小，因此針對本燈具設計時應先以面積的考量為主，輔以厚度再利用材質去調整所需。

誌謝

感謝國立臺灣科技大學與桃園創新技術學院提供研發獎字第 120 號工管獎字第 26 號經費。

參考文獻

- Narendran, N., Gu, Y., Jayasinghe, L., Freyssinier, J. P., and Zhu, Y., "Long-term performance of White LEDs and Systems," *Proceeding of First International Conference on White LEDs and Solid State Lighting*, Tokyo, Japan, pp. 174-179 (2007).
- Yin, L., Yang, L., Yang, W., Guo, Y., Ma, K., Li, S., and Zhang, J., "Thermal Design and Analysis of Multi-Chip



- LED Module with Ceramic Substrate,” *Solid-State Electronics*, Vol. 54, No. 12, pp. 1520-1524 (2010).
3. Zahn, B. A., “Evaluating Thermal Characterization Accuracy Using CFD Codes - A Package Level Benchmark Study of IcePak™ and Flotherm®,” *InterSociety Conference on Thermal Phenomena*, pp. 322-329 (1998).
4. Park, J. and Lee, C.C., “An Electrical Model With Junction Temperature for Light-Emitting Diodes and the Impact on Conversion Efficiency,” *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 26, No. 5, pp. 308-310 (2005).
5. Yung, K. C., Liem, H., Choy, H. S., and Lun, W. K., “Thermal Performance of High Brightness LED Array Package on PCB,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, No. 9, pp. 1266-1272 (2010).
6. 鍾正發,「高功率發光二極體熱傳途徑分析研究」,碩士論文,國立中山大學機械與機電工程學系,高雄 (2007)。
7. Jayasinghe, L., Gu, Y., and Narendran, N., “Characterization of Thermal Resistance Coefficient of High-Power LEDs,” *Sixth International Conference on Solid State Lighting*, San Diego, CA, USA, Vol. 6337, pp. 1-10 (2006).

2012年02月04日 收稿
2012年02月09日 初審
2012年03月12日 複審
2012年03月14日 接受

